

Hidrogeoeколошки uslovi eksploatacije kamenih i mrkih ugljeva Srbije;Hydrogeoecological conditions for black lignite and hard coal extraction in Serbia

Branko R. Miladinović



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Hidrogeoeколошки uslovi eksploatacije kamenih i mrkih ugljeva Srbije;Hydrogeoecological conditions for black lignite and hard coal extraction in Serbia | Branko R. Miladinović | Универзитет у Београду | 2016-04-27 | |

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0004044>

Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду омогућава приступ издањима Факултета и радовима запослених доступним у слободном приступу. - Претрага репозиторијума доступна је на www.dr.rgf.bg.ac.rs

The Digital repository of The University of Belgrade Faculty of Mining and Geology archives faculty publications available in open access, as well as the employees' publications. - The Repository is available at: www.dr.rgf.bg.ac.rs

UNIVERZITET U BEOGRADU
RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET

Branko R. Miladinović

HIDROGEOEKOLOŠKI USLOVI
EKSPLOATACIJE KAMENIH I MRKIH
UGLJEVA SRBIJE

doktorska disertacija

Beograd, 2015.

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF MINING AND GEOLOGY

Branko R. Miladinović

HYDROGEOECOLOGICAL CONDITIONS
FOR BLACK LIGNITE AND HARD COAL
EXTRACTION IN SERBIA

Doctoral Dissertatin

Belgrade, 2015.

Mentor:

Dr Ivan Matić, redovni profesor
uža naučna oblast: hidrogeoeкологија
Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

Članovi komisije:

Dr Veselin Dragišić, redovni profesor
uža naučna oblast: hidrogeologiја
Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

Dr Zoran Nikić, redovni profesor
uža naučna oblast: hidrogeologiја
Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet

Dr Slavko Torbica, redovni profesor
uža naučna oblast: podzemna eksploatacija ležišta mineralnih sirovina
Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

Datum odbrane:

ZAHVALNICA

Najsrdalnije se zahvaljujem svom mentoru prof. dr Ivanu Matiću, koji mi je tokom rada na disertaciji pomogao konkretnim savetima, idejama i sugestijama.

Posebnu zahvalnost dugujem prof. dr Veselinu Dragišiću pored koga sam stekao prva radna iskustva u hidrogeološkoj struci i koji je zaslužan za moje kasnije stručno usavršavanje u oblasti rudničke hidrogeologije. Zahvalan sam mu na predlogu izbora teme doktorske disertacije, kao i na svim stručnim savetima koji su mi pomogli tokom njene izrade. Ostalim članovima komisije, prof. dr Zoranu Nikiću i prof. dr Slavku Torbici, dugujem takođe veliku zahvalnost na značajnim sugestijama, a pre svega što su uvideli značaj ove doktorske disertacije i time podržali njenu izradu.

Zahvaljujem se prof. dr Vesni Ristić-Vakanjac na kolegijalnosti i nesebičnoj stručnoj pomoći, kao i prof. dr Stevanu Prohaski na konstruktivnim savetima i rešenjima. Iskreno se zahvaljujem kolegi Bošku Jevtoviću na administrativnoj pomoći bez koje bi sve bilo mnogo teže, kao i svim uvaženim kolegama sa Departmana za hidrogeologiju RGF-a i Geološkog zavoda Srbije, koji su mi na bilo koji način pomogli tokom rada na ovoj disertaciji.

Hidrogeološka terenska istraživanja za potrebe ove doktorske disertacije, uspešno su izvedena prvenstveno zahvaljujući velikoj profesionalnosti i ljubaznosti brojnih kolega geologa i rudarskih inženjera koji rade u rudnicima kamenih i mrkih ugljeva: D.Bukumiroviću, G.Radeki, B.Stakiću, D.Tošiću, D.Popoviću, Z.Zariću, M.Dubočaninu, V.Cvetkoviću, M.Popoviću, M.Janić, M.Vilimonoviću, S.Bošković, O.Kuzmanović, Z.Avraneloviću, S.Ognjanoviću, D.Jovanoviću, D.Jokoviću, S.Kokeriću. U tom pogledu, posebno se zahvaljujem kolegici Suzani Bačić-Vlahović, koja je kao glavni geolog u JPPEU, pomogla u sistematizaciji i prikupljanju obimne rudničke dokumentacije.

Duboko poštovanje i zahvalnost upućujem akademiku Radulu Popoviću za stručni podstrek i prijateljsku podršku.

Najtopliju zahvalnost poklanjam porodici, mom temelju i osloncu.

Autor

HIDROGEOEKOLOŠKI USLOVI EKSPLOATACIJE KAMENIH I MRKIH UGLJEVA SRBIJE

S A Ž E T A K

Ugalj predstavlja energent na čijoj osnovi se razvija privreda celog sveta. Zato mu se pridaje velika pažnja u eksploataciji i preradi, bez obzira na mnoge štetne uticaje na životnu sredinu, a posebno na efekat staklene bašte koji se stvara emisijom zagađujućih materija u atmosferu radom termoelektrana na ugalj.

U Srbiji, resurs koji se danas u najvećoj meri koristi u proizvodnji električne energije je ugalj i on učestvuje u proseku sa 70 %. U strukturi ukupne proizvodnje ugljeva, dominiraju lignitski ugljevi sa učešćem od 98 %, a kameni i mrki ugljevi sa 2 % (2012. god.).

Otkop kamenih i mrkih ugljeva u Srbiji, odvija se trenutno u 8 ugljonosnih basena, u kojima rade 11 rudnika se podzemnom i 1 rudnik sa površinskom eksploatacijom uglja. Bez obzira na značajne eksploatacione rezerve ovih vrsta ugljeva, ostvaruje se relativno skromna godišnja proizvodnja koja, u proseku, iznosi oko 590.000 t (2010-2012. god.). Ova količina ne podmiruje ni polovinu potreba Srbije za ovim vrstama ugljeva.

Opšta je ocena da u dosadašnjem periodu, nije pridavano dovoljno pažnje ležištima kamenih i mrkih ugljeva sa hidrogeološkog aspekta. Zato, cilj ove doktorske disertacije se zasnivao na definisanju uslova formiranja priliva rudničkih voda, njihovog hemijskog sastava kao dela ukupnog vodnog resursa Srbije i definisanja negativnih aspekata eksploatacije, odvodnjavanja rudnika i prerade uglja na životnu sredinu.

Rezultati do kojih se došlo tokom ovih hidrogeoloških istraživanja, ukazuju na složene uslove formiranja rudničkih voda, kao odraz uticaja brojnih prirodnih i veštačkih faktora. Analizom režima rudničkih voda i primenom statističkih metoda, definisane su funkcionalne zavisnosti uticaja padavina i površinskih voda na veličinu priliva rudničkih voda u rudarske radove.

Sprovedena hidrogeološka istraživanja su ukazala, generalno, na slabu vodonosnost ugljonosnih serija u kojima su formirana ležišta kamenih i mrkih ugljeva. Međutim kada ih u litološkom pogledu izgrađuju vulkanogeno-

sedimentne tvorevine i pritom su tektonski izrasedane, onda pukotinski akviferi u njima, predstavljaju glavni faktor ovodnjenosti ležišta uglja. Primer u tom pogledu je rudnik „Štavalj“, u kome se javljaju najveći prilivi rudničkih voda od svih rudnika sa podzemnom eksploatacijom uglja u Srbiji (51-77 l/s, za period 2003.-2011.). Za simulaciju i kratkoročnu prognozu priliva ovih rudničkih voda, korišćen je model višestruke linearne regresije kojim je uspostavljena zavisnost između nezavisno promenljivih veličina (dnevne sume padavina, temperature i dnevni prilivi rudničkih voda).

Karstna izdan formirana u karbonatnom kompleksu mezozoika, ima najznačajniji uticaj na ovodnjenost ležišta uglja u sokobanjskom, resavsko-moravskom i krepoljinskom ugljonosnom basenu. Ipak, pri minimalnim prilivima rudničkih voda, uzevši kao sumarne prilive koji se javljaju u svim rudnicima sa podzemnom eksploatacijom u Srbiji, udeo podzemnih voda iz karstnog akvifera iznosi samo $\frac{1}{3}$. U periodima maksimalnih priliva, oni se trostruko uvećavaju i dominantniji su u odnosu na prilive iz akvifera sa pukotinskom i intergranularnom poroznošću.

Za površinski kop kamenog uglja „Progorelica“ u ibarskom basenu, primenom metoda izohrona, definisana je maksimalna visina sloja oticaja i stogodišnji hidrogram površinskog oticaja.

Sprovedena hidrohemijska ispitivanja su pokazala postojanje dva tipa rudničkih voda po hemijskom sastavu i to: a) rudničke vode mineralizacije ispod $M < 1000$ mg/L, koje se javljaju iz stena podine ili povlate ugljonosne serije i b) rudničke vode visoke mineralizacije iznad $M > 1000$ mg/L, koje se javljaju iz ugljonosne serije sedimenata.

U ugljonosnoj seriji sedimenata, odvija se metamorfizacija hemijskog sastava podzemnih voda sa dubinom, pri čemu se formiraju $\text{HCO}_3\text{-Na}$, $\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Na}$, $\text{SO}_4\text{-Na}$ ili Cl-Na tip voda.

Pored toga, utvrđeno je u području ležišta uglja „Strmosten“, „Jelovac“ i „Soko, postojanje hidrohemijske zonalnosti podzemnih voda u krečnjacima paleoreljefa i to duž kontakta sa ugljonosnom serijom.

U pogledu mikrokomponentnog hemijskog sastava, rezultati sprovedenih hidrohemijskih istraživanja su ukazali na niske sadržaje teških metala u rudničkim vodama. Razlog leži u niskoj rastvorljivosti njihovih hidroksida i nestabilnosti hidrokarbonata, koji ih hidrolizuju. Ograničena pokretljivost mikroelemenata je posledica absorpcije glinovitih materijala, koji

ih izvlače iz vodenih rastvora uz pomoć mikroorganizama. Zato su u ispitivanim rudničkim vodama, konstatovani povećani sadržaji ograničenog broja mikroelemenata.

Sprovedenim hidrogeološkim istraživanjima, utvrđeno je da se eksploatacijom i preradom kamenih i mrkih ugljeva u Srbiji, vrši emisija efluenata iznad propisanih graničnih vrednosti emisije (GVE) i to prilikom ispuštanja rudničkih voda u recipijente, odlaganjem rudne i separacijske jalovine na jalovištu, ispuštanjem otpadnih voda i mulja iz separacijskih postrojenja i rudarskih objekata.

U radu su posebno razmatrane emisije temperature, suspendovanih materija, HPK i pH rudničkih voda koje su iznad propisanih graničnih vrednosti. Prema parametrima koji određuju ekološki i hemijski status površinskih voda, kao i prema parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda, izdvojeni su rudnici „Lubnica“, „Avramica“, „Štavalj“, „Bogovina“, „Soko“, „Senjski Rudnik“ i „Jarando“, koji ispustaju rudničke vode sa zagađujućim materijama iznad graničnih vrednosti za II klasu, odnosno za dobar ekološki status površinskih voda. Ova vrsta emisije se vrši i rudničkim vodama iz zatvorenih rudnika uglja: „Ušće“, stara jama „Jarando“, „Podvis“, „Dobra Sreća“, „Resava“, „Sv.Đorđe“, „Rakita“, „Koznik“, „Vidlič“.

Uticaji rada separacijskih postrojenja za preradu ugljeva „Bogovina“ i „ibarskih rudnika“ su sagledani u njihovom neposrednom području jednokratnim pilot ispitivanjem hemijskog sastava uzoraka otpadnih voda, otpadnog mulja i zemljišta.

Otpadni mulj sa separacije uglja „Bogovina“ je svrstan u kategoriju *neopasnog i neinertnog otpada*, a u području separacije „ibarskih rudnika“ u Baljevcu, konstatovana je kontaminacija zemljišta *arsenom* (As) i *niklom* (Ni).

Ključne reči: Srbija, kameni i mrki ugalj, podzemna eksploatacija, prerada uglja, rudničke vode, hemijski sastav, emisija zagađujućih materija, životna sredina

Naučna oblast: Geološko inženjerstvo

Uža naučna oblast: Hidrogeologija

UDK: 502/504:556:622.33(043.3)

HYDROGEOECOLOGICAL CONDITIONS FOR BLACK LIGNITE AND HARD COAL EXTRACTION IN SERBIA

S U M M A R Y

Coal is a fossil fuel and one of the drivers of the global economy. Consequently, coal extraction and processing receive much attention, despite adverse environmental impacts, particularly the greenhouse effect due to emissions of pollutants from coal-fired thermoelectric power plants into the atmosphere.

In Serbia, coal is the most widely used resource for electric power generation, with an average share of 70%. Regarding the types of coal, the proportion of brown coal is 98% and that of black lignite and hard coal 2% (2012).

Black lignite and hard coal are extracted from eight coal basins, including 12 underground mines and one open-pit mine. Despite abundant reserves of these types of coal, the annual output is relatively modest – about 590,000 t on average (2010-2012). This quantity does not meet even half of Serbia's demand.

The prevailing opinion is that black lignite and hard coal deposits have not received enough attention to date from a hydrogeological perspective. Consequently, the objective of the present doctoral thesis is based on defining the conditions for the inflow of mine water and its chemical composition, relative to Serbia's overall water resources, as well as the environmental impacts of coal extraction, mine dewatering, and coal processing.

The results of hydrogeological exploration point to rather complex conditions that govern the formation of mine water, as a result of numerous natural and man-made factors. The mine water regimes are assessed and statistical methods applied to define the dependency and effect of precipitation and surface water on the rate of mine water inflow into underground mining operations.

Hydrogeological research also indicates a generally poor water conductivity of the sequences of black lignite and hard coal deposits. However,

in places where they are lithologically built up of igneous and sedimentary formations, and also tectonically broken-up, the fractured aquifers within them are the main driver of coal seam wetting. One such example is Štavalj Mine, which features the highest rates of underground mine water inflow in Serbia (51-77 l/s, 2003-2011). Multiple linear regression model is used for simulations and short-term forecasting of mine water inflow, to establish a correlation between independent variables (daily precipitation totals, temperatures, and daily rates of mine water inflow).

Karst aquifers in Mesozoic carbonate complexes have the greatest impact on coal seam wetting in the coal basins of Sokobanja, Resava-Morava and Krepoljin. Still, at minimal rates of mine water inflow, considering summary inflow into all underground coal mines in Serbia, the share of karst groundwater is only $\frac{1}{3}$. At times of maximum inflow, the rate is tripled and higher than that from fractured and intergranular aquifers.

The isochrone method is applied to define the maximum depth of the runoff layer and the 100-year surface runoff hydrograph for the open-pit hard coal mine Progorelica in the Ibar Basin.

Hydrochemical analyses reveal two types of water, based on the chemical composition: a) mine water with total dissolved solids (TDS) of $M < 1000$ mg/L, which occur in coal seam roofs and floors, and b) mine water with a TDS of $M > 1000$ mg/L, which occur within the coal seams themselves.

Within coal seams, the chemical composition of groundwater metamorphoses as a function of depth, forming the $\text{HCO}_3\text{-Na}$, $\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Na}$, $\text{SO}_4\text{-Na}$ or Cl-Na type of groundwater.

In addition, the coal deposits at Strmosten, Jelovac and Soko feature hydrochemical zoning of groundwater in the limestone paleo relief, along the contact with the coal sequence.

With regard to microcomponents, hydrochemical testing reveals low concentrations of heavy metals in mine water. This is attributable to the low solubility of their hydroxides and the instability of the hydrocarbonates that hydrolyze them. The limited mobility of microelements is a result of absorption of clay material, which removes them from water solutions with the aid of microorganisms. As a result, the analyzed mine water samples have elevated concentrations of a certain number of microelements.

Hydrogeoecological research reveals that black lignite and hard coal extraction and processing in Serbia results in effluent emissions that exceed emission limit values (ELVs) at mine water discharge outlets to recipients, mine and tailings dumps, and wastewater and sludge outlets at flotation plants and mine facilities.

The thesis specifically considers emissions of temperature, suspended solids, COD and pH of mine water, which exceed regulated ELVs. According to the parameters that determine the ecological and chemical status of surface water bodies, and the chemical and quantitative status of groundwater bodies, the mining operations at Lubnica, Avramica, Štavalj, Bogovina, Soko, Senjski Rudnik and Jarando discharge mine water that contains pollutants in excess of 2nd class ELVs (or those that determine good ecological status of surface water bodies). This type of emission also occurs at decommissioned coal mines: Ušće, abandoned pit at Jarando, Podvis, Dobra Sreća, Resava, Sv.Đorđe, Rakita, Koznik, and Vidlič.

The impact of the flotation plants that process coal from Bogovina and the Ibar mines on their immediate vicinity is assessed on the basis of single-campaign pilot testing of the chemical composition of wastewater, sludge and soil samples.

The sludge from the Bogovina flotation plant is classified as *non-hazardous and non-inert waste*. The soil in the vicinity of the Ibar mines flotation plant at Baljevac is contaminated with *arsenic* (As) and *nickel* (Ni).

Keywords: Serbia, black lignite and hard coal, underground mining, coal processing, mine water, chemical composition, emission of pollutants, environment

Scientific field: Geological Engineering

Research area: Hydrogeology

UDC: 502/504:556:622.33(043.3)

SADRŽAJ

	Str.
1. OPŠTI DEO	1
1.1. Uvod	1
1.2. Istorijski razvoj rudarstva i istraživanja ugljeva u Srbiji	5
1.3. Kvalitet i rezerve kamenih i mrkih ugljeva i njihov značaj za energetiku Srbije	7
1.4. Značaj hidrogeoloških istraživanja ležišta kamenih i mrkih ugljeva Srbije	9
2. OPŠTE KARAKTERISTIKE BASENA KAMENIH I MRKIH UGLJEVA SRBIJE	13
2.1. Basen ležišta antracita „Vrška Čuka“	13
2.2. Ibarski basen kamenog uglja	16
2.3. Resavsko-moravski basen mrkog uglja	22
2.4. Krepoljinski basen mrkog uglja	28
2.5. Bogovinski basen mrkog uglja	32
2.6. Sokobanjski basen mrkog uglja	36
2.7. Sjeničko-štavaljski basen mrkog uglja	40
2.8. Lubnički basen mrko-lignitskog uglja	44
3. HIDROGEOLOŠKI USLOVI EKSPLOATACIJE KAMENIH I MRKIH UGLJEVA SRBIJE	49
3.1. Uslovi ovodnjenosti ležišta kamenih i mrkih ugljeva Srbije	49
3.1.1. Fizičko-geografski uslovi ovodnjenosti ležišta ugljeva	50
3.1.1.1. Geomorfološki uslovi ovodnjenosti ležišta	50
3.1.1.2. Uticaj klimatskih faktora na ovodnjenosti ležišta uglja	58
3.1.1.3. Hidrografski i hidrološki uslovi ovodnjenosti ležišta uglja	71
3.1.2. Geološki uslovi ovodnjenosti ležišta kamenih i mrkih ugljeva	82
3.1.2.1. Geološke karakteristike paleoreljefa i podine ugljonosnog horizonta	83
3.1.2.2. Geološke karakteristike ugljonosnog horizonta ..	89
3.1.2.3. Geološke karakteristike povlate ugljonosnog horizonta	94

3.1.3.	Tektonski uslovi ovodnjenosti ležišta kamenih i mrkih ugljeva	99
3.1.4.	Hidrogeološki uslovi ovodnjenosti ležišta ugljeva	112
3.1.4.1.	Hidrogeološke karakteristike stena paleoreljefa ugljonosne serije	113
3.1.4.2.	Hidrogeološke karakteristike ugljonosne serije	127
3.1.4.3.	Hidrogeološke karakteristike stena u povlati ugljonosne serije	138
3.1.5.	Uticao gasonosnosti uglja na ovodnjenost ležišta	145
3.1.6.	Veštački uslovi ovodnjenosti ležišta uglja	151
3.1.6.1.	Uticao eksploatacije uglja na ovodnjenost ležišta	151
3.1.6.2.	Uticao rudne i separacijske jalovine na ovodnjenost ležišta uglja	165
3.2.	Formiranje i veličina priliva rudničkih voda u rudarske radove	167
3.2.1.	Formiranje i veličina priliva rudničkih voda u rudnike kamenih ugljeva	167
3.2.2.	Formiranje i veličina priliva rudničkih voda u rudnike mrkih ugljeva	187
3.3.	Vodoobilnost ležišta kamenih i mrkih ugljeva	241
3.4.	Hemijski sastav rudničkih voda rudnika kamenih i mrkih ugljeva i uslovi njihovog formiranja	247
3.4.1.	Osnovni hemijski sastav ugljeva	249
3.4.2.	Mineralni primesi u uglju	252
3.4.3.	Hemijsko raspadanje ugljeva	253
3.4.3.1.	Uticao oksidacije na fizičko-hemijske promene ugljeva	254
3.4.3.2.	Uticao oksidacije na promenu mineralnih primesa u uglju	255
3.4.4.	Hemijski sastav rudničkih voda rudnika kamenih i mrkih ugljeva	256
3.4.5.	Uslovi formiranja hemijskog sastava rudničkih voda rudnika kamenih i mrkih ugljeva	282
3.4.5.1.	Uslovi formiranja hemijskog sastava rudničkih voda u ugljonosnoj seriji	283
3.4.5.2.	Uslovi formiranja hemijskog sastava rudničkih voda paleoreljefa i povlate ugljonosne serije	291
3.4.5.3.	Karakteristike mikrokomponentnog hemijskog sastava rudničkih voda	

ležišta kamenih i mrkih ugljeva Srbije	294
3.4.6. Agresivnost rudničkih voda u rudnicima kamenih i mrkih ugljeva	299
4. UTICAJ EKSPLOATACIJE KAMENIH I MRKIH UGLJEVA NA ŽIVOTNU SREDINU - HIDROGEOLOŠKI ASPEKT	302
4.1. Uticaj podzemnog otkopavanja ugljeva na životnu sredinu	311
4.2. Uticaj rudničkih voda iz rudnika kamenih i mrkih ugljeva na životnu sredinu	315
4.2.1. Sistemi za odvodnjavanje aktivnih jama rudnika uglja	316
4.2.2. Uticaj rudničkih voda iz aktivnih rudnika uglja sa podzemnom eksploatacijom na životnu sredinu	330
4.2.3. Uticaj rudničkih voda iz zatvorenih rudnika uglja sa podzemnom eksploatacijom na životnu sredinu	341
4.3. Uticaj separacije ugljeva na životnu sredinu	348
4.3.1. Postrojenja za separaciju kamenih i mrkih ugljeva	349
4.3.2. Uticaj otpadnih voda i mulja iz separacija uglja na životnu sredinu	354
4.4. Uticaj deponija jalovine uglja i prateće rudarske infrastrukture na životnu sredinu	367
4.5. Bonitet kvaliteta voda površinskih vodotokova i njihova ugroženost uticajem eksploatacije i prerade uglja	376
5. MOGUĆNOSTI POBOLJŠANJA ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE OD UTICAJA EKSPLOATACIJE I PRIVREDE UGLJA	391
6. ZAKLJUČAK	398
7. LITERATURA	403
Biografija autora	
Izjava o autorstvu	
Izjava o istovetnosti stampane i elektronske verzije doktorskog rada	
Izjava o korišćenju	

Korišćene skraćenice:

- Cv - koeficijent varijacije
Cs - koeficijent asimetrije
 σ - standardna devijacija
P - padavine
Q - proticaj
F - površina
GJ - Giga džula
DTE - donji toplotni efekat
GTE - gornji toplotni efekat
C_{fix} - fiksni ugljenik
Mtoe - milion tona ekvivalentne nafte
GVE - granične vrednosti emisije
r.u. - rovni ugalj
RU - rudnik uglja
RA - rudnik antracita
RMU - rudnik mrkog uglja
Rembas - Resavsko-moravski basen
RI - Rudarski institut
JPPEU - Javno preduzeće za podzemnu eksploataciju uglja
RHMZ - Republički hidrometeorološki zavod
GZZJZ - Gradski zavod za javno zdravlje
ICMM - International Council on Mining and Metals

1. OPŠTI DEO

1.1. Uvod

Ugalj predstavlja energent na čijoj osnovi se razvija privreda celog sveta. Zato mu se pridaje velika pažnja u eksploataciji i preradi, bez obzira na mnoge štetne uticaje na životnu sredinu, a posebno na efekat staklene bašte koji se stvara emisijom zagađujućih materija u atmosferu radom termoelektrana na ugalj.

Ukupna proizvodnja uglja u Svetu neprestano raste, tako da podaci ukazuju da je od 4677 Mt (miliona tona) iz 1990. godine, dostignuta proizvodnja od 7831 Mt u toku 2012. godine, što ukazuje na stalan trend porasta proizvodnje, ali i potrošnje uglja (www.worldcoal.org).

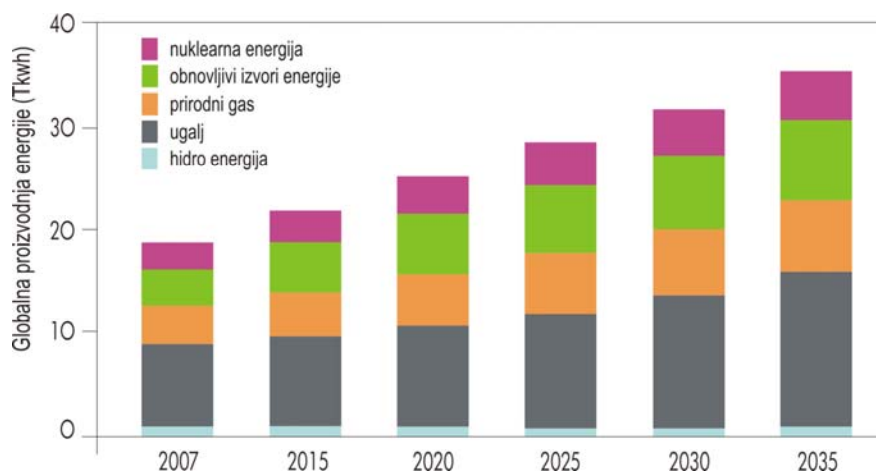
Daleko najveći proizvođač uglja u svetu, u toku 2014. godine je bila Kina sa 3748 Mt, a zatim sledi SAD sa 916 Mt, Indija sa 668 Mt itd. (www.worldcoal.org). Prema podacima američke agencije EIA (*Energy Information Administration*), proizvodnja električne energije iz uglja će se povećavati u narednom periodu u proseku od 2,3% godišnje (slika 1.).

U Evropi se električna energija najvećim delom dobija iz nuklearne energije i uglja. Nemačka koja ima najrazvijeniju privredu u Evropi, subvencionise proizvodnju uglja i njegovo korišćenje za proizvodnju električne energije. Velike kompanije kao što su Vattenfall AB, CEZ AG, PGE, proširuju rudničke pogone uglja u Nemačkoj, Češkoj, Poljskoj iako je to u suprotnosti sa odlukama EU o ograničavanju emisije štetnih gasova zbog uticaja na klimu i zahtevima za što veće korišćenje obnovljivih izvora energije.

U toku 2013. godine, u Nemačkoj je dostignut najviši nivo proizvodnje električne energije iz uglja u poslednjih 20 godina (Groll i dr. 2015).

U Srbiji, resurs koji se danas u najvećoj meri koristi u proizvodnji električne energije je ugalj i on učestvuje u proseku sa 70 %. U strukturi ukupne proizvodnje ugljeva, dominiraju lignitski ugljevi iz površinskih kopova sa

učešćem od 98 %, a zbog složenosti metoda otkopa, kameni i mrki ugljevi imaju udeo svega sa 2 % (Živadinović i dr. 2013).



Slika 1. Prognoza proizvodnje električne energije u Svetu za period 2007.- 2035. god. (SAD, EIA/International Energy Outlook 2010.)

Otkop kamenih i mrkih ugljeva u Srbiji, odvija se trenutno u 8 ugljonosnih basena, u kojima rade 11 rudnika se podzemnom i 1 rudnik sa površinskom eksploatacijom uglja (slika 2.). Njihovim radom se ostvaruje relativno skromna godišnja proizvodnja, koja ne podmiruje ni polovinu potreba Srbije za ovim vrstama ugljeva.

Bez obzira na značaj koji imaju, opšta je ocena da u dosadašnjem periodu, nije pridavana dovoljna pažnja hidrogeološkim istraživanjima ležišta kamenih i mrkih ugljeva. Zato, cilj ove doktorske disertacije se zasnivao na definisanju uslova formiranja priliva rudničkih voda, njihovog hemijskog sastava kao dela ukupnog vodnog resursa Srbije i definisanja negativnih aspekata eksploatacije, odvodnjavanja rudnika i prerade uglja na životnu sredinu.

Rezultati do kojih se došlo tokom ovih istraživanja, ukazuju na složene uslove formiranja rudničkih voda, kao odraz uticaja brojnih prirodnih i veštačkih faktora. Analizom režima rudničkih voda i primenom statističkih metoda, definisane su funkcionalne zavisnosti uticaja padavina i površinskih voda na veličinu priliva rudničkih voda u podzemne rudarske radove i doticaj merodavnih velikih voda koje se mogu javiti na površinskom kopu.

Rezultati hidrogeoeoloških istraživanja koji su prikazani ovom doktorskom disertacijom, ukazuju da su svi supstrati životne sredine u

rudarskim oblastima, gde se vrši eksploatacija kamenih i mrkih ugljeva, izloženi zagađenju. Rudničke vode koje se ispumpavaju iz aktivnih rudarskih jama ili ističu iz starih rudarskih radova, imaju često jako složen hemijski sastav.



Slika 2. Geografski položaj aktivnih rudnika kamenih i mrkih ugljeva Srbije

Zbog nekontrolisanog ispuštanja, rudničke vode zagađuju površinske tokove, a u širem prostoru rudnih i separacijskih deponija se vrši zagađenje podzemnih voda i okolnog zemljišta.

Rezultati ovog istraživanja, prikazani su kroz šest celina ove disertaciji i to:

- I - Opšti deo;
- II - Opšte karakteristike basena kamenih i mrkih ugljeva Srbije;
- III - Hidrogeološki uslovi eksploatacije ležišta kamenih i mrkih ugljeva Srbije;
- IV - Uticaj eksploatacije kamenih i mrkih ugljeva na životnu sredinu - hidrogeološki aspekt;
- V - Mogućnost poboljšanja zaštite životne sredine od uticaja eksploatacije i prerade uglja.

Tokom istraživačkog rada na temi ove disertacije, korišćeni su savremeni metodološki postupci hidrogeoloških istraživanja. Radom na terenu i u rudarskim jamama, korišćeno je mikro hidrometrijsko krilo za merenje proticaja (tipa Seba), terenski merni instrumenti za određivanje pH vrednosti (potenciometrija), temperature, elektrolitičke provodljivosti (konduktometrija), mutnoće (turbidimetrija), sadržaj rastvorenog kiseonika (elektrohemijski-jon selektivnom elektrodom).

Laboratorijska ispitivanja fizičkih osobina i hemijskog sastava podzemnih i rudničkih voda, vršena su laboratorijskim akreditovanim metodama i to korišćenjem tehnika gravimetrije, potencijometrije, turbidimetrije, UV-VIS spektrofotometrije, volumetrije i jonske hromatografije. Laboratorijsko ispitivanje uzoraka na sadržaj metala je vršeno indukovano spregnutom plazmom-optičke emisije spektrometrije (ICP-OES). Arsen i živa su ispitivani atomskom apsorpcionom spektrometrijom hidridnom tehnikom (HGAAS) i tehnikom hladnih para (CVAAS), respektivno.

Tokom kabinetskog rada, za statističku obradu podataka je korišćen licencirani program Statistika verzija 6.1. Stat Soft Corp. Za simulaciju priliva rudničkih voda u jamske rudarske radove, korišćen je regresioni model i to model višestruke linearne regresije, a za definisanje merodavnih velikih voda koje se javljaju na površinskom kopu, korišćen je metod izohrona.

Svakako, treba istaći da je tokom ovih istraživanja, korišćena i obimna rudnička dokumentacija, brojni fondovski materijali, publikovani stručni i naučni radovi, kao i savremeni udžbenici iz ove oblasti.

1.2. Istorijski razvoj rudarstva i istraživanja ugljeva u Srbiji

Za pojave uglja u Srbiji, bilo je poznato mnogo ranije od otvaranja prvih rudnika. Prvi pisani podaci o pojavama kamenog uglja kraj Dunava (više Smedereva), potiču od Vuka Karadžića („Danica“ za 1827. god., str.29., preuzeto od Simić 1958). Interesovanje za rudarstvom u tadašnjoj Srbiji, počinje da se javlja posle hatišerifa od 1830. godine, kada je Srbija dobila malu nezavisnost. Zato je bio angažovan u to vreme čuveni saksonski stručnjak rudarstva baron Herder, da poseti Srbiju i prouči njena rudna bogatstva. Očekivalo se da će njegovo angažovanje pomoći otvaranje prvih rudnika u Srbiji.

Tako su krajem 1836. godine, otvoreni prvi rudnici uglja u državnoj svojini i to u selu Miliva kod Despotovca i Kazanskom potoku kod Donjeg Milanovca (Simić 1960).

Prvi privatni rudnik uglja u Srbiji (rudnik kamenog uglja „Dobra“ na Dunavu), otvoren je 1846. godine. Radovi na istraživanju i otvaranju rudnika uglja „Aleksandrov majdan“ u Senjskom Rudniku (slika 3.), započeli su 1853. godine, a prvi transport uglja za tadašnju topolivnicu u Kragujevac, poslat je



Slika 3. Prvi rudari u Kneževini Srbiji ispred potkopa u Senjskom Rudniku 1853. godine (arhiv Senjskog Rudnika)

1854. godine (Ćuzović i dr. 2004). Ovim rudnikom se i danas vrši eksploatacija mrkog uglja.

Navedeni počeci organizovane eksploatacije uglja u Srbiji, nisu međutim bili adekvatno praćeni srtnim i naučnim radom. Tek u drugoj polovini XIX veka, doprinos poznavanju ugljonosnosti terena na teritoriji Srbije, dali su J.Pančić,

S.Ložanić, J.Žujović (Simić 1958).

Sve aktivnija istraživanja i rudarstvo koje je počelo da se razvija, uslovilo je 1866. godine i pojavu Zakona o rudarstvu. Ovo je omogućilo F.Hofmanu (slika 4.) da 1881. godine, izvrši i prvu klasifikaciju ugljeva Srbije.

Mnogo više pažnje ležištima uglja posvetio je M.Milićević, krajem XIX i početkom XX veka, a D.Antula opisuje 1900. godine, čak 164 pojave ležišta uglja na teritoriji tadašnje Srbije (Simić 1958).

Krajem 19. veka, u Srbiji je postojalo već 20 aktivnih rudnika uglja, a njihova proizvodnja je iznosila oko 100.000 t svih vrsta uglja (Simić 1960).



Slika 4. Feliks Hofman
(arhiv Senjskog Rud.)

Sve veći privredni razvoj Srbije je uslovio i veću potražnju za ugljem, tako da je do Drugog svetskog rata, najveća godišnja proizvodnja u Srbiji ostvarena 1939. godine i iznosila je 1.634.242 t (Simić 1958).

Nakon Drugog svetskog rata, proizvodnja uglja u Srbiji (nezavisno od ostalih federalnih republika tadašnje Jugoslavije), rasla je i dalje, a 1955. godine je iznosila 3.523.298 t (Simić 1958).

Nakon "naftnog šoka" 1975. godine (kako je još nazivan ovaj period), uglj postaje ponovo energentski resurs na kojoj će se bazirati dalji privredni razvoj Srbije. Obzirom na najveće rezerve lignita, počinju da se intenzivno grade termoelektrane u područjima površinskih kopova.

Na osnovu podataka iz 2012. godine, sa površinskih kopova „Kolubara“ i „Kostolac“, otkopano je 37,5 mil.t lignita, što je predstavljalo 98% energentskog potencijala ugljeva Srbije (Živadinović i dr. 2013). Preostali udeo od 2%, pripada kamenim i mrkim ugljevima koji se otkopavaju iz rudnika sa podzemnom eksploatacijom i uglju sa podvodnom eksploatacijom iz korita Dunava kod Kovina.

Rudnici sa podzemnom eksploatacijom kamenog i mrkog uglja, koji su trenutno aktivni u Srbiji, prikazani su tabelom 1.

Tabela 1. Opšti podaci o aktivnim rudnicima kamenog i mrkog uglja u Srbiji

Rudnik	Način otkopa uglja		Vrsta uglja	Administrativni centar
	jama	površin.kop		
Vrška Čuka	Avramica	-	antracit	Zaječar
Ibarski rudnici	Jarando	-	kameni	Raška
	Tadenje	-		
	-	Progorelica		
Rembas	Strmosten	-	mrki	Despotovac
	Jelovac	-		Ćuprija
	Senjski Rudnik	-		Krepoljin
Jasenovac	Jasenovac	-		Boljevac
Bogovina	istočno polje	-		Soko Banja
Soko	Soko	-		Sjenica
Štavalj	Štavalj	-		Zaječar
Lubnica	Lubnica	-	mrko-lignitski	

1.3. Kvalitet i rezerve kamenih i mrkih ugljeva i njihov značaj za energetiku Srbije

Kvalitet uglja se određuje tehničkom i elementarnom analizom (Ercegovac 1998). Parametri koji se ispituju tehničkom analizom su: sadržaj vlage, pepela, sumpora (ukupnog, u pepelu i sagorivog), koksa, C_{fix} , isparljivih i sagorljivih materija u uglju, gornji i donji toplotni efekat.

Elementarnom analizom se određuje sadržaj: ugljenika, vodonika, sumpora i zbira azota i kiseonika u uglju.

Srednje vrednosti pokazatelja kvaliteta kamenih i mrkih ugljeva Srbije, prikazani su u tabeli 2.

Tabela 2. Srednje vrednosti pokazatelja kvaliteta kamenih i mrkih ugljeva Srbije (Bačić-Vlahović 2011)

Rudnik	Vlaga (%)	Pepeo (%)	Sump. uk. (%)	Koks (%)	C_{fix} (%)	Ispar.m. (%)	Sagor.m. (%)	GTE (kJ/kg)	DTE (kJ/kg)
V.Čuka	0,96	13,19	2,26	90,36	79,68	8,82	86,06	30.605	29.730
Jarando	3,16	36,58	5,98	74,25	37,66	22,50	60,28	-	18.465
Tadenje	5,02	28,95	5,70	63,90	37,25	32,04	65,10	-	20.535
Progorelica	1,77	57,96	5,83	-	-	16,02	44,41	-	11.351
Strmosten	18,75	14,46	1,59	45,86	31,75	35,64	65,88	18.892	17.680
Jelovac	17,53	11,88	0,99	47,20	35,33	35,19	70,59	20.353	19.026
Senjski Rud.	15,33	9,62	0,97	48,85	39,23	35,82	75,05	21.086	19.950
Jasenovac	22,79	11,40	1,01	37,57	26,17	39,64	65,81	18.447	16.871
Bogovina	26,91	18,09	2,09	46,74	30,06	36,40	63,17	16.895	16.129
Soko	22,11	15,17	1,72	45,44	29,30	35,12	62,71	17.429	16.079
Štavalj	28,33	10,89	0,98	43,21	30,48	40,16	67,49	18.228	14.983
Lubnica	27,39	17,89	2,48	42,58	24,68	30,03	54,71	14.872	13.504

Eksploatacione rezerve kamenih i mrkih ugljeva u ležištima Srbije koja su trenutno u eksploataciji, iznose 64,4 mil/t (Bačić-Vlahović 2008), tabela 3.

Ležište uglja „Ravna Reka“ - četvrti blok, nalazi se u pripremljenoj fazi za otpočinjanje eksploatacije i u njemu su sadržane rezerve od 1,3 mil/t (Bačić-Vlahović 2008).

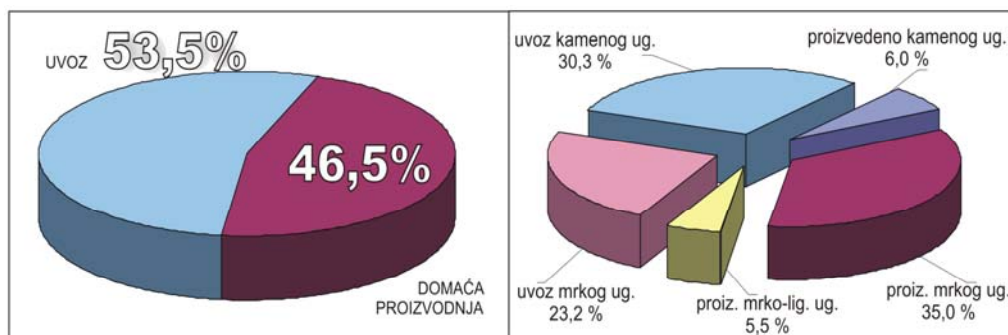
Od ležišta uglja koja su van trenutne eksploatacije, daleko najveće geološke rezerve postoje u sjeničkom basenu (zapadno, istočno i južno polje), koje iznose oko 240 mil/t (Bukumirović 2003). U ostalim ležištima uglja, geološke rezerve iznose: „Ćirikovac“ (206,1 mil/t), zapadno moravski basen (93,6 mil/t), „Poljane“ (62,2 mil/t), „Melnica“ (39,5 mil/t), despotovački basen

(28,6 mil/t), aleksinački rudnici (27,4 mil/t), „Jerma“ (5,6 mil/t), Milisavljević i dr. 2009.

Tabela 3. Eksploatacione rezerve i energentski potencijal ležišta kamenih i mrkih ugljeva Srbije trenutno u eksploataciji (stanje za 31.XII.2007.), Bačić-Vlahović 2008

Rudnik	Eks. rezerve (t)	DTE (kJ/kg)	GJ	Mtoe 1 toe=41,868 GJ	
Vrška Čuka	1.431.555	29.370	42.044.770	1.004.222	
Ibarski rudnici	Jarando	870.666	17.600	15.323.713	366.001
	Tadenje	361.342	20.535	7.420.158	177.227
	Progorelica	1.212.457	11.351	13.762.594	328.714
Rembas	Strmosten	1.770.092	17.680	31.295.229	747.474
	Jelovac	955.020	19.026	18.170.211	433.988
	Senjski R.	578.693	19.298	11.167.608	266.734
Jasenovac	830.340	16.057	13.332.769	318.448	
Bogovina	1.626.992	19.026	30.955.150	739.351	
Soko	38.294.804	18.239	698.458.927	16.682.405	
Štavalj (central.polje)	6.344.100	12.541	79.561.358	1.900.290	
Lubnica	10.146.675	14.349	145.594.640	3.477.468	
UKUPNO	64.422.736		UKUPNO	26.442.322	

Rudnici sa podzemnom eksploatacijom kamenih i mrkih ugljeva (računajući pritom i površinski kop kamenog uglja „Progorelica“), ostvaruju u proseku godišnju proizvodnju, koja podmiruje približno polovinu potreba za ovom vrstom uglja u Srbiji (Milisavljević i dr. 2009). Grafički prikaz ove strukture domaće proizvodnje i uvoza uglja iz inostranstva, prikazana je na slici 5.



Slika 5. Struktura uvoza i domaće proizvodnje kamenih, mrkih i mrko-lignitskih ugljeva u toku 2008. godine (prema podacima Milisavljevića i dr. 2009)

U odnosu na ovu prikazanu strukturu domaće proizvodnje i uvoza uglja za 2008 godinu, potreba za kvalitetnim ugljevima u Srbiji nakon toga, nije se značajnije menjala. Proizvodnja uglja po rudnicima za period 2010.-2012. godina, prikazana je u tabeli 4.

Tabela 4. Proizvodnja uglja iz rudnika sa podzemnom eksploatacijom za period 2010.-2012. god., izražena u tonama (Olšina i dr. 2013)

Rudnik	godina		
	2010	2011	2012
Avramica	7.061	7.034	6.807
Ibraski rudnici	101.200	134.474	140.983
Rembas	113.000	133.001	126.751
Jasenovac	62.000	65.230	62.240
Bogovina	4.160	9.684	18.758
Soko	121.317	123.980	122.330
Štavalj	76.118	82.665	47.202
Lubnica	67.330	78.150	58.770
UKUPNO	552.186	634.218	583.841

1.4. Značaj hidrogeoloških istraživanja ležišta kamenih i mrkih ugljeva Srbije

Ležišta kamenih i mrkih ugljeva, čine značajan energetske resurs na čijoj osnovi se temeljiti dalji ekonomski i privredni razvoj Srbije. Zato se ističe značaj hidrogeološke istraženosti ovih ležišta, obzirom da je u planu buduće podizanje eksploatacije kamenih i mrkih ugljeva oko milion tona na godišnjem nivou.

Poteškoće koje stvaraju podzemne vode, višestruke su u rudnicima sa podzemnom eksploatacijom uglja. Prilivi rudničkih voda u rudarske radove, prvenstveno otežavaju rad na otkopu uglja i smanjenju produktivnosti rada, a često dovode do potapanja rudarskih prostorija i obustavu rada. Posebne probleme stvaraju iznenadni prilivi koji su u više navrata uslovlili veće ili manje katastrofe. Ovakve pojave u praksi često dovode u pitanje čak dalju razradu i eksploataciju ležišta (Sviták 1998).

Stalni prilivi rudničkih voda u rudarske radove, uslovljavaju i čitav niz pratećih pojava. Narušavanjem prirodnih uslova sredine (intenzivnim odvodnjavanjem ležišta ili dreniranjem izdanskih voda često jako duboko ispod lokalnih erozionih bazisa), u izvesnim uslovima se remete veoma složeni

međusobni odnosi izdanskih voda i metana (uključujući i druge gasove) koga ima u ležištima uglja (Prohorov 1962).

Pojava metana u rudarske prostorije, dodatno otežava eksploataciju uglja. Posebne probleme mogu da stvore prodori tečnih peskova ili bubrenje glina u zonama gde se vrši njihovo vlaženje.

Ništa manji problem se ne stvara i sadašnjim načinom eksploatacije navedenih ležišta uglja, obzirom da se najvećim delom izvodi krupnim otkopavanjem putem delimičnog ili potpunog obrušavanja krovine. Time se značajno deformišu stene u povlati, a stvorene pukotine povećavaju vodopropusnost sredine.

Stari rudarski radovi koji se najčešće ne odvodnjavaju, u određenim fazama razrade ili eksploatacije ležišta, takođe imaju uticaj na povećane prilive. Slična konstatacija se odnosi i na nepravilno izvođenje novih rudarskih radova.

Ovim svakako nisu navedeni svi problemi koji stvaraju podzemne vode tokom eksploatacije ležišta kamenih i mrkih ugljeva u Srbiji. U njihovom prevazilaženju se i nalazi uloga i značaj hidrogeoloških istraživanja.

Na osnovu rezultata dosadašnje istraženosti kamenih i mrkih ugljeva u Srbiji, može se konstatovati da se radi najčešće o neravnomernim i parcijalnim istraživanjima. Posebna analiza stepena istraženosti ovih ležišta je izvršena u dvema studijama koje su urađene u cilju sagledavanja perspektivnosti i mogućnosti daljeg razvoja rudnika sa podzemnom eksploatacijom uglja u Srbiji od strane „Ugaljprojekta” i „Rudarskog instituta” iz Beograda (Kolektiv autora, 1991.) i „International Economic Energy Consultants Limited - I.E.E.C.” iz Velike Britanije i „Ekonomskog instituta” iz Beograda (Kolektiv autora 1993).

U ovim studijama je jasno naglašena gotovo u svim slučajevima da se radi o nedovoljnom stepenu istraženosti i to kako na istraženost i izučenost kvantitativno-kvalitativnih karakteristika ugljenih slojeva, tako i na prirodne uslove ležišta (strukturno-geološke, hidrogeološke, inženjersko-geološke i druge karakteristike).

Analize ovakvog stanja su pokazale da se uzroci nalaze u nepoštovanju opšte prihvaćene metodologije u oblasti istraživanja ležišta uglja kao i neadekvatnog tumačenja postojećih zakonskih propisa i standarda iz te oblasti.

Svi ovi propusti i problemi su pratili procese istraživanja ležišta uglja počev od izrade projekta i realizacije osnovnih geoloških istraživanja, pa do izrade elaborata o rezervama uglja i davanja tehno-ekonomske ocene kao

njihovog sastavnog dela. Hidrogeološke karakteristike ležišta uglja u ovim izveštajima su veoma površno sagledavane.

U dosadašnjem periodu, karakteristično je da su namenska hidrogeološka istraživanja ležišta kamenih i mrkih ugljeva, vršena najčešće nakon povećanih ili iznenadnih priliva rudničkih voda koje su ugrožavale dalju eksploataciju. Gotovo u svim ležištima u kojima se trenutno odvija eksploatacija uglja, dolazilo je do potapanje rudarskih radova (tabela 5.).

Tabela 5. Rudnici uglja sa podzemnom eksploatacijom koji su bili potapani iznenadnim prilivima rudničkih voda u periodu 1962-2012. godine

Štavalj	1962	Lubnica	1982
Strmosten	1969	Bogovina	1984
Ravna Reka	1973	Vrška Čuka	1991
Štavalj	1979	Jelovac	2002
Senjski Rudnik	1980	Jasenovac	2006
Jarando	1982	Lubnica	2008

Posebno se ističe činjenica da trenutno ne postoji ni u jednom rudniku kamenih i mrkih ugljeva, drenažni sistem kojim bi se vršilo predhodno ili preventivno odvodnjavanje ležišta. U svim anliziranim rudnicima, dopušta se



Slika 6. Rudničke vode iz zatvorene jame kamenog uglja „Jerma“ na Staroj Planini (foto B.Miladinović)

dreniranje podzemnih voda direktno u duboke jamske rudarske radove, a onda se skupim sistemima za odvodnjavanje, rudničke vode ispumpavaju na površinu terena. Takav način održavanja celokupnog sistema predstavlja rešavanje posledice problema, a ne uzroka problema sa podzemnim vodama.

Problem zagađivanja i zaštite životne sredine od negativnog dejstva eksploatacije (slika 6.) i prerade uglja, predstavlja takođe jedan od važnih zadataka hidrogeoekoloških istraživanja. Navedenim aktivnostima, zagađuju se svi supstrati životne sredine (Dragišić i dr. 1991).

Rudničkim vodama koje sadrže zagađujuće materije, kao i otpadnim vodama i otpadnim muljem iz separacijskih postrojenja, zagađuju se površinske i podzemne vode kao i samo zemljište u području rudnika. Trenutno u Srbiji se ne pričišćavaju rudničke vode ni u jednom od 12 aktivnih rudnika kamenih i mrkih ugljeva. Izolovane betonske bazene za prijem otpadnih voda i mulja sa separacijskog postrojenja, ima jedino rudnik „Avramica“, a to je rudnik koji ujedno ima najmanju proizvodnju uglja od svih rudnika u Srbiji.

Ovim pitanjima, posvećuju se danas velika pažnja u svetu, a statističke analize pokazuju da se od ukupnih troškova očuvanja i zaštite životne sredine, najveći deo sredstava (oko 80%), troši na prečišćavanje rudničkih voda i otpadnih voda koje nastaju pri tehnološkim procesima prerade (www.worldcoal.org). Brojne su u svetu organizacije i interesne grupe poput ICMC (International Council on Mining and Metals) i Better Coal („Bolji uglj“), koje intenzivno promovišu inicijativu o mogućem održivom razvoju, bez obzira na sve dosadašnje posledice na životnu sredinu i veoma izražene klimatske promene izazvane otkopom i prekomernim radom termoelektrana na uglj. Promociju mera zaštite životne sredine (www.worldcoal.org/environmental-protection/coal-mining-environment), vrše kroz isticanje značaja:

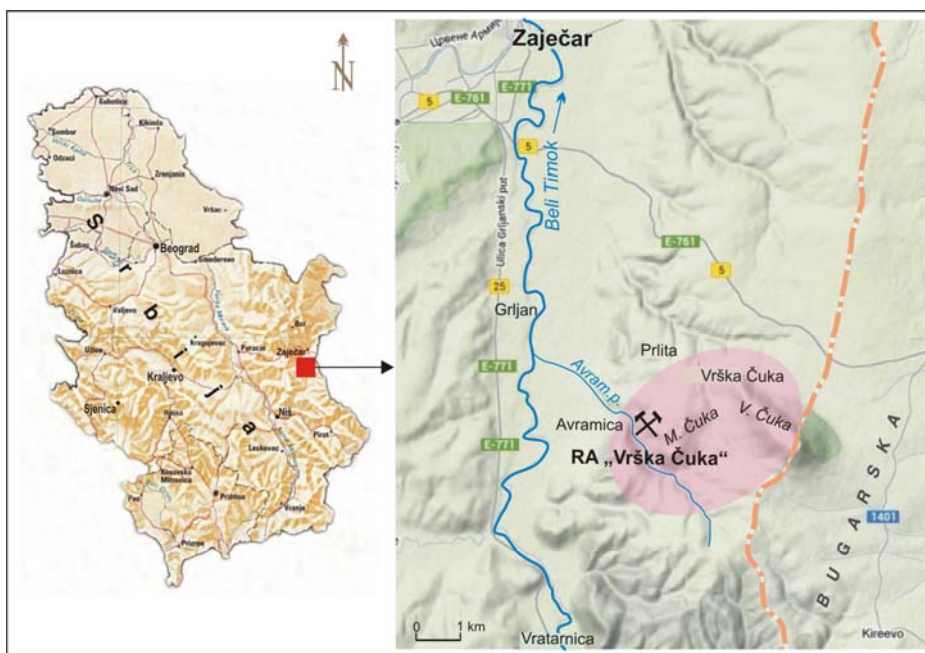
- Pravilnog izbora opreme i metoda za otkopavanje ugljeva;
- Instalaciji savremenih postrojenja za prečišćavanje otpadnih rudničkih voda;
- Suzbijanju prašine putem neprestanog prskanja vodom jalovišta, puteva, prekrivanju uglja folijama koji se transportuje, prekrivanju jalovišta vegetacijom, podizanju zemljanih brana i drvoreda (zelenog pojasa) zbog vizuelnih uticaja rudarske delatnosti na lokalne zajednice;
- Kontrolu buke pažljivim izborom opreme i izolacije kao što su zaštitne „kutije“ oko radnih mašina i dr.

Imajući u obzir da se dalji privredni razvoj Srbije planira na što većem korišćenju domaćih energenata, prvenstveno uglja, to će istovremeno uslovljavati i primenu navedenih novih tehničkih rešenja, kako bi se postigao visoki nivo očuvanja životne sredine, saglasno sa Direktivama Evropske Unije, koje su već u velikoj meri implementirane u nacionalno zakonodastvo.

2. OPŠTE KARAKTERISTIKE BASENA KAMENIH I MRKIH UGLJEVA SRBIJE

2.1. Basen ležišta antracita „Vrška Čuka“

Geografski položaj. Uljonosni basen „Vrška Čuka“, nalazi se u istočnoj Srbiji, oko 10 km jugoistočno od Zaječara (slika 7.). Obuhvatajući planinski masiv Vrške Čuke (672 m nv), ovaj ugljonosni basen se proteže neposredno duž državne granice Srbije sa Bugarskom.

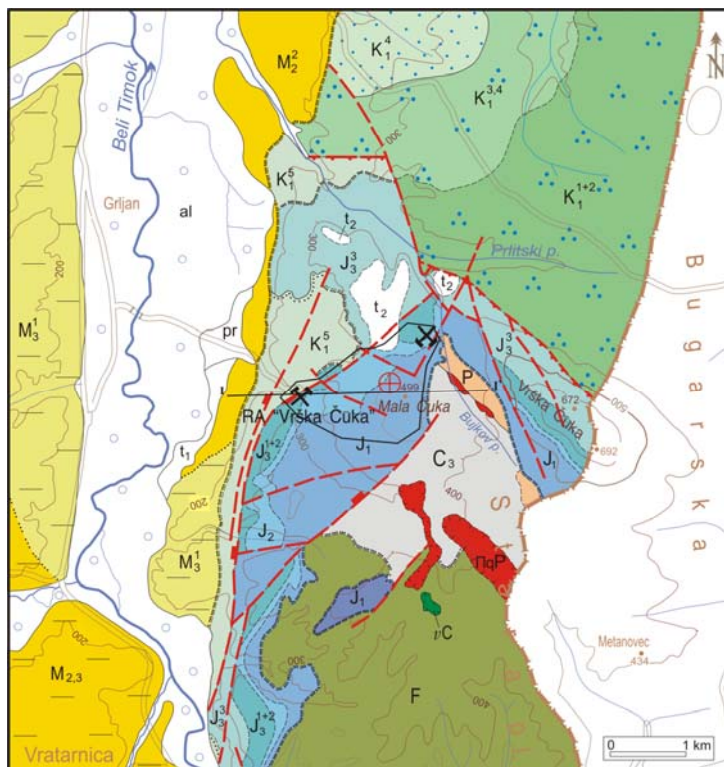


Slika 7. Geografski položaj ležišta antracita „Vrška Čuka“


Istorijat rudnika. Početak eksploatacije antracita iz ugljonosnog basena „Vrška Čuka“, vezuje se okvirno za 1870. godinu, mada prva zvanična iskopavanja uglja su započela 1884. godine i to po zakupu ugljonosnog polja od strane Jozefa Hirša iz Budimpešte.

Od 1959. godine, eksploatacija antracita se vrši jamom „Avramica“ u ugljonosnom reonu „Mala Čuka“ (slika 7.).

Geološke karakteristike basena. U basenu „Vrška Čuka“, ugljonosnu seriju čine lijaske tvorevine (J_1), koje diskordantno leže preko paleoreljefa izgrađenog od proterozojskih filitoida (F), tvorevina gornjeg karbona (C_3), permskih peščara (P), slika 8.

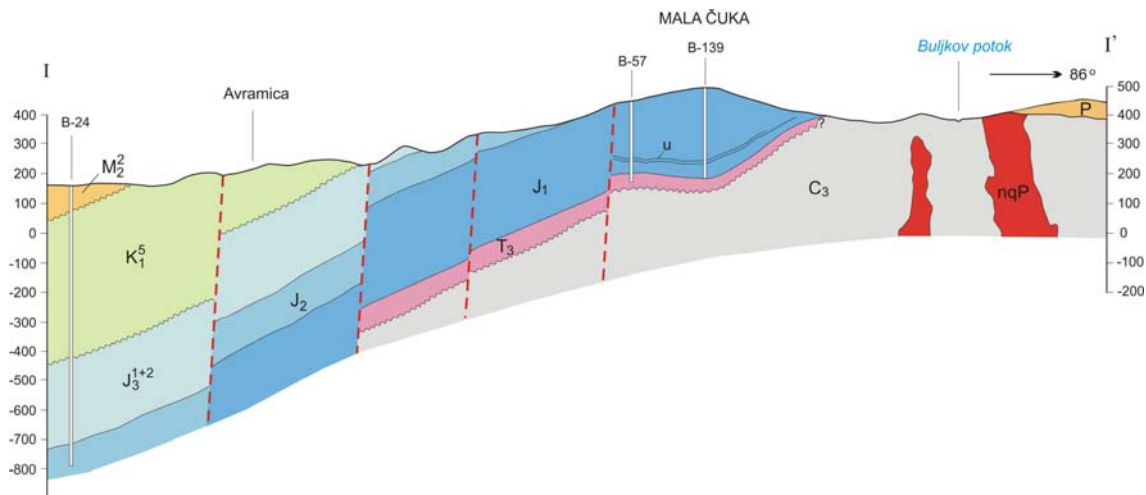


Slika 8. Geološka karta šireg područja ugljunosnog basena "Vrška Čuka"
(prema: OGK 1:100.000, list Zaječar)

al - aluvijum; *pr* - proluvijum; t_1, t_2 - rečne terase; M_1^1 - konglomerati, peskovi, gline i šljunak sarmata; $M_{2,3}$ - peščari, peskovite gline, laporci i konglomerati tortona i sarmata; M_2^2 - konglom. peščari, laporci i gline tortona; K_1^3 - konglom., peščari i glinci alba; K_1^4 - krečnjaci i peščari apta; $K_1^{3,4}$ - fliš: peščari, laporci i kreč., barem, apta; K_1^{1+2} - fliš: krečnjaci, laporci i glinci, valendin i otriv; J_3^3 - krečnjaci titona; J_3^{1+2} - krečnjaci sa rožnacima i dolom.kreč., oksforda i kimeridža; J_2 - peščari, pesk.krečnjaci i dolomiti dogera; J_1 - konglom., kvarcni peščari, glinci, uglj, glinoviti škriljci lijasa; *nqP* - kvarcporfiri paleozoika; *P* - crveni peščari perma; C_3 - konglom., peščari i glinci sa proslojcima uglja g.karbona; *vC* - gabrovi paleozoika; *F* - filitoidi i zelene stene paleozoika; --- - rased; --- - relativno spušten blok; --- - čelo navlake
 - kontura rudarskih radova; *RA* - rudnik antracita; \otimes - aktivni rudnik; \otimes - zatvoreni rudnik; --- - profilska linija

U području ugljunosnog polja „Mala Čuka“ gde se trenutno odvija eksploatacija antracita, paleoreljef ugljunosnoj lijaskoj seriji čini tzv. „šarena serija“ gornjeg trijasa (T_3), slika 9. „Šarenu seriju“ izgrađuju konglomerati, čiji valuci potiču od filita, kvarca, kvarcporfira, a u završnom delu od crvenkastih krečnjaka. Debljina ove serije iznosi više od 100 m (Stakić 2006).

Ugljunosna serija lijasa (J_1), pripada hetanškom i sinemurskom katu, čija debljina varira od 200-300 m (Petković i dr. 1958). Obzirom na njenu ugljunosnost, podeljena je na tri odeljka: *podinski odeljak*, *ugljunosni horizont* i *podlatni odeljak*.



Slika 9. Geološki profil terena kroz ležište antracita „Vrška Čuka“

M_2 – konglomerati, peščari, laporci i gline tortona; K_1^5 – konglomerati peščari i glinci alba; J_3^{1+2} – krečnjaci malma; J_2 – peščari, peskoviti krečnjaci dogera; J_1 – lijaski ugljonosni klastiti: konglomerati, kvarcni peščari, glinci, ugalj, glinoviti škriljci (u – ugljeni sloj); nqP – kvarcporfiri; T_3 – konglomerati „šarena serija“; P – crveni permški peščari; C_3 – konglomerati, peščari, ugljeviti glinci, škriljci gornjeg karbona; - - - - - predpostavljeni rased

Podinski odeljak je konglomeratičnog sastava i debljina mu se kreće od 10 do preko 30 m.

Ugljonosni horizont je najznačajnijim delom izgrađen od peščara i rasčlanjen je na tri ugljonosna nivoa. Ukupna debljina horizonta je 70–140 m.

Poolatni odeljak izgrađuju u litološkom pogledu kvarcni peščari, glinci i peščari, jako promenljive debljine koja se kreće od 20-60 m (Stakić 2006).

Tvorevine dogera (J_2) leže konkordantno preko ugljonosne lijaske serije (slika 9.). Izgrađuju ih glinoviti peščari, peščari i peskoviti krečnjaci. U pojedinim delovima su zastupljeni i glinovito-gvožđeviti peščari. Debljina tvorevina dogera je procenjena na 120 m.

Malm (J_3) je predstavljen krečnjacima oksford–kimeridža (J_3^{1+2}) i titona (J_3^3), debljine od 200 do 400 m.

Donjokredni sedimenti uglavnom flišnog karaktera, imaju različito razviće u ovoj oblasti i predstavljeni su tvorevinama valendin-otriva (K_1^{1+2}), barem-apta (K_1^{3+4}). Najviši deo donje krede izgrađuju konglomerati, peščari i glinci alba (K_1^5).

Tercijarni sedimenti su zastupljeni duž zapadnog oboda ugljonosnog basena Vrške Čuke gde ispunjavaju timočki tercijarni basen (slika 8.). Predstavljeni su tortonskim (M_2) i sarmatskim sedimentima (M_3^1).

Kvartarne tvorevine su predstavljene aluvijumom (*al*) koji je formiran duž toka Belog Timoka i drugih manjih površinskih tokova, zatim proluvijumom (*pr*) i rečnim terasama (t_1, t_2).

Tektonske karakteristike basena. Tereni masiva Vrške Čuke posmatrano u celini, predstavljaju jednu veliku i široku antiklinalu pravca pružanja SSZ-JJI čiji se temeni deo izdiže u pravcu J-JI i struktura se širi, a u pravcu S-SZ tone i struktura se sužava. Antiklinala „Vrške Čuke“ nije simetrična, već je u celini nagnuta ka severoistoku (Đoković i dr. 2003).

Definitivno tektonsko oblikovanje složene antiklinale „Vrške Čuke“, dali su tektonski pokreti koji su se odvijali tokom Štajerske faze. To su tangencijalni pokreti koji su usloveli plikativne deformacije i pojave navlačenja.

Po Lončareviću 1963, naborni tektonski oblici su zastupljeni manjim borama i povijanjima. Kako se tektonska naprezanja različito manifestuju kod stena različitih mehaničkih svojstava, to je i dovelo do pojave da se između krute povlate i podine, lijaska ugljonosna serija „Vrške Čuke“ ponašala kao plastična masa pri čemu je dolazilo do plisiranja i migracije ugljene supstance i njenog sočivastog pojavljivanja u pojedinim delovima.

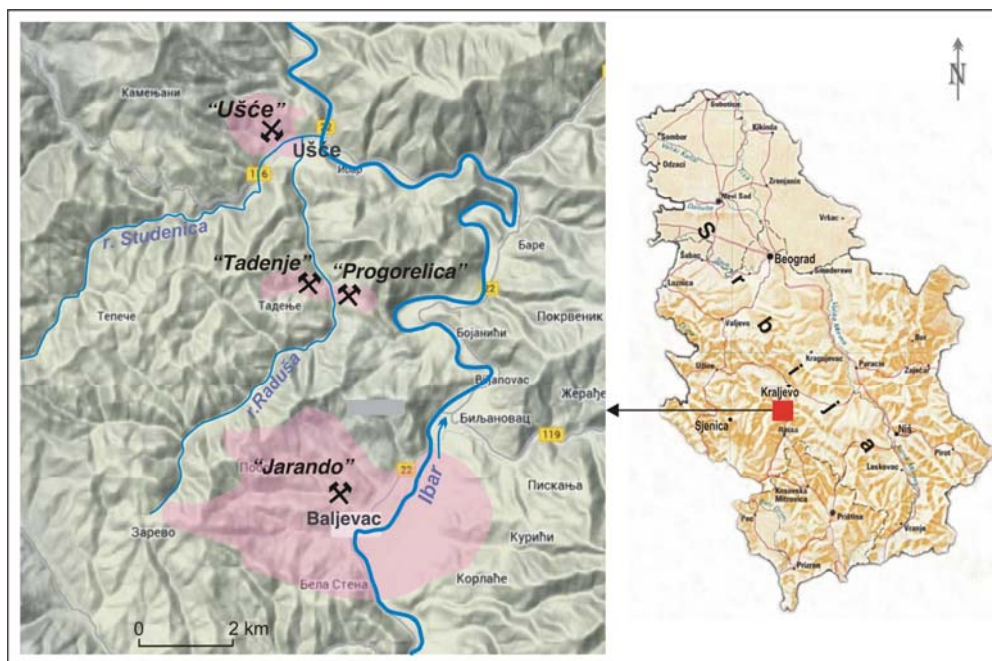
Rezultati dosadašnjih istraživanja ukazuju međutim da su znatno bolje izražene rupturne u odnosu na plikativne strukturne oblike. Razlomni sklop je najčešće predstavljen pukotinama i rasedima. Celo ležište uglja „Mala Čuka“ je iskomadano na veći broj manjih tektonskih blokova, a u samim blokovima došlo je do kidanja ugljenog sloja manjim rasedima, sa skokom koji najčešće iznosi do 5 m (Stakić 2006).

2.2. Ibarski basen kamenog uglja

Geografski položaj. Ibarski ugljonosni basen se nalazi u zapadnoj Srbiji, u dolini reke Ibar. Čine ga tri međusobno odvojena ugljonosna neogena basena i to: „Jarando“, „Tadenje-Progorelica“ i „Ušće“. Ukupna površina sva tri basena iznosi oko 21,5 km², od čega „Jarandolu“ pripada oko 19 km², „Tadenje-Progorelici“ 0,5 km² i „Ušću“ oko 2 km².

Ugljonosni basen „Jarando“ je formiran u širem području naselja Baljevac na Ibru, odnosno oko 10 km severno od Raške (slika 10.).

Kroz samo ležište protiče reka Ibar i deli ga na veći zapadni deo (u užem smislu jarandolski deo) i manji istočni deo (Piskanja).



Slika 10. Geografski položaj ibarskog ugljenosnog basena

Basen "Tadenje-Progorelica" se nalazi severno od "Jarandola". Ležište uglja u ovom basenu, podeljeno je rekom Radušom na dva ugljenosna polja i to: "tadenjsko" (u užem smislu) i "progoreličko" ugljenosno polje.

Ugljenosni basen "Ušće" predstavlja najseverniji sačuvani deo nekada velikog ibarskog basena. Kroz basen „Ušće“ protiče reka Studenica, koja deli ležište uglja na severni, odnosno „ušćanski deo“ i južni manji ili „studenički deo“.

Istorijat ibarskih rudnika. Prva istraživanja u cilju eksploatacije uglja u ibarskom basenu, započela su krajem XIX veka i to u jarandolskom basenu (Đorđević 1994). Organizovana eksploatacija uglja u manjem obimu se odvijala i u ležištu uglja „Ušće“.

Ležište uglja "Tadenje-Pogorelica" je otvoreno za eksploataciju tek 1992. godine u ležištu "Tadenje" i to površinskom eksploatacijom izdanačke zoni III, IV i V ugljenog sloja. Početkom 1999. godine, krenulo se sa pripremom za površinsku eksploataciju I (najvišeg) ugljenog sloja. Paralelno sa ovim aktivnostima, u jami su izvođeni radovi na otvaranju i pripremi ležišta za jamsku eksploataciju. Jama je počela sa radom 2000. godine.

Ugalj ibarskog basena, pripada grupi kamenih ugljeva koji ima visoke koksne osobine, međutim visoki sadržaj sumpora koji se kreće i do 6%, umanjuje mu vrednost, tako da se za proizvodnju koksa, može koristiti samo u mešavini sa drugim ugljevima.

Geološke karakteristike basena. O postanku ibarske depresije, postoje različite koncepcije, počev od prvih da je to tektonska potolina nastala pre deponovanja miocenske serije, do novijih da je u njegovom stvaranju najbitniju ulogu odigrala plikativna tektonika i kasnije znatno mlađa uglavnom radijalna tektonika (Pantić i Nikolić 1973).

Ono što je najznačajnije za ibarski basen, jeste da je jarandolski basen zajedno sa „tadenjsko-progoreličkim“ i „ušćanskim“ basenom u početnoj fazi razvića, nesumljivo predstavljao jedinstveni sedimentacioni prostor. U njemu je nakon početne, relativno kratke aluvijalno-proluvijalne faze deponovanja klastita (gruboklastični paket 1M_2), nastupila faza jezerske sedimentacije finijih tufogenih klastita i tufova sa tresetno-blatnim intervalom sa ugljem (paket 2M_2), Pantić 1961.

Produbljavanjem basena u narednoj fazi, dolazi do mirnije sedimentacije najfinijih klastita, pelita, karbonata i tufova, a u određenom trenutku u neposrednoj paragenetskoj vezi sa obnovljenom vulkanskom aktivnošću u ovoj seriji, dolazi do deponovanja tufogenih finoklastično-pelitsko-karbonatnih sedimenata sa bornim mineralima ($^{2,3}M_2$).

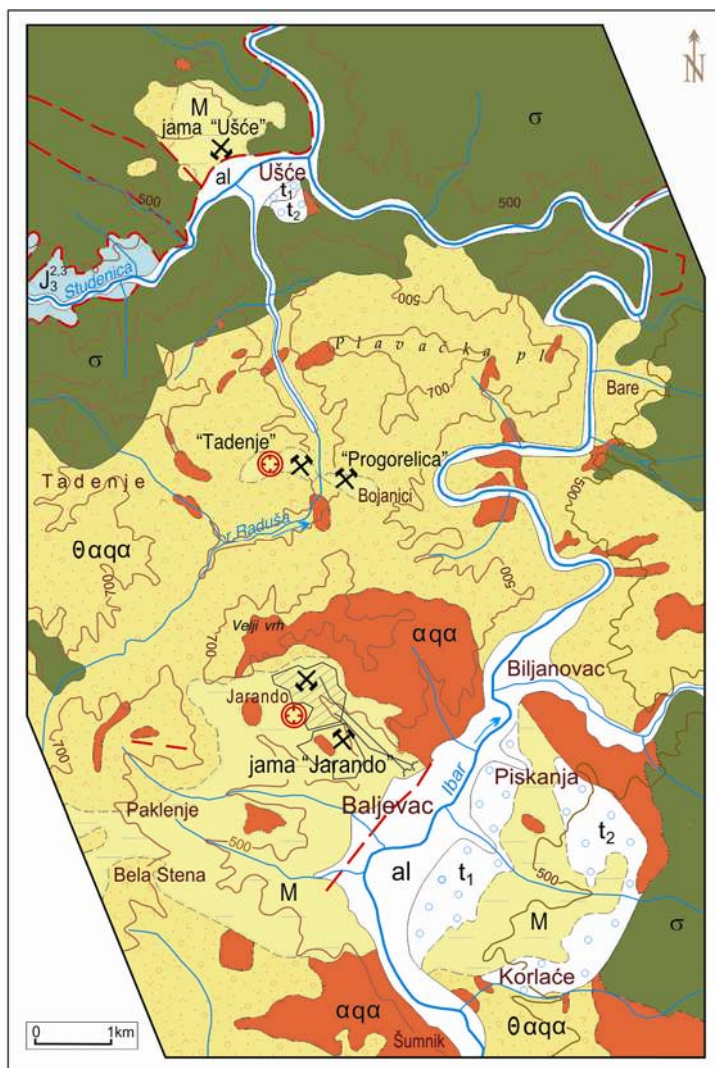
U celini posmatrano, geološki sastav oboda i paleoreljefa ibarskih basena, izgrađen je od serpentinita i andezita (slika 11.).

Harcburgitski serpentiniti jure (σ) predstavljaju metamorfisane produkte peridotitske magme.

Dacito-andeziti ($\alpha\gamma\alpha$) paleoreljefa miocenske serije sedimenata, javljaju se u vidu većih izlivnih masa ili slivova u piroklastitima (slika 11.). Najčešće su sveži, ali u delovima gde su alterisani, često se teško mogu razlikovati od izmenjenih tufova. Stvarani su najvećim delom u miocenu, a delom i u pliocenu.

Najmlađa vulkanska tela su andezit-bazalti ($\alpha\gamma\alpha Pl$) koji probijaju starije generacije andezitskih tela i istovremeno označavaju završnu fazu vulkanske aktivnosti, vezanu za kraj pliocena. Detaljnim geološkim istraživanjima u jarandolskom basenu (Janić 2005), konstatovano je da u vidu manjih masa, probijaju ugljonošnu miocensku seriju (slika 12.)

Navedeni vulkanski procesi, doveli su do obrazovanja ležišta raznovrsnih mineralnih sirovina u ibarskom basenu i to do obrazovanja visoke karbonizacije uglja, velikih naslaga kvalitetnog magnezita jezerske geneze, kao i do sada jedinstvene pojave orudnjenja bora u Srbiji.



LEGENDA: al – aluvijum; t_1 , t_2 – rečna terasa; M – ugljonošni vulkanogeno-sedimentni kompleks miocena (konglomerati, peščari, tufovi, laporci, glinci, uglj, ugljevite gline, krečnjaci); $\theta\alpha\alpha\alpha$ – tufovi, tufiti, vulkanske breče; $\alpha\alpha\alpha$ – dacito-andeziti; $J_3^{2,3}$ – dijabaz-rožna formacija; σ – harzburgitski serpentiniti; - - - - - rased; ⌘ – aktivni rudnik; ⌘ – zatvoreni rudnik; - kontura rudarskih radova

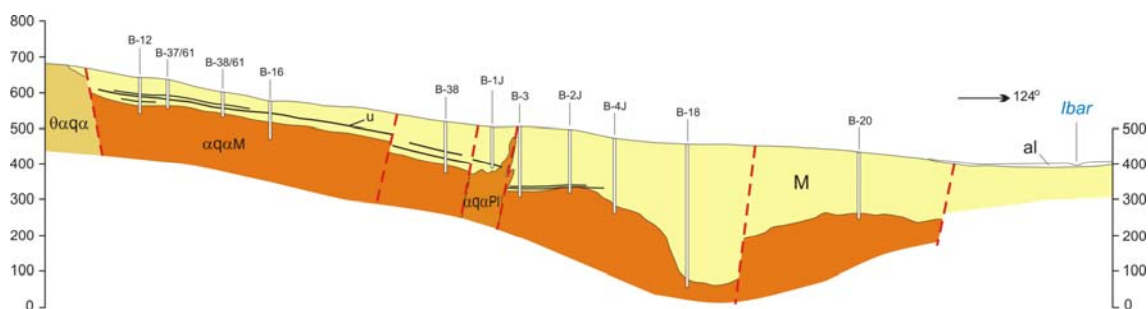
Slika 11. Geološka karta šire okoline ibarskog ugljonošnog basena
(prema: OGK 1:100.000, list Vrnjci)

Piroklastiti ($\theta\alpha\alpha\alpha$) ukazuju o izrazito eksplozivnom tipu vulkanizma, a njihovo neizmenično smenjivanje sa slivovima lave i o ritmičnosti ovih vulkanskih aktivnosti. Predstavljani su tufovima, tufitima i ređe vulkanskim brečama (Janić 2005). Na jednom delu basena, predstavljaju paleoreljef ugljonošnoj miocenskoj seriji (slika 12.).

Litostratigrafskim rasčlanjivanjem miocenskog ugljonošnog vulkano-sedimentnog kompleksa, izdvojeni su sledeći paketi tvorevina:

- 1) dolomiti plitkovodne jezerske facije sa algama (M_1);
- 2) gruboklastični bazalni paket konglomerata i peščara aluvijalno proluvijalne i priobalske jezerske facije sa izraženim litofacijalnim razlikama u pojedinim delovima basena (1M_2);

- 3a) finoklastični tufogeni paket sa slojevima uglja jezerske i blatno tresetne facije (2M_2);
- 3b) finoklastično-karbonatni tufogeni izrazito laminaran paket sa magnezitom i dolomitom u južnom delu jarandolskog basena (2M_2);
- 4) finoklastično-pelitsko-karbonatni tufogeni paket jezerske facije severnog dela basena sa izraženom laminacijom i drugim teksturnim karakteristikama, praćeni bornim mineralima ($^{2,3}M_2$).



Slika 12. Geološki profil terena kroz ležište uglja „Jarando“ (ibarski basen)

al – aluvijalni peskovi i šljunkovi; *M* – ugljonosni vulkano-sedimentni kompleks miocena (konglomerati, peščari, tufovi, laporci, glinci, krečnjaci, ugljevite gline, *u*- sloj uglja); *αqαPl* – dacito-andeziti pliocena; *αqαM* – dacito-andeziti miocena; *θααα* – tufovi, tufiti, vulkanske breče; - - - - - rased

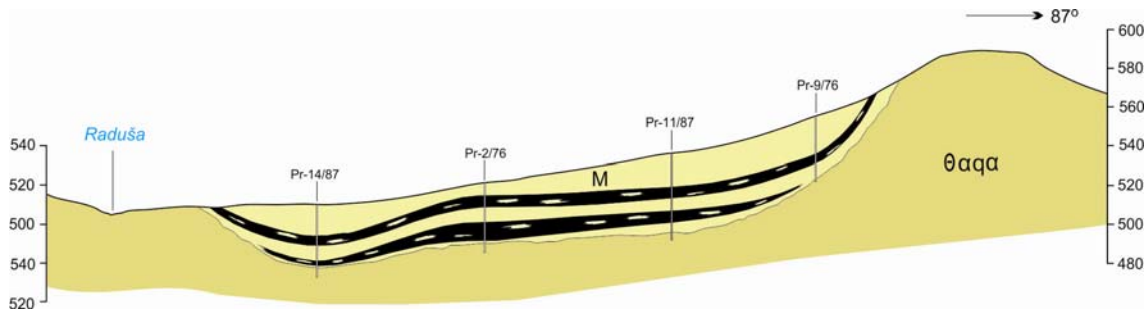
U jarandolskom basenu je ugljonosna miocenska serija debela preko 1000 m. U njoj je registrovano ukupno 9 ugljenih slojeva od kojih prvi ima najveće razviće (Janić 2005).

U ugljonosnom basenu „Tadenje-Progorelica“ se javljaju dva ugljonosna polja i to: *tadenjsko polje* (zapadna sinklinala, slika 11.) i *progoreličko polje* (istočna sinklinala). Ukupna debljina miocenskih sedimentata u ugljonosnom polju „Tadenje“ iznosi 125 m, a u polju „Progorelica“ oko 60 m (Janić 2005).

Paleoreljef ugljonosnim miocenskim sedimentima ovog basena čine andeziti. Tokom stvaranja ugljonosnog horizonta, tresetne faze su bile kraće i ritmički se ponavljale.

U ugljonosnom polju „Tadenje“ je formirano pet ugljenih slojeva različitog razvića i različite debljine (Ilić i Nićetin 1971).

U ugljonosnom polju „Progorelica“ su postojale dve tresetne faze, što je uslovlilo formiranje dva sloja uglja, koja imaju isto prostorno razviće u ležištu (slika 13.).



Slika 13. Geološki profil terena kroz ležište uglja „Progozelica“ (ibarski basen)

M – ugljonosni vulkano-sedimentni kompleks miocena (konglomerati, peščari, tufovi, laporci, glinci, krečnjaci, uglj, ugljevite gline); *θααα* – tufovi, tufiti, vulkanske breče

Rečne terase u području ibarskog basena se prostiru duž desne obale Ibra i to na dužini od oko 3 km, od Korlaća do Piskanje (slika 11.). Izgrađene su dve rečne terase, niža (t_1) i viša (t_2), koja je značajno erodovana. U litološkom pogledu, izgrađuju ih peskovito-šljunkoviti i glinoviti sedimenti. Debljina šljunkova niže rečne terase kod Baljevca iznosi 4,5 m.

Aluvijalni nanos (*al*) u dolini Ibra ima debljinu zajedno sa sedimentima niže rečne terase do 16 m. Izgrađen je od materijala koji je raznorodnog sastava i izražene granulometrijske nejednorodnosti i to od sitnozrno-peskovitog, do šljunkovito-peskovitog materijala sa oblicima veličine i preko 10 cm.

Tektonske karakteristike basena. Ibarski ugljonosni basen pripada ibarskom sinklinorijumu koji se prostire od Zapadne Morave na severu, do Uroševca na jugu. Osa sinkinorijuma se pruža zapadno od Kraljeva, zatim dolinom Ibra u pravcu juga prema Jarandolu, Lešku, do Trepče (Janić 2005).

Centralne delove ibarskog sinklinorijuma, izgrađuje ibarska sinklinala (kojoj pripada ibarski basen). Vulkanska aktivnost u široj okolini za vreme taloženja tercijarnih sedimenata u ibarskom basenu, kao i nakon završenog-dijagenetskog stadijuma, prouzrokovala je tangencijalna i radijalna kretanja.

Kao posledica orogenih pokreta, javili su se postgenetski tangencijalni pokreti koji su doveli do ubiranja sedimenata, naročito plastičnijih masa kao što su bili ugljeni slojevi sa jedne strane i sa druge strane, došlo je do radijalnih pokreta, koji su doveli do raskidanja i kretanja masa duž raskinutih površina i kao osnovni oblik kretanja javljali su se rasedi ili raseline (Janić 2005).

U jarandolskom basenu, ugljonosni horizont sa pratećim naslagama podine i povlate, ima oblik amfiteatra otvorenog i nagnutog u pravcu JI (Janić 2005). Naknadnim rasedanjem, ležište je blokovski podeljeno.

Veoma izraženo rasedanje terena je imalo odraza na strukturnu građu ležišta, pri čemu su jasno izdvajaju dva ugljunosna prostora. Prostor "stare jame" u severnom delu jarandolskog basena, koji predstavlja jedan veliki tektonski blok i "spušteni deo", u kome se prema stepenu istraženosti i ekonomskom značaju, mogu izdvojiti više tektonskih blokova. Ovakav položaj blokova, ukazuje da ugljunosna serija tone prema JJI i u isto vreme se smanjuje ukupna debljina ugljenog horizonta kao i broj ugljenih slojeva (Janić 2005).

U „tadenjskom polju“, ugljunosna serija ima sinformu koja je otvorena i nagnuta ka istoku, a „progoleličko polje“ je sa istim strukturnim oblikom, samo što je nagnuta ka zapadu.

U ugljunosnom polju „Tadenje“, strmiji pad slojeva i pratećih stena ima jugozapadno krilo sinklinale, gde padni ugao sedimenata iznosi i do $\alpha = 50^\circ$ dok severoistočno krilo ima blaži pad sedimenta (Janić 2005).

Pored radijalne tektonike, za ovo ugljunosno polje, značaj ima i plikativna tektonika. Rudarskim radovima u jami, potvrđeno je da su elementi plikativne tektonike izraženi u obliku čestih fleksurnih povijanja i sitnog plisiranja ugljunosne serije, koje je usledilo pod dejstvom bočnih pritisaka andezitskih masa.

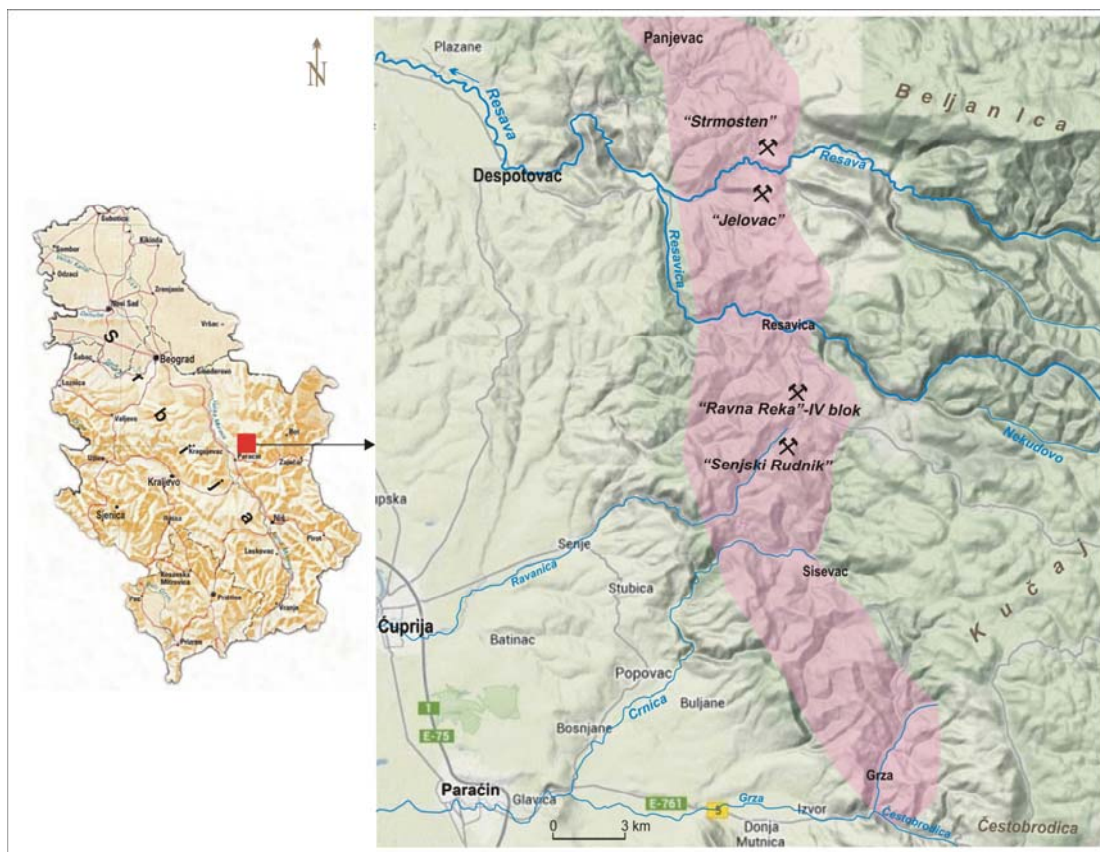
U ugljunosnom polju „Progorelica“, uticaji tektonike su jako izraženi. Ležište uglja je formirano na površinu oko 13 ha, u jednoj relativno mirnoj sredini tokom miocena u blago zatalasanoj udolini, koja se od zapada (k.460), uzdizala prema istoku (k.560). Kasnijom evolucijom basena je došlo do tektonskih deformacija, a posebno obeležje basenu je dala plikativna tektonika.

Pružanje ugljenih slojeva u basenu je severoistok-jugozapad, sa padom prema zapadu i uglovima zaleganja do 10° (Janić 2005).

2.3. Resavsko-moravski basen mrkog uglja

Geografski položaj. Resavsko-moravski ugljeni basen ili skraćeno Rembas kako se još nosi naziv ovaj basen, nalazi se u istočnoj Srbiji (istočno od Despotovca, Čuprije i Paraćina). Na dužini od oko 35 km, prostire od sela Lipovca i Panjevca na severu, do Čestobrodice i Samanjca na jugu (slika 14.).

Prosečna širina basena iznosi oko 9 km. Duž istočnog oboda resavsko-moravskog basena, protežu se planinski masivi Kučaja i Beljanice, a zapadni obod je prekriven navlakom crvenih permskih peščara.



Slika 14. Geografski položaj resavsko-moravskog ugljonosnog basena

Istorijat rudnika Rembas-a. Prvi značajniji istražni i pripremni radovi na otkopavanju uglja iz ovog basena, započeli su 1853. u Senjskom Rudniku koji je tada nosio ime "Aleksandrov majdan" (slika 3). Od tada, eksploatacija uglja iz resavsko-moravskog basena ili senjsko-resavskog basena kako se još sreće naziv ovog basena u stručnoj literaturi, odvija se neprekidno.

Tokom duge istorije rudarenja u resavsko-moravskom basenu, postojalo je više jama kojima se vršila eksploatacija uglja: "Resavica", "Orlovica", "Crveni breg", "Djulska sinklinala", "Makvište", "Ravana Reka", "Pasuljanske livade", "Sisevac". Južni delovi basena, bili su samo istraživani ("Sastavci", "Teokarovićeve istraga", "Lobuderina", "Markova reka" i "Samanjac").

Trenutno se eksploatacija uglja odvija u jamama "Strmosten" i "Jelovac" u severnom delu basena i jamom "Senjski Rudnik" u južnom delu basena. Otvaranje ležišta uglja "Ravana Reka"- IV blok, trenutno je u pripremi.

Rekordna proizvodnja uglja iz ovog basena je postignuta osamdesetih godina prošlog veka, kada je iznosila približno 800.000 t na godišnjem nivou.

Geološka karakteristike basena. Resavsko-moravski ugljeni basen karakteriše veoma složena geološka građa, a posebno obeležje u tektonskom pogledu mu daje navlaka crvenih permskih pešćara (*P*), koja je duž labilne ridanjsko-krepoljinsko-senjske dislokacije od zapada ka istoku, usloвила prekrivanje ugljonosne miocenske serije (Grubić 1967).

Pored crvenih permskih pešćara čija se debljina u navlaci kreće i do 500 m, alohtoni položaj u području resavsko-moravskog basena imaju i "ravanički krečnjaci" (slika 15.). Za razliku od njih, tzv. "istočni krečnjački pojas" (karstni masivi Kučaja i Beljanice), koji se protežu duž istočnog oboda ovog basena, čini istovremeno i paleoreljef ugljonosnoj miocenskoj seriji (slika 15.).

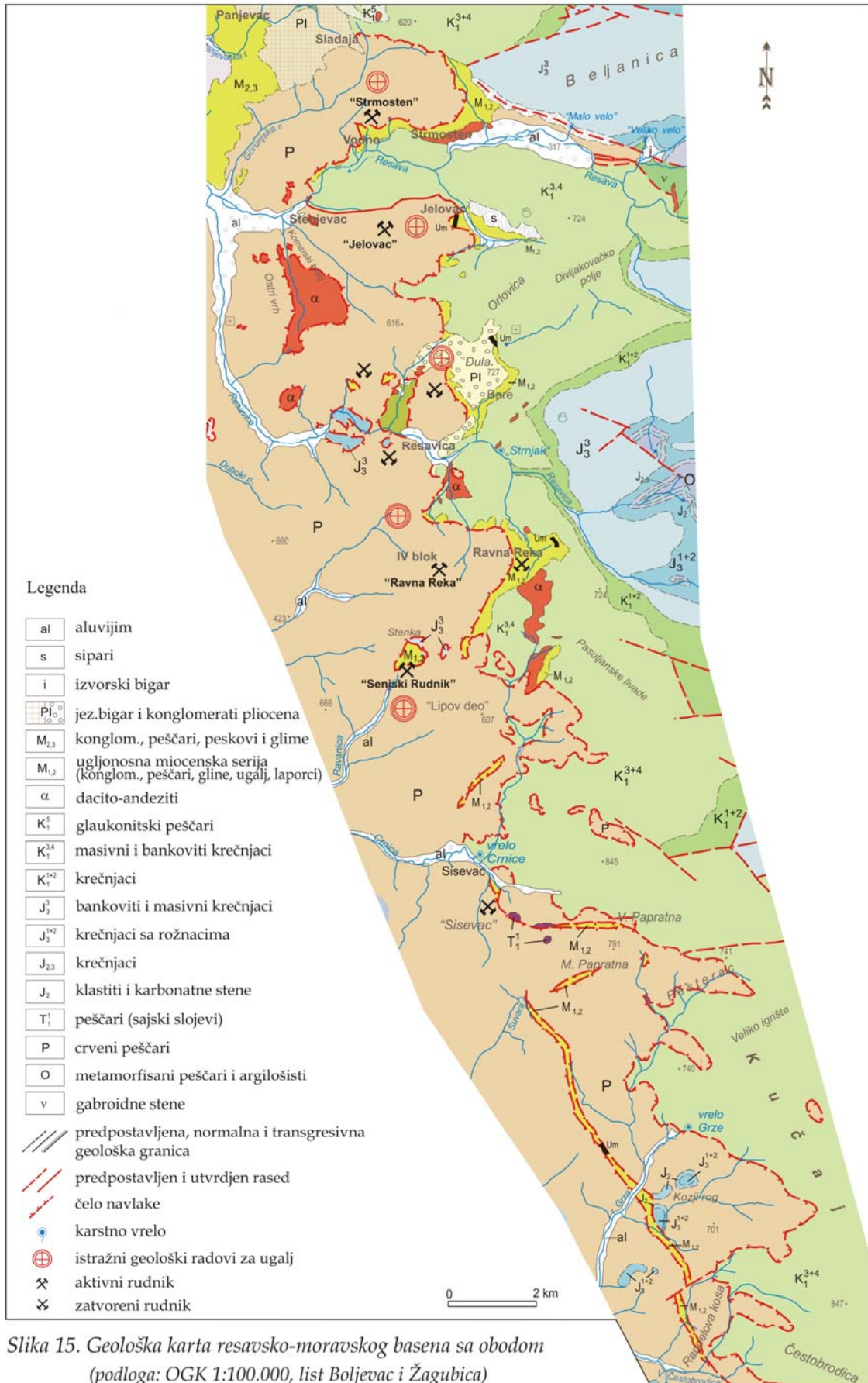
Tokom procesa navlačenja permskih pešćara i "ravaničkih krečnjaka", dolazilo je do razlamanja jedinstvene navlake kada je ona naišla na otpor rezistentnih krečnjaka Kučaja i Beljanice na istočnom obodu resavsko-moravskog basena. To je usloвило stvaranje niza kraljušti u kojima su ostale uklještene manje ili veće mase "ravaničkih krečnjaka" u samim permskim pešćarima (slika 16.c). Takve mase krečnjaka se sreću u Senjskom Rudniku (karstna masa Stenke), severno od Senjskog Rudnika u oblasti Kršića i zapadno gde se nalaze duboke ispod permskih pešćara u ugljonosnom polju "Lipov deo", zatim prema jugu kod Sisevca, kod Stubice, Vodeničišta, Papratne, Kozjeg roga (slika 15.). "Ravaničke krečnjake" izgradjuju karbonatne tvorevine *donjeg trijasa* (T_1), *dogera* (J_2) i *oksford-kimeridža* (J_3^{1+2}).

Autohtoni mezozojski karbonatni kompleks Kučaja i Beljanice, počinje najstarijim tvorevinama *dogera* (J_2), odnosno *dogera i malma* ($J_{2,3}$), koje leže transgresivno preko kristalastih stena ordovicijuma (*O*).

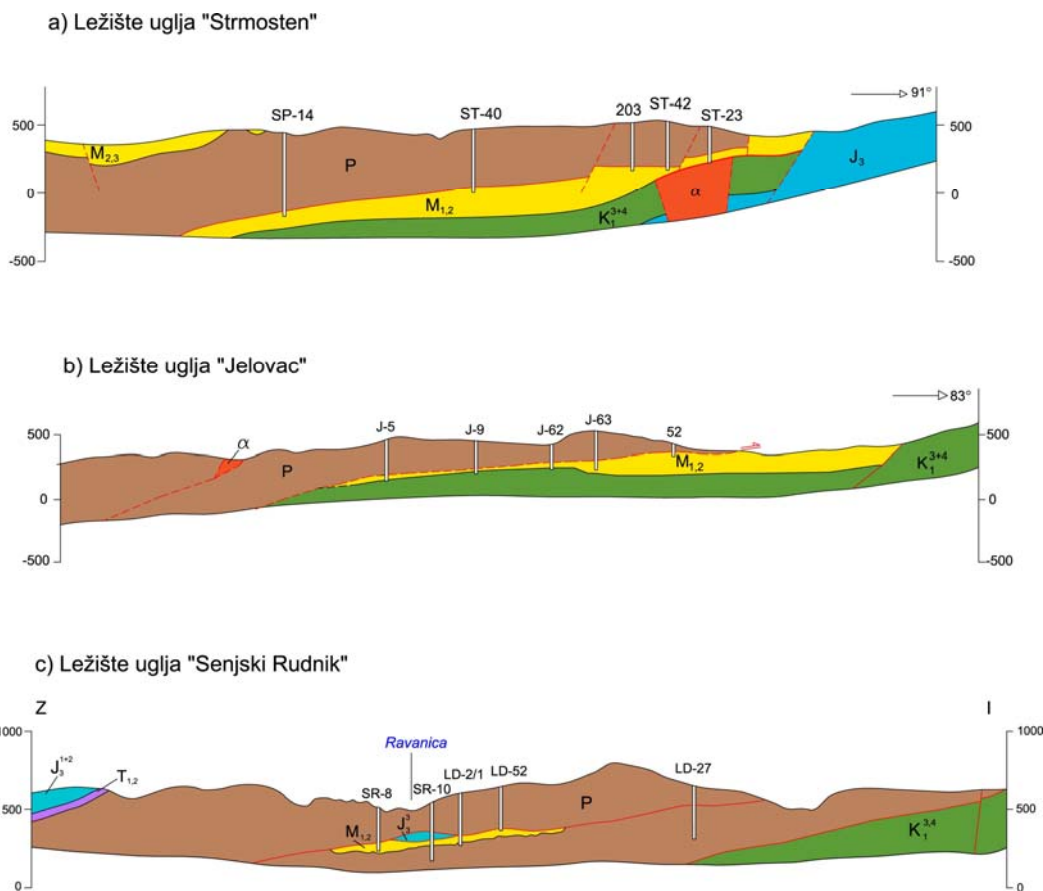
Tvorevine *oksforda i kimeridža* (J_3^{1+2}) imaju debljinu od 100 do 200 m i izgrađene su od uslojenih krečnjaka sa rožnacima. Sedimentima *titona* (J_3^3), pripadaju bankoviti, ređe masivni zoogeni sprudni krečnjaci, debljine od 250 do 400 m (Andrejić 1993).

Krečnjaci *valendina i otriva* (K_1^{1+2}) su bankoviti ili slojeviti, a debljina im se kreće oko 100 m. Krečnjaci *barema i apta* (K_1^{3+4}), čine najvećim delom paleoreljef ugljonosnoj miocenskoj seriji. Razvijeni su po tipu urgonske facije, a debljina im se kreće od 200 do 500 m (Andrejić 1993).

Dacito-andeziti oligocena (αOl), javljaju se u području Strmostena, Stenjevca, Ravne Reke i Senjskog Rudnika, gde probijaju urgonske krečnjake.



Rudarskim radovima, ove stene su konstatovane i ispod navlake permskih peščara i ugljonosnih miocenskih sedimenata.



Slika 16. Geološki profili terena kroz ležišta uglja resavsko-moravskog basena

$M_{2,3}$ – konglomerati, peščari, peskovi i gline helveta i tortonja; $M_{1,2}$ – ugljonosna serija burdigala i helveta (konglomerati, peščari, peskovite gline, ugalj, laporci, glinci, lap. i pes. krečnjaci; α – dacito-andeziti; $K_1^{3,4}$ – krečnjaci Kučaja („istočni krečnjački pojas“); J_3^3 – krečnjaci titona („istočni krečnjački pojas“); J_3^{1+2} – krečnjaci oksfor-kimeridža („ravanički krečnjaci“); $T_{1,2}$ – peščari i krečnjaci donjeg i srednjeg trijasa („ravanički krečnjaci“); P – peščari perma; - - - - - površ navlake

Ugljonosna serija resavsko-moravskog basena je predstavljena tvorevinama burdigala i helveta $M_{1,2}$ (Maksimović 1955). Usled prisustva navlake permskih peščara, ovi sedimenti su otkriveni na površini terena duž istočnog oboda basena, odnosno duž čela navlake.

U odnosu na ugljonosni horizont, miocenska serija je rasčlanjena na: bazalnu seriju, podinsku seriju, ugljeni sloj i povlatnu seriju.

Maksimalna debljina ugljenog sloja od 25,3 m je konstatovana u „Senjskom Rudniku“, ali ona nije uslovljena primarnim uslovima koji su vladali

u tresetištu, već je posledica naknadnih tektonskih uslova koji su vladali u basenu.

Osim alohtonog položaja permskih peščara i jurskih krečnjaka u tektonskoj povlati ugljonošne serije, na relativno malom prostoru u području „đulske sinklinale“ (severno od Resavice), diskordantno preko ugljonošne serije, leže pliocenski konglomerati (*Pl*), slika 15. U litološkom pogledu, predstavljaju ih konglomerati i grubozrni konglomeratični peščari. Istražnim bušenjem, potvrđena im je debljina od 243 m (Aksentijević 1988).

Tektonske karakteristike basena. Osnovno tektonsko obeležje resavsko-moravskom basenu daje navlaka crvenih permskih peščara. Duž labilne ridanjsko-krepoljinsko-senjske zone rasedanja i navlačenja, odigrala su se jako dinamična tektonska kretanja, dovodeći pritom ugljonošnu miocensku seriju u inverzan položaj u odnosu na znatno starije permske peščare (Maksimović 1956).

U strukturno-tektonskom pogledu, ležište uglja „Strmosten“ je definisano asimetričnom sinklinalnom formom sa osom pružanja istok-zapad (Grubić i dr. 1988). Sinklinala tone prema zapadu pod uglopm od 10-20°. Krila sinklinale na istočnoj strani su ograničena izdanačkom zonom dok prema zapadu imaju tendenciju širenja. Pad slojeva u krilima sinklinale iznosi od 15°-20°, dok je u centralnim delovima oko 10°.

U ležištu uglja „Jelovac“ ugljonošna miocenska serija uglavnom prati konfiguraciju paleoreljefa ovog dela basena. Ugljeni sloj i prateći sedimenti imaju oblik simetrične sinklinale koja tone prema zapadu pod uglom do 10°. Južno krilo sinklinale tone prema severozapadu pod uglom od 10°-30° (Andrejić 1992). Severno krilo produktivnog miocena u kome je završena eksploatacija uglja, naslanja se na urgonske krečnjake koji su markantnim rasedom gravitacionog tipa i skokom krila od preko 100 m, povezani direktno sa površinom terena. Elementi zaleganja ovog raseda su 170/45° i ova tektonska zona celom svojom dužinom čini tektonsku granicu severnog dela ležišta uglja.

Ležište uglja „Senjski Rudnik“- Lipov deo, karakteriše intezivna tektonika koja je uslovila gubitak primarnih teksturnih karakteristika ležišta. Kao posledica dejstva navlake, u ležištu su retko očuvana sva četiri strukturna člana serije.

U centralnim delovima sinklinale i delom u svom jugoistočnom krilu, dejstvom navlake došlo je do navlačenja ugljenog sloja preko autohtonog

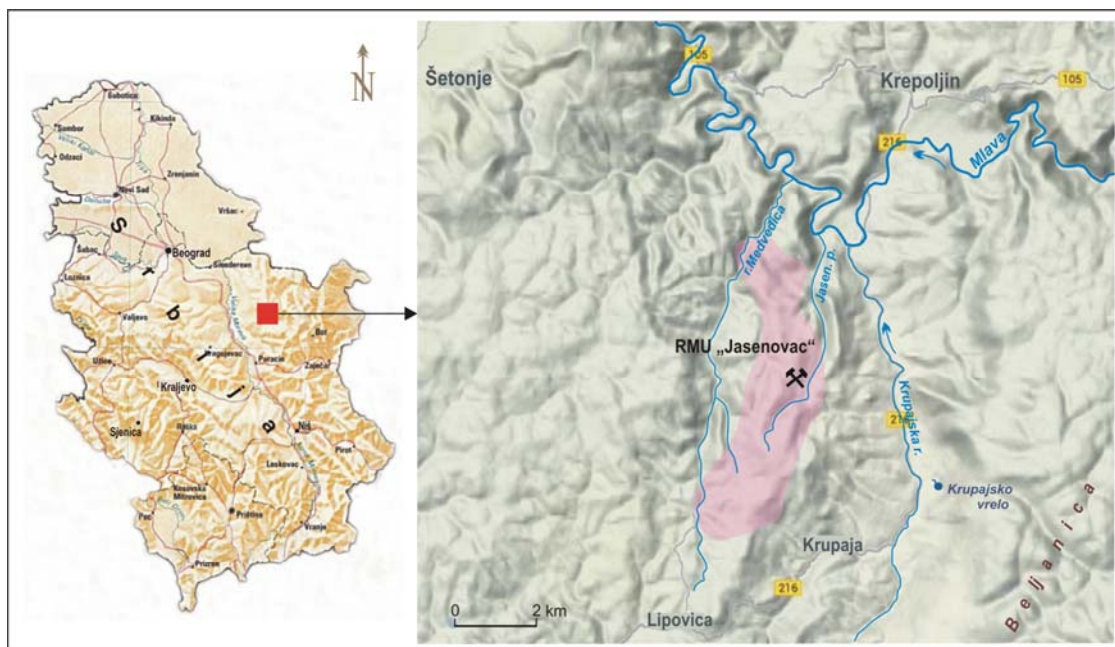
ugljenog sloja. Tako je dobijen duplirani ugljeni sloj debljine i preko 30 m (otkopan ugljeni sloj u polju B).

U krilima sinklinale po pravilu je navlaka imala redukujuću ulogu, tako da je debljina ugljeng sloja u najvećoj meri smanjena u odnosu na prvobitnu.

U sklopu navlake crvenih peščara dokazano je postojanje kavernoznih jurskih krečnjaka koji u vidu uklopaka i sočiva, čine posebnu strukturnu celinu. Sočiva jurskih krečnjaka su većih dimenzija, sa više stotina metara po pružanju i padu ležišta. Rasedima lokalnog karaktera, krečnjačke mase su međusobno povezane.

2.4. Krepoljinski basen mrkog uglja

Geografski položaj. Krepoljinski ugljeni basen ili basen Jasenovac-Sige kako se još u literaturi sreće naziv, nalazi se u istočnoj Srbiji oko 7 km jugozapadno od Krepoljina (slika 17.). Ugljonosni sedimenti ovog basena se javljaju u vidu uzane zone koja se prostire duž čela navlake i to sa generalnim pravcem pružanja sever-jug. Administrativno ovo područje pripada opštini Krepoljin.



Slika 17. Geografski položaj krepoljinskog ugljonosnog basena

Istorijat rudnika krepoljinskog Jasenovca. Prvi radovi na eksploataciji uglja iz krepoljinskog ugljonosnog basena, vršena su još pre Prvog svetskog rata i

to na jako primitivan način. Nakon Drugog svetskog rata, eksploatacija uglja je bila organizovana u području Jasenovca i do 1960. godine u više navrata je bila prekidana i ponovo pokretana. Nakon ovog perioda, eksploatacija uglja je bila znatno organizovanija, a maksimum je postignut 1987. godine kada je iznosila 71.600 t na godišnjem nivou.

Usled jako složenih geološko-tektonskih karakteristika, u „krepoljinskom basenu“ postoji veći ugljonosnih polja koja su međusobno odvojena. Najpoznatija su: polje „Stari Jasenovac“ koje je bilo eksploatisano tokom sedamdesetih godina prošlog veka, polje „Padina Mare“ koje je zatvoreno za eksploataciju 1958. godine usled velikog priliva rudničkih voda, zatim polje „Elendra“ koje je jako kratko eksploatisano, „centralno polje“ u kome se trenutno obavlja eksploatacija uglja i „Blizanačko polje“ u kome se u narednom periodu očekuju značajnija geološka istraživanja po svom obimu.

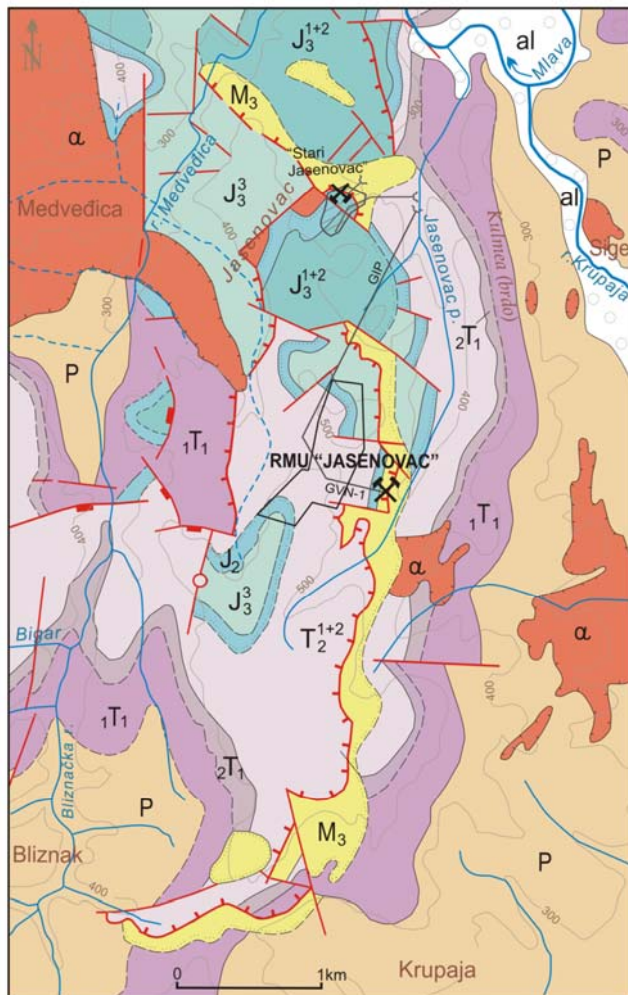
Geološke karakteristike basena. U geološkom pogledu, neposredni obod i paleoreljef krepoljinskom ugljenom basenu izgrađuju stene različite starosti i litološkog sastava. Posebno obeležje današnjem strukturnom sklopu ovog terena, daje izrazito kraljuštanje i navlačenje mezozojskih tvorevina preko ugljonosne miocenske serije (slika 18.).

Pored crvenih permskih peščara (P), autohtoni paleoreljef ugljonosnoj miocenskoj seriji čine i tvorevine donjeg i srednjeg trijasa $1T_1$, $2T_1$ i T_2^{1+2} (slika 19.). Međutim usled navlačenja, odnosno usled potisaka koje je stvarala kruta srpsko-makedonska masa iz pravca zapada, uslovlila je istočnovergento kretanje trijaskih stena i njihovo navlačenje duž labilne krepoljinsko-senjske zone u pravcu istoka, čime je došlo do prekrivanja ugljonosne miocenske serije (Grubić 1967).

Sajski slojevi ($1T_1$), su izgrađeni od kvarcnih peščara i karbonatne serije. Preko njih se javljaju kampilijski slojevi ($2T_1$) predstavljeni laporovitim peščarima koji naviše prelaze u peskovite krečnjake, dolomitične krečnjake i dolomite. Trijaska serija se završava ladinskim i anizijskim katom srednjeg trijasa (T_2^{1+2}), izgrađeni od uslojenih i peskovitih krečnjaka u nižim partijama i bituminoznih krečnjaka i alevrita u višim partijama (slika 18.).

U području krepoljinskog basena, jura je predstavljena dogerom (J_2) i malmom (J_3). U severnom delu krepoljinskog basena, tvorevine jure čine autohtoni paleoreljef miocenskoj ugljonosnoj seriji i istovremeno usled dejstva navlake, čine im alohtonu povlatu (slika 18.).

Doger (J_2) je predstavljen u donjem delu bazalnim konglomeratima i peščarima, kao i peskovitim-laporovitim krečnjacima, a u gornjem delu peskovitim krečnjacima i rožnacima.



LEGENDA: al - aluvijum; M_3 - ugljonošna serija (peskovi, aglomerati, gline, uglj, laporci, peščari, glinci); α - dacito-andeziti; J_3^3 - krečnjaci; J_3^{1+2} - krečnjaci sa rožnacima, krečnjaci, laporoviti i peskoviti krečnjaci; J_2 - konglomerati, peščari, peskoviti krečnjaci, rožnaci; T_2^{1+2} - bituminozni krečnjaci i alevriti; $2T_1$ - laporoviti peščari, pesk. krečnjaci, dolomitični krečnjaci, dolomiti (kampilijski slojevi); $1T_1$ - kvarcni peščari i karbonatne stene (sajski slojevi); P - peščari perma; - - - - - rased; ; ✕ - aktivni rudnik; ✕ - zatvoreni rudnik; ○ - kontura rudarskih radova

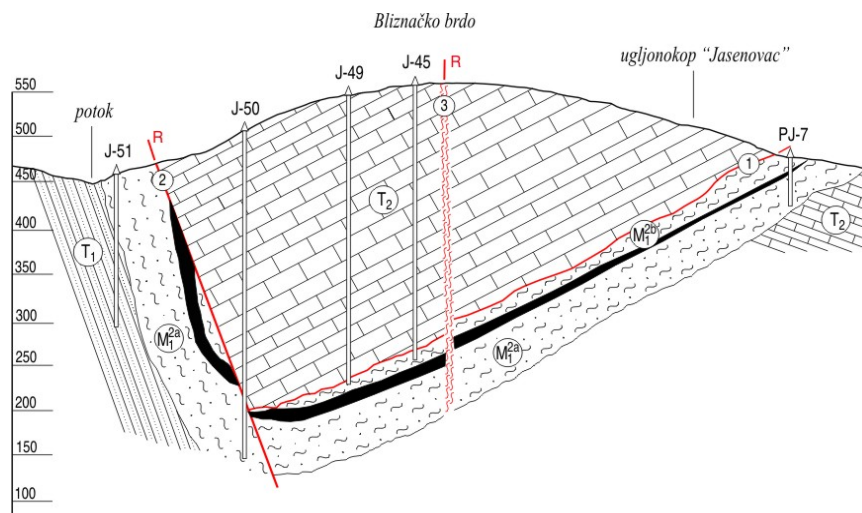
Slika 18. Geološka karta šireg područja krapoljinskog basena (podloga: OGK 1:100.000, list Žagubica)

Malm (J_3) započinje serijom oksford-kimeridža (J_3^{1+2}), koju izgrađuju rožnaci, krečnjaci sa rožnacima, pločasti i masivni krečnjaci, laporoviti i peskoviti krečnjaci. Lokalno se u ovoj seriji sedimenata nalaze dolomiti i sprudni krečnjaci.

Titon (J_3^3) kao završna serija malma, izgrađen je od bankovitih, ređe masivnih krečnjaka.

Dacito-andeziti (α) paleogene su starosti, a najveće mase ovih stena su zastupljene kod sela Medveđica i između sela Milanovca i Sige (slika 18.). Na prostoru krapoljinskog basena, dacito-andeziti su probili i metamorfisali crvene

peščare i trijasko-jursku seriju. Gornja granica je nedovoljno ispitana jer se na nekim mestima nalaze u bazi miocenskih sedimenata, a kod Krepoljina i Siga, probijaju zonu miocenskih kraljuštanja i navlačenja, pri čemu su kod Siga praćene odgovarajućim piroklastitima.



Slika 19. Geološki profil terena kroz ležište uglja "Jasenovac" - centralno polje (Bokčić 1982)

T_1 - sajski slojevi; T_2 - bituminozni krečnjaci srednjeg trijasa; M_1^{2a} - podinski odeljak ugljenog sloja donjeg miocena; M_1^{2b} - povlatni odeljak ugljenog sloja donjeg miocena
1. površ navlake; 2. rased; 3. rasedna zona

Miocenska ugljonosna serija (M_3) je najvećim delom pokrivena navlakom trijaskih i jurskih krečnjaka (Grubić 1967). U odnosu na ugljonosni sloj, seriju čine: *podinski deo*, *ugljeni sloj* i *povlatni deo* ugljenog sloja.

Ugljeni sloj je podeljen slojem gline debljine 2-7,8 m na dva odeljka, donji podinski i gornji povlatni deo.

Tektonske karakteristike basena. Krepoljinski basen pripada ridanjsko-krepoljinskoj rasednoj zoni, pa mu opšte obeležje u tom pogledu daje navlaka koja je prekrila ugljonosnu miocensku seriju.

Dosadašnjim rudarskim radovima je utvrđeno da navlaka krečnjaka, od „čela“ navlake ka njenom „korenu“, ima širinu od 0,8-1 km, mada ona do danas nije pouzdano definisana.

Rasedima, navlaka je iskidana i deformisana, a jedino u severnom delu „centralnog polja“ postoji izvesna pravilnost. Debljina krečnjačke navlake u delu krepoljinske zone Jasenovac-Bliznak je najveća u zapadnom delu gde je istražnim bušenjem utvrđeno da iznosi 334 m.

Ležište „centralno polje“ u okviru kog se trenutno odvija eksploatacija uglja, generalno predstavlja monoklinalu sa pružanjem sever-jug i pravcem pada od istoka prema zapadu. Generalni pad monoklinale iznosi oko 20°, a središnji delovi ležišta imaju maksimalni pad slojeva do 10° (Petrović i Ratković 2010).

Kada se rudarskim radovima prilazilo zapadnoj konturnoj granici ležišta (područje bušotina: J-95/93, P-2/62, J-84/88), uočeno je da ležište gubi monoklinalni oblik i sve više biva kidano učestalim i brojnim rasedima različitog tipa i karaktera. Izradom rudarskih prostorija u ovom delu ležišta, konstatovano je da ovaj deo ležišta predstavlja ipak prirodni nastavak sa otkopanim centralnim delom ležišta i da nema značajnijeg kretanja blokova duž markantnog raseda R-9 kao što se ranije smatralo (Petrović i Ratković 2010).

2.5. Bogovinski basen mrkog uglja

Geografski položaj. Bogovinski ugljeni basen se nalazi u istočnoj Srbiji i prostire se duž jugoistočnog oboda planinskog masiva Kučaja (slika 20.). Sam basen ima površinu od oko 32 km². Administrativno pripada opštini Boljevac.

Zbog složene morfologije paleoreljefa, bogovinski ugljeni basen je uslovno podeljen na zapadno i istočno polje. Ova granica se donekle poklapa sa trasom sadašnjeg puta koji povezuje selo Valakonje sa Podgorcem (slika 20.).

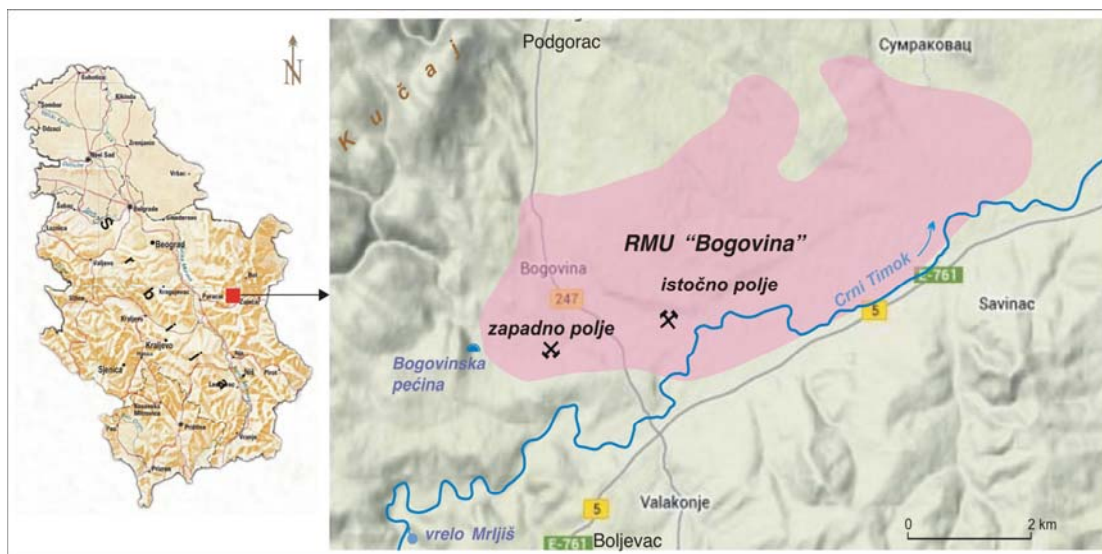
Istorijat rudnika Bogovine. Eksploatacija mrkog uglja u ovom basenu je započela 1903. godine i to u njegovom najugljonosnijem delu, u „zapadnom polju“. Na početku je imala lokalni značaj, ali od 1915. godine, počinje brži razvoj rudnika, zbog sve naglašenijih potreba za ugljem od strane obližnjeg rudnika bakra u Boru. Tako je već 1920. godine, postignuta proizvodnja od 76.000 t na godišnjem nivou i to kvalitetnog mrkog uglja što je tada predstavljalo oko 43% od ukupne proizvodnje mrkog uglja u Srbiji.

Eksploatacija uglja u „zapadnom polju“ je vršena do 1995. godine, a od 1994. godine, otpočeli su radovi na otkopu uglja iz revira „istočno polje“ (slika 20.). Eksploatacija uglja iz „istočnog polja“ odvija se i danas.

Geološke karakteristike basena. Duž zapadnog oboda bogovinskog basena, ugljonosna oligocenska serija leži transgresivno preko mezozojskog karbonatnog kompleksa Kučaja (slika 21.).

Paleoreljef u centralnom i istočnom delu basena, izgrađuju gornjokredne tvorevine timočke eruptivne oblasti. Ugljonosnost bogovinskog basena u

pravcu istoka je potvrđena približno do Zlotske reke, a dalje u pravcu istoka, terciarni sedimenti nisu ugljonosni (Ratković 2011).



Slika 20. Geografski položaj bogovinskog ugljonosnog basena

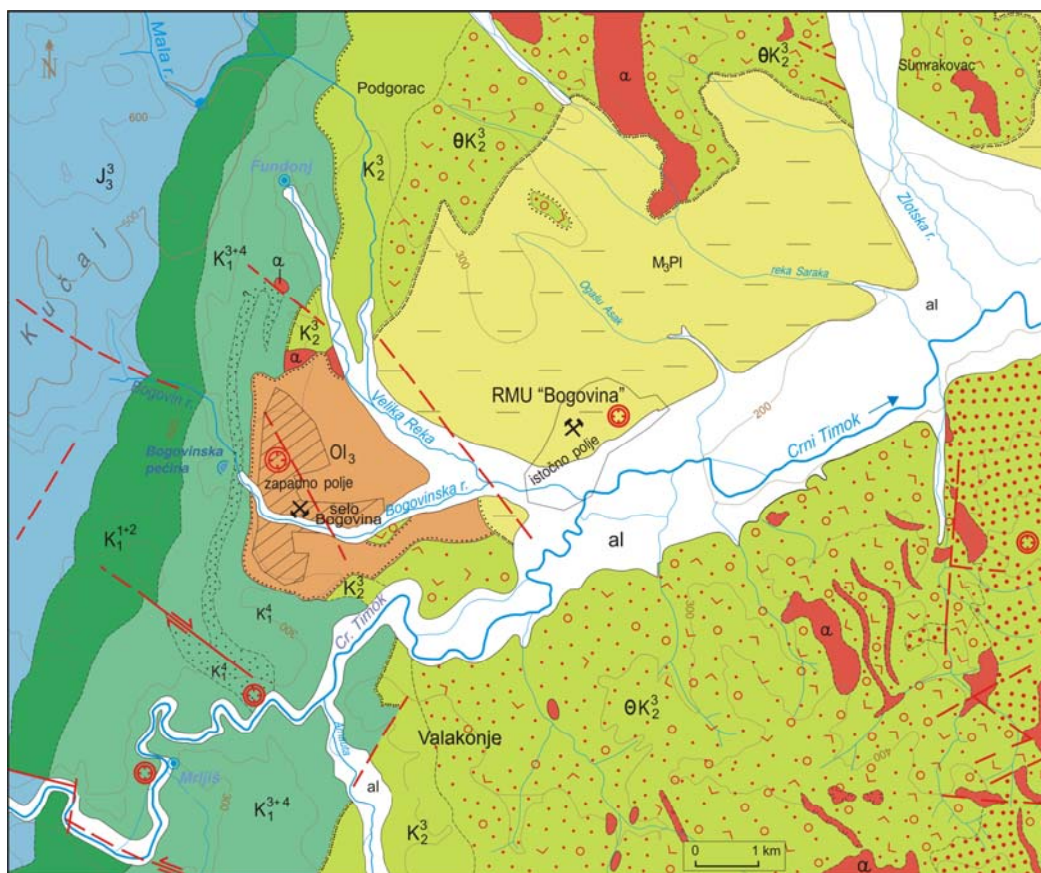
Krečnjaci barem-apta (K_1^{3+4}) u paleoreljefu ugljonosne serije zapadnog dela bogovinskog basena, predstavljaju završnu seriju debelog paketa karbonatnih tvorevina planinski masiv Kučaja. Istražnim bušenjima u dolini Crnog Timoka (u području ušća reke Arnaute u Crni Timok), utvrđeno je da se u završnoj seriji ovih tvorevina, javljaju glinoviti orbitolinski peščari koji po starosti odgovaraju aptu (K_1^4). Ovi peščari se javljaju na površini terena u vidu uzane zone širine do 250 m i imaju skoro meridijansko pružanje (slika 21.). Preko njih leže glinoviti i laporoviti albski krečnjaci, koji ujedno predstavljaju neposrednu podinu ugljonosnim terciarnim sedimentima bogovinskog basena.

U zapadno delu bogovinskog basena, paleoreljef ugljonosnoj seriji čine jednim delom i senonske tvorevine K_2^3 (konglomerati, peščari, laporci, laporoviti krečnjaci).


Tvorevine gornjokredne vulkanogeno-sedimentne serije θK_2^3 (timočke eruptivne oblasti), čine paleoreljef ugljonosnim tvorevinama bogovinskog basena i to u njegovom centralnom i istočnom delu. U okviru ove serije stena su zastupljeni andeziti, vulkanske breče, tufovi i tufiti.

Vuklanske breče i tufiti, odgovaraju prvoj vulkanskoj fazi. Druga vulkanska faza, predstavljena je izlivima, nekovima i ređe dajkovima andezita koji su praćeni velikim masama piroklastičnog materijala (vulkanske breče,

tufovi i tufiti). Trećoj vulkanskoj fazi pripadaju horblenda, andeziti, latiti i kajaniti „Bogovine”, koji imaju sasvim neznatno rasprostranjenje u poređenju sa vulkanskim stenama druge faze (Milenković i Ramović 2004).

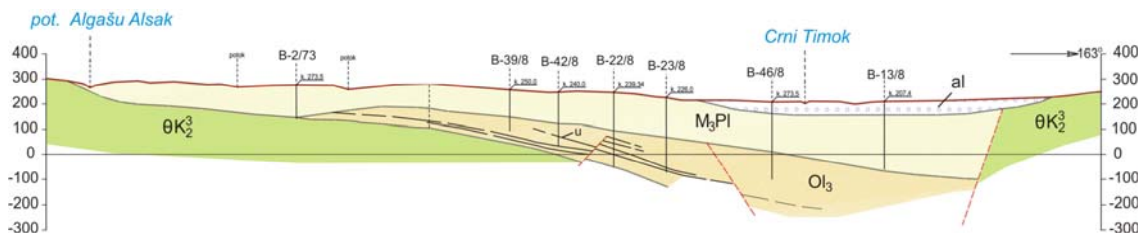


Slika 21. Geološka karta šireg područja bogovinskog ugljunosnog basena (podloga: OGK 1:100.000, list Boljevac)

al – aluvijum; *M₃Pl* – konglomerati, aglomerati, peskovi, šljunkovi, gline; *Ol₃* – konglomerati, gline, laporci, ugalj; α – andeziti; *K₂³* – konglomerati, peščari, laporci, laporoviti krečnjaci; θK_2^3 – tufovi, tufiti, vulkanske breče; *K₁⁴* – orbitolinski peščari; *K₁³⁺⁴* – masivni i bankoviti krečnjaci; *K₁¹⁺²* – slojeviti i bankoviti krečnjaci; *J₃³* – bankoviti i masivni krečnjaci i dolomiti; - - - - - rased; ✕ - aktivni rudnik; ✕ - zatvoreni rudnik;  - kontura rudarskih radova

Oligocenska ugljunosna serija bogovinskog basena je otkrivena na površini terena u zapadnom delu, dok je u istočnom delu basena, prekrivena mlađim miopliocenskim sedimentima (slika 22.).

Oligocenski sedimenti su podvojeni u dva, skoro razdvojena polja: *zapadno* i *istočno polje*. Između ovih polja, nalazi se greben paleoreljefa izgrađen od andezita gornje krede. Približnim poklapanjem sa tokom Velike reke (slika 21.), greben preseca bogovinski basen u širini oko 600 m (Ratković 2011).



Slika 22. Geološki profil terena kroz ležište uglja „Bogovina“- istočno polje

al – aluvijum; *M₃Pl* – konglomerati, aglomerati, peskovi, šljunkovi, gline; *Ol₃* – konglomerati, gline, laporci, ugalj (*u* – sloj uglja); *ΘK₂³* – tufovi, tufiti, vulkanske breče („timočka eruptivna oblast“); - - - - - rased

Usled ugljonosnosti, oligocenska serija je rasčlanjena na tri karakteristična geološka horizonta: *podinski*, *ugljeni* i *povlatni* horizont.

Ugljonosni horizont čine dva ugljena sloja pri čemu donji ili glavni ugljeni sloj ima konstantno rasprostranjenje i promenljivu debljinu. Ugljeni slojevi su međusobno razdvojeni serijom laporca.

U centralnom i istočnom delu bogovinskog basena, sedimenti miopliocena (*M₃Pl*) leže transgresivno preko ugljonosne oligocenske serije. Izgrađuju ih slabo vezani grubozrni konglomerati i aglomerati sa sočivima i proslojcima peskova. U plićim delovima ove serije, istražnim bušenjem je potvrđeno da konglomerati mestimično prelaze u šljunkove (bušotine: B-3/87, B-4/87, B-14/8, B-16/8 i dr.), Filipović i dr. 1988.

Pored slabo vezanih konglomerata, prisutne su sive, zelene i žute peskovite i laporovite gline sa karbonatnim konkrecijama i sočivima peskova. Peskovi se često nalaze i u samom završnom delu ove serije. U peskovitim glinama miopliocenske serije, bušenjem je utvrđeno prisustvo 2 tanja sloja lignita koji nemaju ekonomski značaj.

Aluvijalne tvorevine (*al*) u bogovinskom basenu su zastupljene duž tokova Crnog Timoka, Zlotske, Velike, Bogovinske reke i drugih manjih tokova. Najznačajniju aluvijalnu ravan ima Crni Timok, čija širina iznosi i do 2,5 km, a debljina je potvrđena istražnim bušenjem i iznosi do 24,9 m (Filipović i dr. 1988). Izgrađuju je krupnozrni i sitnozrni šljunkovi, peskovi i gline.

Značajnu aluvijalnu ravan je formirala i Zlotska reka koja ima širinu pri ušću u Crni Timok i do 2 km.

Tektonske karakteristike basena. Bogovinski basen predstavlja poprečnu tektonsku potolinu, formiranu unutar karpato-balkanida istočne Srbije.

Snažnim tektonskim pokretima koji su se odvijali duž zlotske i crnorečke dislokacije, došlo je do spuštanja mezozojskog kompleksa i formiranja bogovinske, odnosno crnorečke kotline.

Nakon formiranja ugljunosnih oligocenskih sedimenata, naknadnim uticajima gravitacionih raseda različitog stepena intenziteta i različitih pravaca, iskomadali su bogovinsku ugljunosnu seriju u više blokova koji su orjentisani u svim pravcima. Od posebnog značaja za eksploataciju uglja iz bogovinskog basena su rasedi lokalnog karaktera i manjeg stepena intenziteta koji presecaju ugljunosnu seriju (Milenković i Ramović 2004).

Tektonsko obeležje ugljunosnoj seriji daju dva istaknuta raseda. Prvi se nalazi u zapadnom delu basena sa submeridijalnim pravcem pružanja (JI-SZ) i koji gotovo dijagonalno preseca ugljunosnu seriju. Zapadno od ovog raseda, ugljunosna serija je spuštena hipsometrijski preko 100 m.

Drugi rased se pruža levom obalom Velike reke. Duž ovog raseda, zapadno krilo je znatno hipsometrijski spušteno sa skokom preko 100 m što je dokumentovano i geofizičkim ispitivanjima.

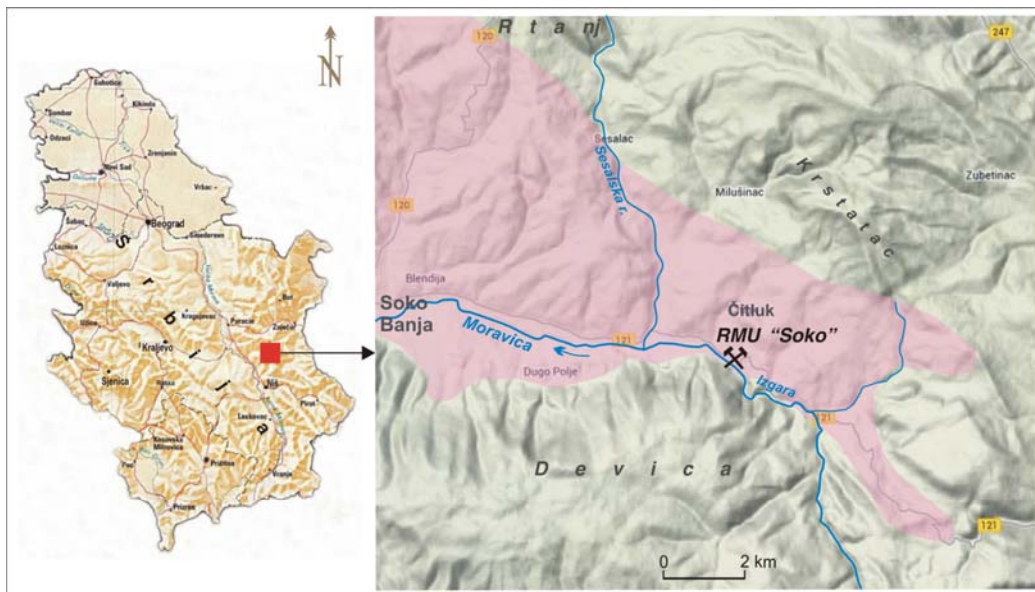
2.6. Sokobanjski basen mrkog uglja

Geografski položaj. Sokobanjski ugljeni basen se nalazi u istočnoj Srbiji, gde predstavlja poprečnu međuplaninsku kotlinu formiranu između planinskog masiva Rtnja na severu i Ozrena i Device na jugu (slika 23.). Površina basena iznosi oko 220 km², ali ugljunosnost je vezana za istočni deo gde obuhvata samo nekoliko km². U administrativnom pogledu ovo područje pripada opštini Soko Banja.

Istorijar rudnika „Soko“. Ugljunosnost sokobanjskog basena je utvrđena još krajem 19 veka i to najpre u selu Orešac, a zatim i u selu Čitluk. Prva istraživanja uglja na ovom prostoru su bila izvedena početkom 20 veka, a obimniji rudarski radovi su započeti 1922. godine. Prve količine uglja od 347 t, bile su otkopane 1928. godine.

Trenutno, eksploatacija mrkog uglja u sokobanjskom basenu se vrši jamom „Soko“ i to u zapadnom eksploatacionom polju.

Mrki ugalj iz ležišta „Soko“, jako je pogodan za široku potrošnju (u domaćinstvima), kao i za industriju, jer ima veliku kaloričnost, mali sadržaj pepela i sumpora. Obzirom na značajne rezerve uglja, ovaj basen ima veliki ekonomski značaj i perspektivu u budućnosti.



Slika 23. Geografski položaj sokobanjskog ugljonosnog basena

Geološke karakteristike basena. Sokobanjski basen u geološkom pogledu izgrađuju tercijarne naslage, koje su rasčlanjene na: donji paleogen (Pg_1), ugljonosni srednji miocen (M_2) i pliocen (Pl), slika 24.

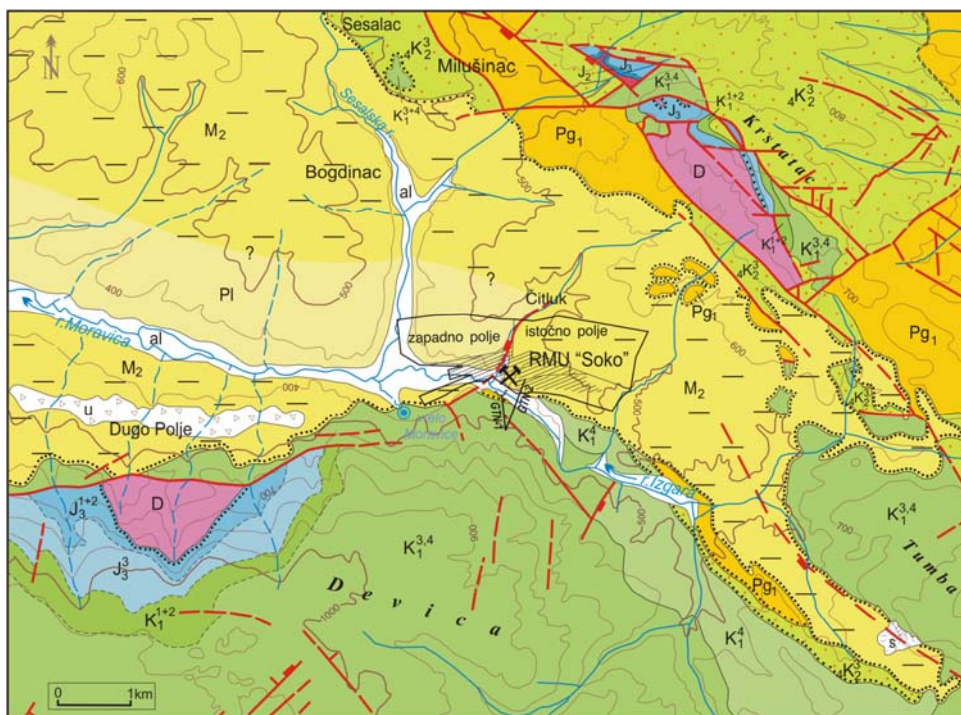
Tvorevine paleogena (Pg_1) su zastupljene duž severoistočnog oboda sokobanjskog basena i to od Milušinca, severnog dela Čitluka sve do sela Orešca, Cerovice i Levovika. U pogledu litološkog sastava, bazalnu seriju donjeg paleogena izgrađuju konglomerati i peščari, srednji deo serije izrađuju bituminozni krečnjaci, a završni deo je predstavljen peščarima sa vulkanoklastitima i bituminoznim glincima. Debljina im se kreće 250-500 m.

Miocen (M_2) je predstavljen ugljonosnom serijom koja je u stručnoj javnosti poznata i kao „čitlučka slatkovodna serija“. U okviru nje, izdvojena su tri horizonta: podinski, ugljonosni i povlatni (Petrović 2011).

Ugljonosni horizont obuhvata ugljeni sloj i jalove proslojke izgrađenih od ugljevitih laporaca i glina.


Tvorevine pliocena (Pl) leže diskordantno preko miocenske ugljonosne serije i izgrađene su isključivo od klastičnih stena različitog granulometrijskog sastava. Predstavljene su peskovima i šljunkovima koji su delimično vezani glinovitim cementom.

U paleoreljefu i neposrednom obodu tercijarnih tvorevina sokobanjskog basena, javljaju se stene devona (D), zatim tvorevine barem-apta (K_1^{3+4}), apta (K_1^4) i tvorevine gornje krede (K_2).



Slika 24. Geološka karta šireg područja ležišta uglja u sokobanjskom basenu

(podloga: OGK 1:100.000, listovi Aleksinac, Boljevac i Zaječar)

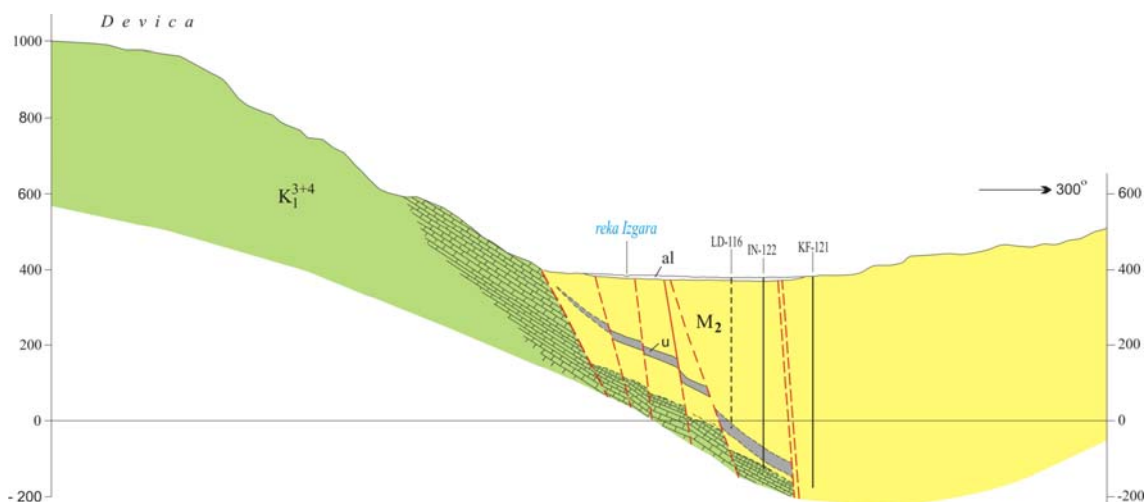
al – aluvijum; *s* – sipari; *u* – urvinske tvorevine; *Pl* – peskovi, šljunkovi, peskoviite gline; *M₂* – konglomerati, pešćari, gline, laporci, ugalj, ugljevite gline; *Pg₁* – konglomerati, pešćari, bituminozni krečnjaci, vulkanoklastiti, bituminozni glinci; *4K₂³* – laporci, pešćari, pesk.krečnjaci, vulkano-klastične stene; *K₁⁴* – pesk.krečnjaci, pešćari i glinci; *K₁^{3,4}* – krečnjaci urgona; *K₁¹⁺²* – slojeviti i bankoviti krečnjaci; *J₃³* – masivni i bankoviti krečnjaci; *J₃¹⁺²* – masivni i bankoviti krečnjaci; *J₃* – krečnjaci malma; *J₂* – pešćari, peskoviti krečnjaci, dolomiti; *D* – slabometamorfisani pešćari i glinci; - - - - - rased;  - kontura rudarskih radova

Devon (*D*) je predstavljen debelom serijom slabometamorfisanih pešćara i glinaca. Ove stene su otkrivene na jugo-zapadnim padinama planine Krstatac i severozapadnim padinama Devica (slika 24.).

Barem-apt (*K₁^{3,4}*) izgrađuju pločasti, bankoviti i najčešće masivni sivo-beli krečnjaci. Ovi krečnjaci čine na značajnom prostoru južni obod i paleoreljef ugljonosnoj miocenskoj seriji sokobanjskog basena (slika 25.). Završnu urgonsku seriju (apt, *K₁⁴*), izgrađuju peskoviti krečnjaci, pešćari i glinci (Petrović 2011).

Gornju kedu (*K₂*) izgrađuju senonske tvorevine predstavljene laporcima i pešćarima, žučkastim peskovitim krečnjacima i aktinolitiskim pešćarima. Gornja kredo ovog dela sokobanjskog basena, završava se serijom pešćara gornjeg mastrihta koji su najbolje otkriveni iznad sela Milušinac.

Gornjoj kredi pripadaju i vulkanoklastične stene severno i severoistočno od planine Krstatac.



Slika 25. Geološki profil terena kroz ležište uglja „Soko“

al – aluvijum; M_2 – ugljonosna miocenska serija (konglomerati, peščari, gline, laporci, ugljevite gline; *u* – ugljonosni horizont); $K_1^{3,4}$ – krečnjaci urgona; - - - - - rased

Aluvijalni nanosi (*al*) u sokobanjskom basenu se javljaju duž korita reke Moravice, Izgare i Seselske reke. Debljina im u proseku iznosi oko 5 m, s tim da je bušotinom B-308 kod rudnika „Soko“, konstatovana debljina aluvijalnih tvorevina reke Izgare i do 10 m.

Tektonske karakteristike basena. Sokobanjska kotlina predstavlja tektonsku potolinu koja je spuštena duž markantnih dislokacija pravca pružanja istok-zapad (Petrović i dr. 1988). Jednu čini sokobanjski rased koji se pruža duž podnožja Devica i Ozrena, a u pravcu zapada prolazi pored same Sokobanje. Za njega se vezuju termalni izvori u Sokobanji i u klisuri Moravice. Tektonska dislokacija koja je predisponirala severni obod Sokobanjske kotline, pruža se duž južnih padina Krstatca.

U basenu se sreće mozaičan rupturni sklop u okviru kog se mogu izdvojiti više homogenih blokova: *jošanički, sokobanjski, šarbanovački, seselački, čitlučki i cerovički blok* (slika 26.).

Ležište uglja „Soko“ je formirano u okviru čitlučkog homogenog bloka. Zapadnu granicu ovom bloku čine rasedi na potezu selo Milušinac-Milušinačka reka, prema istoku-severoistoku sistem kaskadnih gravitacionih raseda na pravcu reke Izgara - selo Levovik - selo Orešac.

Čitlučki tektonski blok ima izrazit parketni sklop izgrađen od hektometarskih i kilometarskih blokova, pretežno pravougaonih oblika. Rasedi koji ograničavaju ove blokove, pružaju se u pravcu severozapad-jugoistok i

severoistok-jugozapad. Srednji statistički azimuti ovih sistema su: 133-313° (maksimum na prstenastom dijagramu 24-33 %) i drugi 58-238° sa submaksimumom 18-24 % (Petrović 2011).



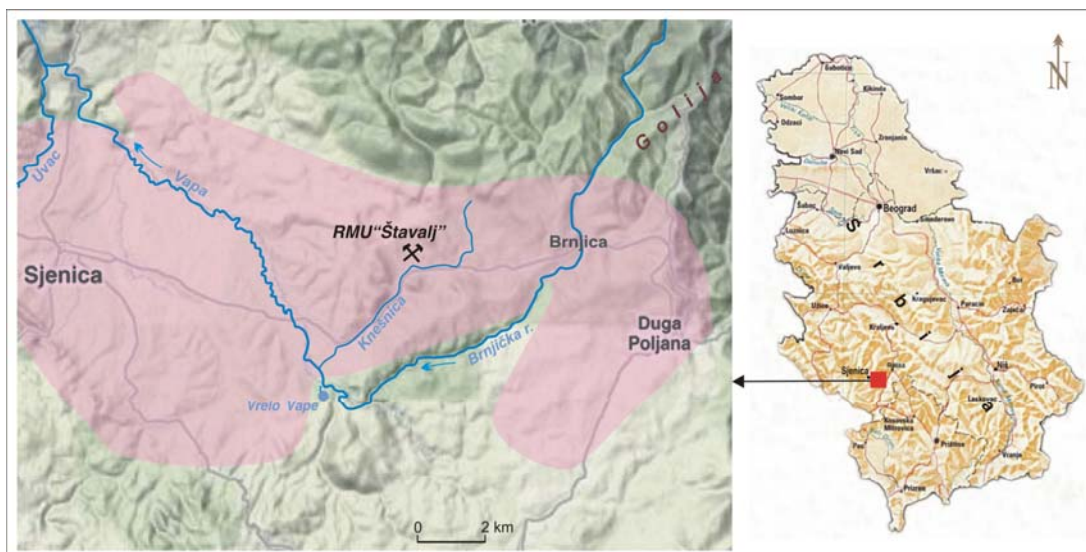
Slika 26. Skica homogenih tektonskih blokova sokobanjskog basena (Petrović 2011)

Kretanja po ovim rasedima su pretežno gravitaciona, ređe reversna i transkurentna. Zahvaljujući ovakvom rupturnom sklopu na terenu se pojavljuju manji blokovi i "ostrva", različito kretanih (izdizanih) tako da su često u istom nivou mlađe neogene i starije paleogene i mezozojske stene.

2.7. Sjeničko-štavaljski basen mrkog uglja

Geografski položaj. Sjeničko-štavaljski ugljeni basen se nalazi na peštarskoj visoravni u jugozapadnom delu Srbije (slika 27.). Kao neogeni basen tipa tektonske potoline, smešten je između planinskih venaca Jadovnika i Zlatara na zapadu, Javora na severu, Golije na istoku i Giljeve planine na jugu. Površinu basen je oko 150 km² i nalazi se na nadmorskoj visini od 900-1300 m.

Istorijat štavaljskih rudnika. Ugljonosnost sjeničkog basena je bila poznata još početkom 20 veka, ali istraživanja i organizovana eksploatacija uglja u basenu, započeta su tek posle Drugog svetskog rata. Takozvani "stupski rudnik" je bio otvoren u području sela Stup, u severnom delu basena. Tek 1967. godine, eksploatacija uglja se proširila na takozvano "centralno polje" gde se i danas obavlja podzemnim rudarskim radovima rudnika "Štavalj".



Slika 27. Geografski položaj sjeniškog ugljonosnog basena

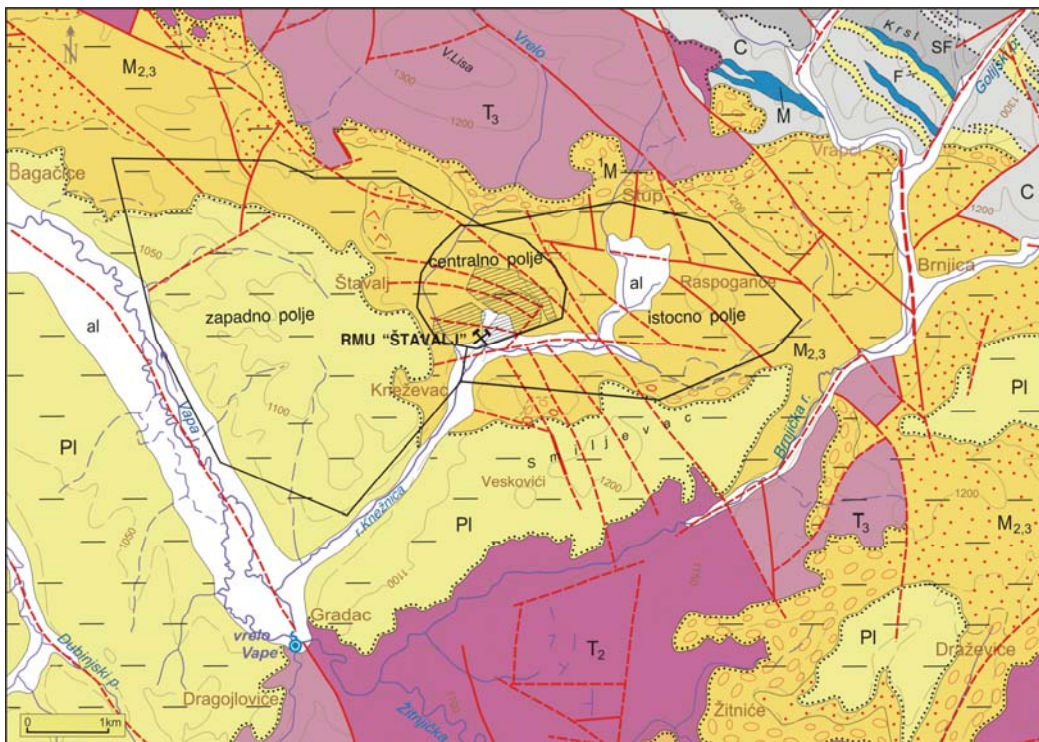
Površina dosadašnjih geoloških istraživanja ugljonosnosti ovog basena, iznosi oko 15 km² što predstavlja oko 10 % od njegove ukupne površine. Najvećim delom geološka istraživanja su vezana za središnji deo basena, gde se u tri tehnički izdvojena polja ("centralno" polje u kome se trenutno odvija eksploatacija, "istočno" polje i "zapadno" polje), nalaze trenutno najveće bilansne rezerve mrkog uglja u Srbiji.

Geološke karakteristike basena. Sjeničko-štavaljski basen predstavlja duboku tektonsku potolinu koja je pod uticajem snažnih radijalnih tektonskih pokreta, formirana unutar centralne ofiolitske zone unutrašnjih Dinarida. U istočnom i centralnom, paleoreljef ugljonosnim miocenskim sedimentima ($M_{2,3}$), čine stene kristalastog kompleksa karbona (C), karbonatne stene srednjeg trijasa (T_2) i gornjeg trijasa (T_3), slika 28.


Najmlađe tvorevine u basenu, izgrađuju aluvijoni (al) rečnih tokova.

Karbonske tvorevine (C) su predstavljene hloritskim i epidot-aktinolitiskim škriljcima, sericitskim kvarcitima, ređe kvarcnim konglomeratima, brečama i mermerisanim krečnjacima, metamorfisanim peščarima, argilošistima i filitima.

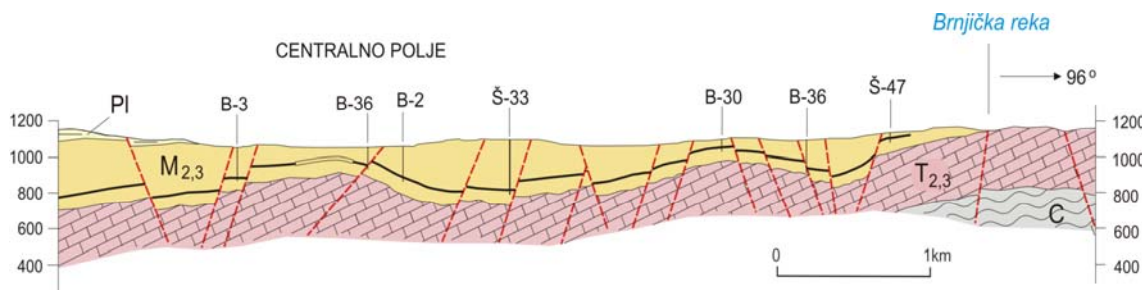
Karbonatne tvorevine srednjeg trijasa (T_2) leže transgresivno preko starijih karbonskih stena i jednim delom izgrađuju paleoreljef ugljonosnoj miocenskoj seriji. Predstavljeni su tamnosivim bankovitim i masivnim krečnjacima sa brojnim prslinama ispunjenim kalcitom i dolomitičnim krečnjacima sa čestim probojima porfiritskih stena.



Slika 28. Geološka karta šireg područja ležišta uglja „Štavalj“ u sjeničkom basenu (podloga: OGK 1:100.000, list Sjenica)

al – aluvijum; PI – peščari sa sočivima šljunkovitih glina, peskovi, šljunkovi; M_{2,3} – konglomerati, peščari, tufovi, laporci, uglalj; T₃ – krečnjaci gornjeg trijasa; T₂ – krečnjaci srednjeg trijasa; C – karbonski peščari; SF – argilošisti, fliti i peščari karbona; F – filiti karbona; M – mermersi karbona;
 - - - - - rešed;  - kontura rudarskih radova

Karbonatne tvorevine gornjeg trijasa (T₃), čine jednim delom paleoreljev ugljonosnoj seriji sjeničkog basena (slika 29.). Na površini terena su otkriveni duž severnog oboda basena (od sela Stupa do Čipalja), zatim južnije od Brnjice, kao i u području vrela Vape (sela Gradac). Izgrađuju ih krečnjaci koji su tektonski oštećeni i zahvaćeni intenzivnim procesom karstifikacije.



Slika 29. Geološki profil terena kroz ležište uglja „Štavalj“ - centralno polje

PI – peščari, tufovi, gline, peskovi, šljunkovi; M_{2,3} – ugljonosna miocenska serija (konglomerati, peščari, tufovi, laporci, uglalj); T_{2,3} – krečnjaci trijasa; C – kristalaste stene karbona; - - - - - rased

Srednji i gornji miocen ($M_{2,3}$) čini ugljonosnu seriju sjeničkog basena, koja je prerdstavljena sa četiri karakteristična litološka horizonta i to:

1. *podinski horizont*;
2. *ugljonosni horizont* koji je predstavljen homogenim slojem uglja sa znatnim prostornim razvićem;
3. *tufogeno-laporoviti horizont* je karakterističan po tome što najčešće čini direktnu povlatu glavnom ugljenom sloju;
4. *horizont karbonatno-pelitskih sedimenata*.

Pliocenske tvorevine (*Pl*) imaju najveće rasprostranjenje u srednjem i južnom delu sjeničkog basena. Diskordantno leže preko sedimenata miocenske ugljene serije.

Donji i srednji deo litološkog stuba pliocenske serije, izgrađuju sivo-žuti peščari. Raznozrni su, trošni, a mestimično i tufozni sa ukrštenom slojevitošću i većim sočivima šljunkovitih glina. Gornji deo stuba izgrađuju isključivo gruboklastični sedimenti u čiji sastav ulaze krupnozrni peskovi i šljunkovi (Lojanica 2005).

U području srednjeg i južnog dela basena, debljina sedimenata donjeg pliocena varira od 120 do 220 m, a u području Duge Poljane od 5 do 25 m.

Aluvijajne (*al*) tvorevine su formirane duž većih rečnih tokova koji protiču sjeničkim basenom kao što su: Vapa, Međurečki potok, Grabovica, kao i Jablanica, Knešnica i Brnjička reka sa svojim pritokama. Najznačajniju aluvijalnu ravan je izgradila reka Vapa i to od sela Gradac gde nastaje, pa sve do nizvodnog zaseoka Donja Vapa. Na ovom rastojanju od oko 10 km, širina aluvijona Vape iznosi oko 1 km.

Aluvijalne tvorevine su predstavljene peskovito-šljunkovitim nanosom koji je delimično i zaglinjen.

Tektonske karakteristike terena. Osnovno obeležje sjeničkom basenu daju dve vrste raseda: *stariji* sa većim i *mlađi* sa manjim stepenom intenziteta. Pvi su učestvovali direktno u stvaranju kotline, odnosno duž preovlađujućeg dinarskog pravca resedanja, došlo je do spuštanja kotline.

Drugi tip raseda (mlađi rasedi) različitog stepena intenziteta i mrežastog rasporeda, usloveli su komadanje ugljonosne serije u više samostalnih denivelisanih (manjih) blokova trouglastog ili paleopipednog oblika. Po Markoviću i dr. 1996, sjenički ugljonosni basen karakteriše izdeljenost na blokove koji su predisponirani rasedima pružanja SZ-JI (slika 30.).



Slika 30. Karta detaljnog rupturnog sklopa sjeničkog ugljonosnog basena
(Marković i dr. 1996)

1. zapadno uglj.polje; 2. centralno uglj.polje; 3. istočno uglj.polje;
4. južno uglj.polje; 5. rupture regionalnog značaja; 6. rupture lokalnog značaja

Blokovi su rupturama orijentacije SI-JZ izdijeljeni na subblokove. Krupni blokovi i subblokovi u okviru njih, pokazuju deferencijalna vertikalna kretanja različitog znaka i intenziteta. Generalno uzevši, zapažaju se stepeničasta relativna tonjenja blokova idući od SI ka JZ. Subblokovi takođe pokazuju stepeničast raspored sa spuštanjima od SZ - JI (Markoviću i dr. 1996).

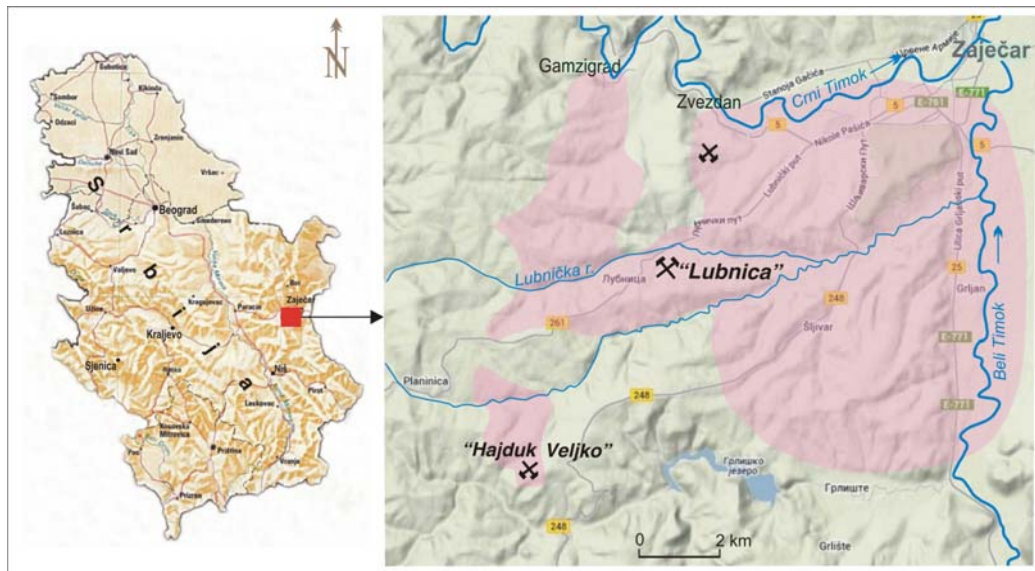
Usled navedenog rasedanja, ugljeni horizon u okviru izdvojenih tektonskih blokova se nalazi hipsometrijski na različitim dubinama. Skokovi duž raseda između pojedinih blokova se kreću od 5 do 180 m (Novković 1969).

2.8. Lubnički basen mrko-lignitskog uglja

Geografski položaj. Lubnički ili lubničko-zvezdanski basenu, predstavlja jugozapadni deo zaječarskog tercijarnog basena koji se proteže između Crnog Timoka na severu i Belog Timoka na istoku (slika 31.). U severnom delu basena, formirano je takozvano zvezdansko ugljonosno polje, a u južnom delu lubničko ugljonosno polje. Ukupna površina basena iznosi oko 14 km².

Istorijat lubničkih rudnika. Prva istraživanja pojava uglja u basenu, započeta su 1887. godine i to najpre u izdanačkoj zoni Gnjilačkog potoka u

zvezdanskom ugljonosnom polju. Tokom 1889. godine je otvorena jama "Zvezdan" i ona je bila sve do 1903. godine u vlasništvu Nikole Lalovića, trgovca iz Zaječara. Potom je preuzima „Zaječarsko industrijsko udruženje“.



Slika 31. Geografski položaj lubničko-zvezdanskog ugljonosnog basena

Prvi istražni rudarski radovi u lubničkom ugljonosnom polju, su otpočeli početkom dvadesetog veka, s tim da je tokom balkanskih ratova, eksploatacija uglja je bila prekinuta, a ponovo je nastavljena tek 1921. godine, otvaranjem rudnika "Ivanovo".

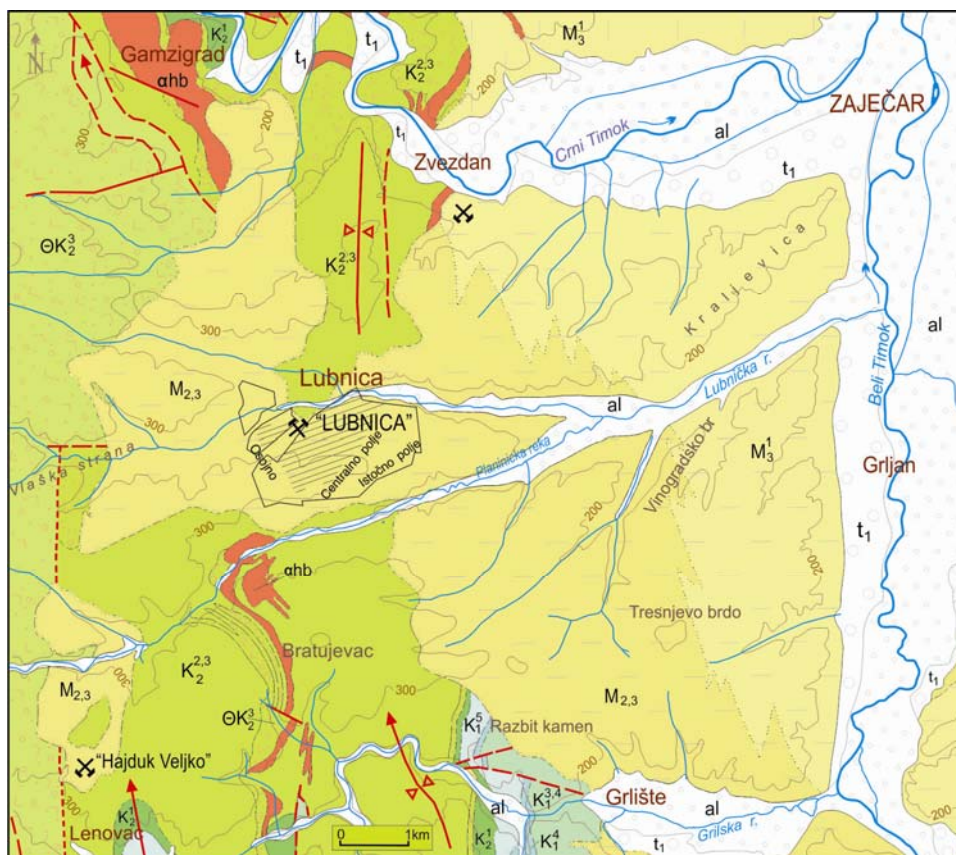
U okviru jednog izolovanog ležišta u području Lenovca, otvoren je 1932. godine i rudnik uglja "Hajduk Veljko" koji se nalazio na levoj obali Grliške reke (slika 31.). Tokom 1950. godine, ovaj rudnik je zatvoren za eksploataciju.

Rudnik "Ivanovo" nastavlja sa radom posle II svetskog rata pod novim nazivom "Lubnica" i to sa mnogo intenzivnijom eksploatacijom uglja. U sadašnjim uslovima, eksploatacija uglja u ležištu uglja „Lubnica“, odvija se u okviru eksploatacionog polja „Osojno“.

Geološke karakteristike basena. Neposredni obod i paleoreljef ugljonosnim miocenskim sedimentima lubničko-zvezdanskog basena čini nerasčlanjena serija turon-senona (K_2^{2-3}) i vulkaniti senona (θK_2^3), a najmlađe tvorevine u basenu pripadaju kvartaru (al, t_1), slika 32.

Turon-senonu (K_2^{2-3}) pripadaju andezitsko vulkanogeno-sedimentne stene. Predstavljene su submarinskim izlivima andezita, andezitskih tufova, tufita, aglomeratima i brečama (ahb). Sedimentni članovi turon-senonske

formacije, predstavljeni su laporcima i peskovitim laporcima u smeni sa peščarima.



Slika 32. Geološka karta šireg područja lubničko-zvezdanskog basena (podloga: OGK 1:100.000, list Zaječar)

al – aluvijum; *t₁* – rečna terasa; *M₃¹* – konglomerati, peskovi, gline, šljunkovi; *M_{2,3}* – peskovi, alevriti, gline, konglomerati, šljunkovi, glin.peščari; *θK₂³* – vulkanoklastiti; *ahb* – andeziti, andezitski tufovi; *K₂^{2,3}* – laporci, peskoviti laporci, peščari; *K₂¹* – peščari, glinci, vulkanoklastiti; *K₁⁵* – konglomerati, peščari, glinci; *K₁⁴* – bankoviti i slojeviti krečnjaci i peščari; *K₁^{3,4}* – krečnjaci urgona, ----- - rased; ✕ - aktivni rudnik; ✕ - zatvoreni rudnik; ▨ - kontura rudarskih radova

Paleoreljefnim uzvišenjem u vidu „grede“ širine do 2 km, sa meridijanskim pružanjem od Zvezdana na severu do Lubnice na jugu, lubničko-zvezdanski basen je podeljen na istočni i zapadni deo (Petrović 2009).

U ovoj oblasti, andezitsko vulkanogeno-sedimentna formacija turon-senona je ubrana i tektonski veoma poremećena, polomljena i izrasedana. Tektonskim zonama koje imaju pružanje severozapad-jugoistok, bili su stvoreni uslovi da nastanka tektonskih depresija (Petrović 2009).

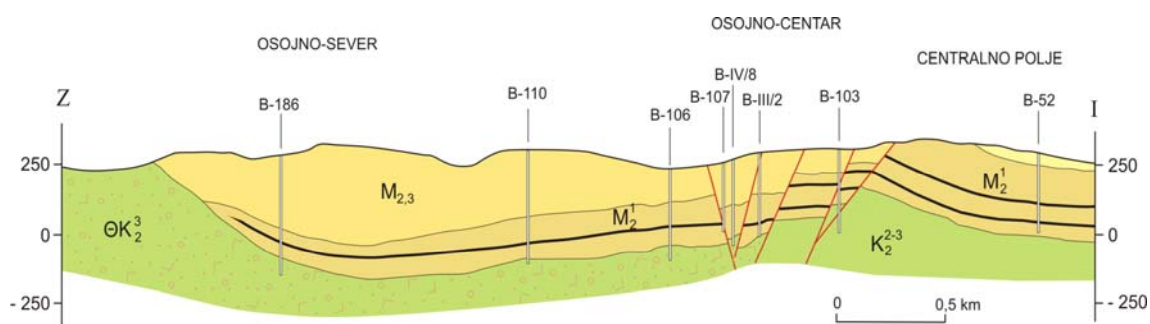
Tvorevine senona (*θK₂³*) su predstavljene vulkanoklastitima, augit-horblendom i horblenda-andezitima. Ove stene čine neposredni zapadni obod

lubničko-zvezdanskom neogenom basenu i u tom delu mu istovremeno izgrađuju jednim delom paleoreljef.

Miocen je predstavljen ugljonosnim sedimentima helveta (M_2^1), zatim sedimentima torton-donjeg sarmata ($M_{2,3}$), kao i sedimentima sarmata (M_3^1).

Sedimenti helveta (M_2^1) predstavljaju ugljonosnu seriju koja je otkrivena na površini terena na relativno malom prostoru i to kod Lubnice u reonu izdanačke zone, kao i uz istočne padine Vrapčeg brda u području zvezdanskog ugljonosnog polja.

Ugljonosna helvetska serija leži transgresivno i diskordantno preko turon-senonske andezitske vulkanogeno sedimentne formacije (slika 33.).



Slika 33. Geološki profil terena kroz ležište uglja „Lubnica“ u lubničko-zvezdanskome basenu

$M_{2,3}$ – peskovi, alevriti, gline, konglomerati, šljunkovi, glinoviti peščari; M_2^1 – konglomerati, glinoviti peščari, laporoviti alevriti, uglj, gline; ΘK_2^3 – vulkanoklastiti; K_2^{2-3} – andezitsko-vulkanogeno-sedimentne stene

Debljina joj se kreće oko 200 m u centralnim delovima basena (Petrović 2009). U ugljonosnoj seriji helveta su izdvojena tri horizonta: *podinski horizont*, *ugljonosni horizont* i *povlatni horizont*.

Ugljonosni horizont počinje i završava se ugljenim slojevima, a između njih se nalazi paket laporaca sa proslojcima peščara, alevrita i glinaca.

Torton-donji sarmat ($M_{2,3}$) je predstavljen peskovima, alevritima i glinama, tortonске starosti. Preko njih leže kontinualno donjesarmatski sedimenti koji počinju bazalnim konglomeratima, šljunkovima i drobinom. U višim delovima, serija je izgrađena od glinovitih peščara, liskunovitih peščara i peskova, peskovitih glina i alevrita.

Tvorevine sarmata (M_3^1) pripada mlađoj fazi jezerske sedimentacije u basenu. Izgrađuju ga bazalni konglomerati, zatim naviše peskovi, gline, tanji proslojci neproduktivnog uglja i šljunkovi. Debljina sarmata iznosi 120–150 m.

Rečne terase (t_1) formirane su u dolini Crnog Timoka (od Gamzigrada do Zaječara), kao i u dolini Belog Timoka (slika 44.). Geološkim istraživanjima je potvrđena njihova debljina do 10 m i izgrađuju ih pretežno peskovi, supeskovi, gline, sugline i šljunkovi.

Aluvijone (al) su izgradili rečni tokovi, a najznačajniji po svom rasprostranjenju se sreću duž tokova Crnog i Belog Timoka. Kod Zaječara, širina aluvijalne ravni iznosi od 2-3 km, a debljina do 15 m. Manji aluvijoni su formirani duž korita Lubničke i Planiničke reke. Aluvijalni nanosi su izgrađeni od krupnozrnih peskovitih šljunkova, a iznad njih su zastupljeni sitnozrni peskovi i prašinaste gline.

Tektonske karakteristike basena. Lubničko-zvezdanski ugljonosni basen, predstavlja potolinu složenog tipa sa više plićih i dubljih depresija, koje su odvojene "pragovima", izgrađenih od gornjokrednih andezita i njihovih piroklastita. U ovim depresijama je formirana ugljonosna serija helveta (M_2^1), s tim da nisu postojali potpuno istovetni sedimentacioni i tektonski uslovi u svakoj od njih. Ove primarne razlike, bile su kasnije još naglašenije novim rasedanjem i tonjenjem pojedinih delova basena, koje su izvršene posle taloženja torton-donje sarmatske serije sedimenata ($K_{2,3}$). Na taj način, formirano je više većih i manjih ugljonosnih polja, koja su jedno od drugih, odvojena rasedima ili "sterilnim" zonama u kojima izostaju slojevi uglja (Petrović 2009).

3. HIDROGEOLOŠKI USLOVI EKSPLOATACIJE KAMENIH I MRKIH UGLJEVA SRBIJE

Podzemna eksploatacija kamenih i mrkih ugljeva u Srbiji, ima relativno dugu tradiciju. Od 1853. godine kada je otvoren prvi državni rudnik („Senjski Rudnik”), mnogi rudnici uglja su do danas bili potapani iznenadnim prilivima rudničkih voda ili je eksploatacija uglja obustavljena na neko vreme usled priliva koji su ometali rad u jami.

Samo u poslednjih 50 godina, podzemna eksploatacija uglja je bila suočena sa 12 obimnih potapanja. Pri tome je stvarana ogromna materijalna šteta, a najekstremnije potapanje je imao rudnik „Štavalj” 1962. godine, kada je jama nakon obimnih padavina bila potpuno potopljena do njenog ulaza. U sličnoj situaciji se našao i rudnik „Jarando” u ibarskom basenu 1982. godine, kada je došlo do iznenadnog priliva rudničkih voda iz ovodnjene rasedne zone. Maksimalni prilivi su tada iznosili i do 1200 l/s, što je uslovalo takođe potpuno potapanje jame.

Izvršena analiza uslova ovodnjenosti ležišta ugljeva u Srbiji, ukazuje zato da prilivi rudničkih voda u podzemne rudarske radove, predstavljaju odraz mnogih prirodnih i antropogenih procesa koji se dešavaju u zoni ležišta uglja. Poseban značaj u tom pogledu imaju: geološko-tektonske karakteristike litološke sredine u okviru koje je formirano ležište uglja (podrazumevajući pod tim kako stene paleoreljefa, tako i neposredne povlate ugljonosne serije), filtracione karakteristike litološke sredine kroz koje se izvode radovi, kao i sve rudarske aktivnosti koje se odvijaju u samom ležištu uglja i okolnim litološkim sredinama.

3.1. Uslovi ovodnjenosti ležišta kamenih i mrkih ugljeva Srbije

Ovodnjenost ležišta mineralnih sirovina u konkretnim prirodnim uslovima njihovog postojanja, može zavisiti od brojnih prirodnih i veštačkih faktora ili činilaca. Teško ih je naravno uvek sve obuhvatiti ili istaći značaj pojedinih faktora, imajući u vidu, pre svega, njihovu raznovrsnost i specifičnost, ali nesumnjivo je da pojedini faktori ili grupa faktora mogu biti od primarnog značaja za ovodnjenost nekog ležišta.

Pri razmatranju ovodnjenosti ležišta kamenih i mrkih ugljeva Srbije, analizirani su uticaji prirodnih uslova ovodnjenosti (fizičko-geografski, geološko-tektonski i hidrogeološki uslovi) i veštačkih uslova ovodnjenosti.

3.1.1. Fizičko-geografski uslovi ovodnjenosti ležišta ugljeva

Uticaj fizičko-geografskih uslova na ovodnjenost ležišta, izražavaju se kroz dejstvo geomorfoloških, klimatskih, hidrografskih i hidroloških faktora.

3.1.1.1. Geomorfološki uslovi ovodnjenosti ležišta

Analizom geomorfoloških uslova posebna pažnja je posvećena reljefu terena, njegovoj morfološkoj razvijenosti, oblicima reljefa, kao i položaju ležišta ili njegovih pojedinih delova u odnosu na mesni erozioni bazis.

Ležište antracita "Vrška Čuka", karakteriše morfološki razvijeni brdoviti teren, koji je ispresecan brojnim duboko usećenim rečnim tokovima i jarugama. U reljefu dominiraju planinski vrhovi Velike Čuke sa 672 m nv i Mala Čuka sa 502 m nv. Prema zapadu, odnosno prema aluvijalnoj ravni Belog Timoka, teren se spušta, tako da se duž zapadnog oboda basena sreću najniže kote, koje se u području sela Avramica kreću oko 200 m. Visinska razlika između najviše i najniže kote u području ležišta iznosi preko 450 m, što uslovljava brzi površinski opticaj atmosferskih padavina sa ovog terena (slika 34.).



Slika 34. Izgled terena u neposrednom području rudnika „Vrška Čuka“
(foto B.Miladinović)

Severni i zapadni obod ugljnosnog basena „Vrška Čuka“ izgrađuju krečnjaci malma (J_3), tako da taj deo terena ima odlike karstnog reljefa. Proces

karstifikacije se spustio duboko ispod lokalnog erozionog bazisa Prlitske reke, na šta ukazuje ponorska zona ove reke na delu toka kroz karstnu podlogu, kao i pećinski kanali, koji se nalaze nešto severnije od potkopa rudnika „Vrška Čuka“ (slika 34.).

Ibarski basen čine danas tri izolovana ugljonosna basena, koji zapravo čine erozione ostatke nekada jedinstvenog basenskog prostora (Jarando, Tadenje-Progorelica, Ušće). U području jarandolskog basena preovlađuje brdoviti teren. Od aluvijalne zaravni Ibra (oko 380 m nv) koja je zastupljena duž jugoistočnog dela basena, teren se izdiže ka zapadnom obodu basena, gde mu nadmorska visina iznosi do okvirno 850 m (slika 10.).

Ovaj deo terena je ispresecan vododerinama manjih potoka koji čine leve pritoke Ibra. Rudarska aktivnost je izmenila donekle prvobitni reljef u predelu Jarandola, zbog brojnih sleganja terena. Usled ove denivelacije terena, vrlo česte se javljaju klizišta.

Tadenjski deo basena karakteriše izraženi brdoviti teren, koji se od doline rele Raduše (k.~430 m), izdiže prema zapadu i jugozapadu (vrhovi: Perišići 640 m nv, Marovići 615 m nv i dr.), slika 10.

Ležište „Progorelica“ se prostire istočno od ležišta „Tadenje“ i od njega je odvojeno rekom Radušom. U morfološkom pogledu, ležište „Progorelica“ je formirano u brdovitom terenu, koji se od zapada sa okvirne nadmorske visine 460 m, strmo izdiže ka istoku do okvirno 560 m nv. Zbog veoma strmih nagiba padina, na površinskom kopu „Progorelica“, postoji kliženje etaža (slika 35.), a u zaleđu izvan konture kopa, javljaju se „ožiljci“ u zemljištu.



Slika 35. Klizna površ etaže na površinskom kopu „Progorelica“ (foto B.Miladinović)

U *resavsko-moravskom basenu* je zastupljen brdovit teren sa brojnim stalnim i povremenim površinskim tokovima, kojima se vrši brzo oticanje površinskih voda sa ovog prostora.

Najznačajniji doprinos u formiranju ovakvog reljefa je dala navlaka permskih peščara. Usled navlačenja ogromne mase crvenih permskih peščara, debele u nekim delovima basena i preko 500 m, uslovile su da područje sa

basenskim reljefom, pređe u brdovit teren. Kako su permski peščari podložni površinskom raspadanju, procesi spiranja i jaružanja u ovim terenima su veoma izraženi. Istaknutih vrhova zato nema, a viši delovi basena se sreću kod Senjskog Rudnika (Panjevačka kosa 795 m nv, Đorđeva straža 765 m nv).

U severnijim delovima basena u području ležišta „Strmosten“ i „Jelovac“, istaknutiji vrhovi se javljaju istočnije od Sladaje (Čukarica 586 m nv, Kosa 544 m) i ceo teren je generalno nagnut prema jugu, odnosno ka klisuri Resave.

Najniži delovi terena u basenu su zastupljeni duž klisura reka koje protiču njime. Dolina Resave ima nadmorsku visinu od približno 260-300 m, a Resavica od 310-400 m. Obimnim rudarskim radovima u ovom basenu, uslovljeni su procesi sleganja terena, a posebno su uočljivi u području Sladaje, Ravne Reke i Senjskog Rudnika.

U *krepoljinskom basenu* je zastupljen brdoviti teren sa nadmorskim visinama koje se kreću od okvirno 210 m, pa do preko 590 m (slika 36.). Najviše vrhove čine Rudine (591 m nv), Bliznačko brdo (515 m nv) i dr. Najniži delovi terena se sreću duž krečnjačkih useka Blizničke reke, Jasenovačkog i Suvog potoka, sa nadmorskom visinom koja se kreće od oko 210-250 m.



Slika 36. Izgled brdovitog terena u području rudnika „Jasenovac“
(foto B.Miladinović)

U karstnim delovima terena krepoljinskog basena, zastupljene su skaršćene doline Bliznačke i Medveđičke reke, koje su često jako strme i predstavljaju vertikalne odseke.

Kod terena koji su izgrađeni od permskih peščara, izraženi su procesi mehaničkog raspadanja stena, površinskog spiranja i jaružanja, što terenu daju zaobljene brdovite forme, koje su ispescane brojnim vododerinama i jarugama.

Bogovinski basen odlikuje blago brdoviti reljef koji je generalno uzevši, nagnut od severozapada prema jugoistoku, odnosno prema rečnoj dolini Crnog Timoka (slika 20.). Hipsometrijski viši severni i severozapadni deo basena, ima nadmorsku visinu oko 370 m, a dolinom Crnog Timoka od 190 do približno 210 m nv.

U basenu je najizraženiji fluvijalni proces, ali zastupljen je i proces spiranja i denudacije. Najznačajniji oblik reljefa u basenu čini prostrana zatalasana površ koja je formirana između dolina Crnog Timoka i Zlotske reke. U zapadnom delu basena, odnosno u području starih rudarskih radova kod sela Bogovina, izražen je proces sleganja terena, posebno u širem području rudarskog okna br.7. Deformacije tla na površini terena, manifestovane su pukotinama i stvorenim manjim lokalnim depresijama. Ovi prostori pogoduju povećanoj infiltraciji padavina, a neki su ispunjeni površinskom vodom i obrasli barskom vegetacijom.



Slika 37. Ulaz u Bogovinsku pećinu
(foto B.Miladinović)

Obzirom da zapadni obod basena izgrađuju karbonatne stene mezozoika, u tom delu terena je dominantna karstna erozija. Step en karstifikacije je duboko zahvatio karstni masiv, a najznačajnije obeležje mu daje Bogovinska pećina, sa ulazom koji se nalazi neposredno uz zapadni obod bogovinskog basena (k.268,3), slika 37.

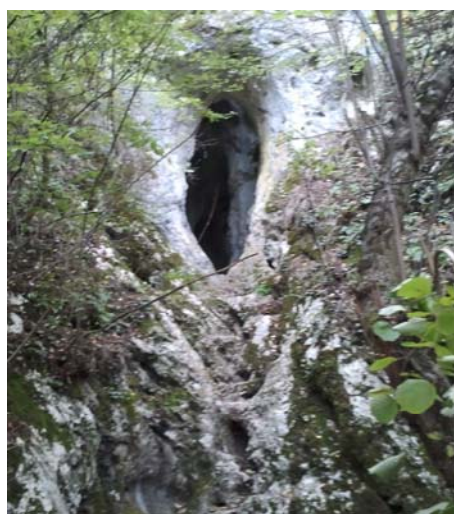
Glavni kanal pećine je prohodan na dužini od 2650 m i ima generalni pravac pružanja ZSZ-IJI. Pećinskim kanalom povremeno teče izdanski tok koji pri manjim proticajima ponire u blizu izlaza iz pećine. Pri većim vodostajima, podzemne vode ističu iz pećine u vidu karstnog vrela.

Sokobanjski basen karakteriše blago brdoviti teren, koji je generalno od severa, severoistoka i istoka, nagnut ka zapadu, odnosno jugozapadu. Najniži delovi terena u području basena se nalaze duž toka reke Izgare (370-400 m nv), koja protiče njegovim južnim obodom. Nizvodno od zaseoka Istoci, nadmorska visina basena opada i duž zapadnog oboda se kreće oko 255 m.

U basenu je izražena fluvijalna erozija i procesi spiranja i jaružanja. Blago brdoviti teren sokobabjskog basena, ispresecan je brojnim površinskim tokovima

koji su duboko usekli svoja korita u neogene sedimente, generalno od severa ka jugu, odnosno upravno na pružanje basena.

U neposrednoj okolini rudnika „Soko“, a posebno južno od sela Čitluk u pravcu Suve reke, prisutni su procesi sleganja terena. Brojni ožiljci na terenu koji su se javili usled ranijih otkopavanja uglja u tom delu, uslovljavaju intenzivniju infiltraciju vode od padavina, pa su padine podložne i procesu klizanja.



Slika 38. Pećinski kanal u neposrednom području izvorišta vrela Moravice (foto B.Miladinović)

Tereni oboda sokobanjskog basena se odlikuju pretežno karstnim reljefom, gde se sreću krečnjački odseci u području planinskih masiva Device, Krstatca i Tumble (slika 24.), zatim vrtače i uvale na Devici, klisura Izgare i Tisovika (Skrobnička klisura), klisuraste doline Crnobarskog i Urdeškog potoka. Na Devici postoji više manjih pećina, a jedna od njih se nalazi u neposrednoj zoni izvorišta vrela Moravice, kod rudnika „Soko“ (slika 38.).

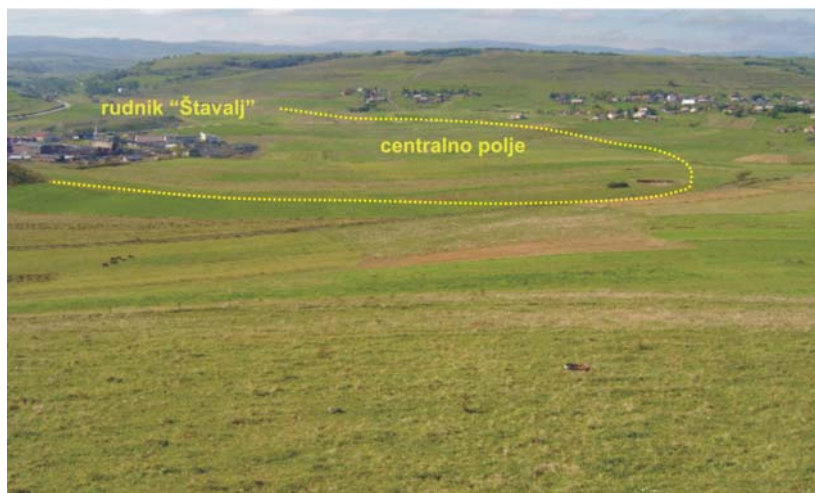
Na Krstatcu su posebno poznate dve pećine i to pod nazivom Bogova Vrata i Novakovci. Navedeni karstni geomorfološki oblici, ukazuju na značajnu skaršćenost karbonatnih mezozojskih stena koje čine obod sokobanjskom basenu.

Sjeničko-štavaljski basen predstavlja blago zatalasanu visoravan, koja je formirana u tektonskoj potolini starijeg paleoreljefa. U centralnom delu basena (područje rudnika „Štavalj“), nadmorska visina terena se kreće 1050-1070 m (slika 39.). U istočnom delu basena, reljef je nešto izraženiji i dostiže u proseku nadmorsku visinu od oko 1200 m kao u području Brnjice, Sušice i Duge Poljane.

Za ovaj deo basena, veoma je karakterističan fluvijalni tip reljefa, dok je u ostalom delu basena zastupljen eluvijalni tip sa preovlađujućim eluvijalnim procesom (Zeremski 1969).

Neposredni severni-severozapadni i južni-jugoistočni obod basena, izgrađuju karbonatne stene trijasa u kojima je razvijen karstni reljef. Pored strmih krečnjačkih odseka i vrtačastih udubljenja koje se sreću u karstnom reljefu, formirane su i klisure Brnjičke, Žitničke i reke Kamešnice, kao i fosilna klisurasta dolina Vrela i drugih manjih tokova severno od Štavlja i Stupa.

Da se proces karstifikacije spustio duboko ispod lokalnih erozionih bazisa, ukazuju ponori koji se sreću u koritu Brnjičke reke u lokalnosti *Hajka* (jugozapadno od Brnjice, slika 28.) ili ascedentni tip pojave vrela Vape u zaseoku Gradac.



Slika 39. Pogled na centralno polje ležišta uglja „Štavalj“
(foto V.Lojanica)

U obodnim terenima basena, gde su zastupljene stene dijabaz-rožnačke formacije i paleozojika, reljef je znatno morfološki izraženiji, usled znatno veće otpornost ovih stena na eroziju. U ovim terenima, dominantan je proces mehaničkog raspadanja stena i spiranja.

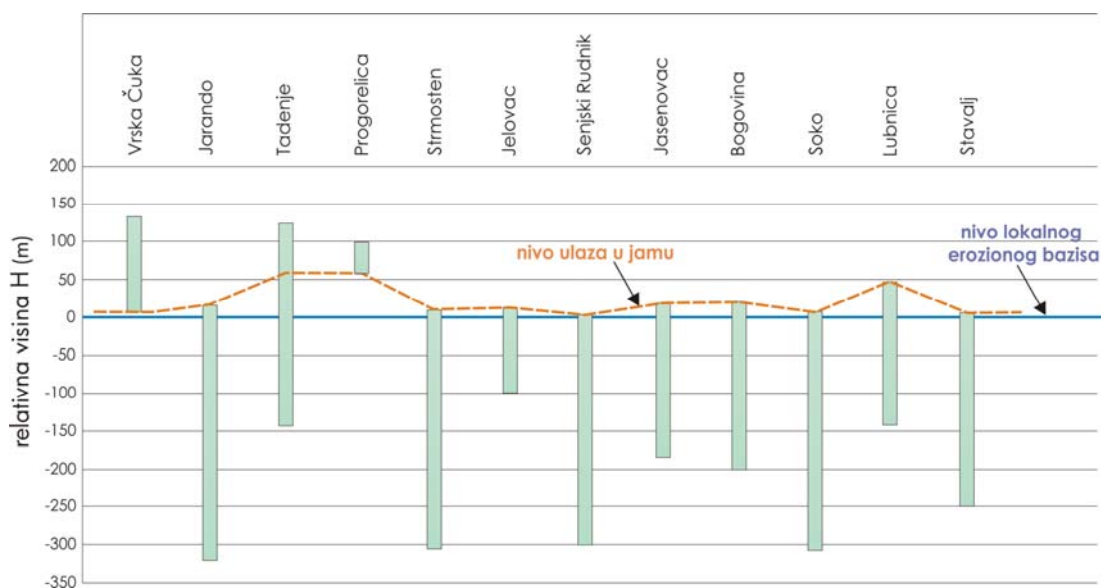
Zvezdansko-lubnički basen u geomorfološkom pogledu, odlikuje brdoviti reljef, sa istaknutim vrhovima koji se sreću u zapadnom delu basena (brdo Obrštur 369 m nv, Kulmea 355 m nv i dr.). Generalno, basen ima pad od zapada prema istoku, odnosno prema Belom Timoku, tako da je to i predisponiralo pravac toka Lubničke reke koja protiče središnjim delom basena.

U geomorfološkom pogledu, u basenu je izražena fluvijalna erozija, kao i procesi spiranja i jaružanja. Zbog slabe otpornosti miocenskih tvorevina prema eroziji, brdoviti teren zvezdansko-lubničkog basena ima zaobljen reljef, koji je ispresecan duboko usečenim tokovima Lubničke i Planiničke reke. U obodnim terenima basena, gde su zastupljene vulkanske stene senona, reljef je znatno strmiji, pošto postoji veća otpornost stena na eroziju.

Uzevši u celini, u najvećem broju slučajeva, geomorfološki faktori su različito ispoljeni u pogledu ovodnjenosti analiziranih ležišta uglja.

Ležište antracita „Vrška Čuka“ je otvoreno za eksploataciju potkopom TH-1 iz doline Avramičkog potoka sa k.205. Najdublji rudarski radovi su izvedeni do k.37,2 što je preko 160 m ispod nivoa ulaza u jamu.

U sadašnjim uslovima, rudarski radovi u ugljonosnom reonu „Mala Čuka“, izvode se hipsometrijski iznad lokalnog erozionog bazisa Avramičkog potoka (slika 40).



Slika 40. Hipsometrijski opseg položaja rudarskih prostorija rudnika kamenih i mrkih ugljeva Srbije, u odnosu na lokalni erozioni bazis

U odnosu na nivo potkopa TH-1 (k.205), sve aktivne rudarske prostorije su izrađene iznad ovog nivoa i u narednom periodu će se izvoditi do k.330.

U ibarskom basenu, uticaj geomorfoloških faktora je ispoljen na ovodnjenost ležišta uglja „Jarando“. Rudarski radovi se izvode hipsometrijski ispod lokalnog erozionog bazisa reke Ibar (k.380) i njene leve pritoke Jarandolskog potoka (slika 40.).

Ležište je otvoreno za eksploataciju niskopom GTH-1 sa k.400, a najdublji rudarski radovi su izvedeni do k.60, što je oko 320 m hipsometrijski ispod korita Ibra.

Ležište uglja „Tadenje“ je otvoreno potkopom sa k.493,21 što je iznad lokalnog erozionog bazisa reke Raduše preko 60 m. Uskopima, rudarske prostorije su izrađivane do k.551,5 a najdublji rudarski radovi su se izvodili do k.287,11 što iznosi hipsometrijski preko 140 m, ispod lokalnog erozionog bazisa.

U ugljonosnom polju „Progorelica“, ugljeni horizon se nalazi hipsometrijski iznad lokalnog erozionog bazisa reke Raduše, tako da se površinska eksploatacija uglja u ovom ležištu, odvija u povoljnim geomorfološkim uslovima.

U „resavsko-moravskom“ basenu, rudarski radovi u severnim ugljonosnim revirima („Strmosten“, „Jelovac“), izvode se duboko ispod nivoa korita Resave. Samo u području ležišta „Strmosten“, rudarski radovi se izvode nešto preko 300 m hipsometrijski ispod korita Resave, a u području ležišta „Jelovac“, oko 100 m. Kako ova reka protiče neposredno po obodu navedenih ležišta i to po karstnoj podlozi, ostvareni su veoma povoljni uslovi za infiltraciju površinskih voda i njen uticaj na ovodnjenost ležišta (slika 40.).

Okolnosti su slične i za ležišta uglja u južnom delu basena. Ležište „Senjski Rudnik“, sreće se sa nepovoljnim hipsometrijskim položajem u odnosu na tok Ravanice, koji je formiran po karstnom masivu Stenke. U ovom rudniku, rudarski radovi se izvode i preko 300 m ispod nivoa reke Ravanice. Posebne nepovoljnosti u ovom ležištu se sreću u starom delu jame, gde su rudarski radovi izvedeni hipsometrijski ispod alohtonih jurskih krečnjaka Stenke, odnosno oko 150 m ispod korita Ravanice.

U „krepoljinskom“ basenu, ležište uglja „centralno polje“, otvoreno je za eksploataciju iz pravca severa potkopom GIP (k.264,06) i iz pravca istoka niskopom GVH-1 (k.409,94). Rudarski radovi u jami se najdublje izvode na k.180, tako da je to u odnosu na GIP, hipsometrijski niže od preko 80 m, odnosno oko 180 m u odnosu na lokalni erozioni bazis Jasenovačkog potoka, koji protiče istočnim obodom ležišta (slika 40.).

U „bogovinskom“ basenu, geomorfološki faktori dolaze do izražaja, obzirom da je ležište „istočno polje“, formirano duboko ispod lokalnih erozionih bazisa Bogovine reke i Crnog Timoka. Ležište je otvoreno za eksploataciju niskopom GTN (k.223,93), a najdublji rudarski radovi u jami su izvedeni do k.-4,9 (TN-19), a to je oko 210 m hipsometrijski niže u odnosu na lokalni erozioni bazis Bogovinske reke.

U „sokobanjskom“ basenu, ležište uglja ima jako nepovoljan morfološki položaj u odnosu na korito reke Izgare. Za eksploataciju centralnog i zapadnog dela, ležište je otvoreno rudarskim oknom (k.395), a za potrebe buduće eksploatacije istočnog dela ležišta, izrađen je niskop GTN-1 (i u nastavku GTN-2), i to hipsometrijski ispod korita reke Izgare (k.397).

U zapadnom delu ležišta (otkopno polje OP-4), rudarski radovi su izvođeni do k.-78,5 što je hipsometrijski ispod toka Izgare preko 310 m (slika 40.).

U „sjeniĉkom” basenu, geomorfološki faktori imaju jako izraŹeni uticaj na ovodnjenost ležišta. Obzirom da se radi o visoravni sa blago zatalasanim terenom, infiltracija voda od padavina je intenzivna, a površinski oticaj smanjen. U okviru tako relativno zaravnjenom terena, ležište uglja je formirano duboko ispod lokalnog erozionog bazisa reke Knešnice koja protiče neposredno juŹnim obodom ležišta „centralno” polje u kome se trenutno obavlja eksploatacija uglja. Ležište je otvoreno za eksploataciju niskopom GIN-1 (k.1050,7), što je oko 5 m iznad lokalnog erozionog bazisa reke Knešnice. Najdublji rudarski radovi u jami su izvođeni na k.790, što je hipsometrijski preko 250 m ispod korita ove reke (slika 40.).

Lešiete uglja „Lubnica” ima nepovoljan poloŹaj u odnosu na Lubniĉku reku, koja je formirala svoj tok generalno duŹ severnog oboda ležišta. Za potrebe trenutne eksploatacije uglja u reviru Osojno-jug, ležište je otvoreno niskopom GTN (k.246,05). Najdublji rudarski radovi u ovom delu ležišta su izvođeni do k.61,7), što je preko 135 m hipsometrijski ispod korita Lubniĉke reke.

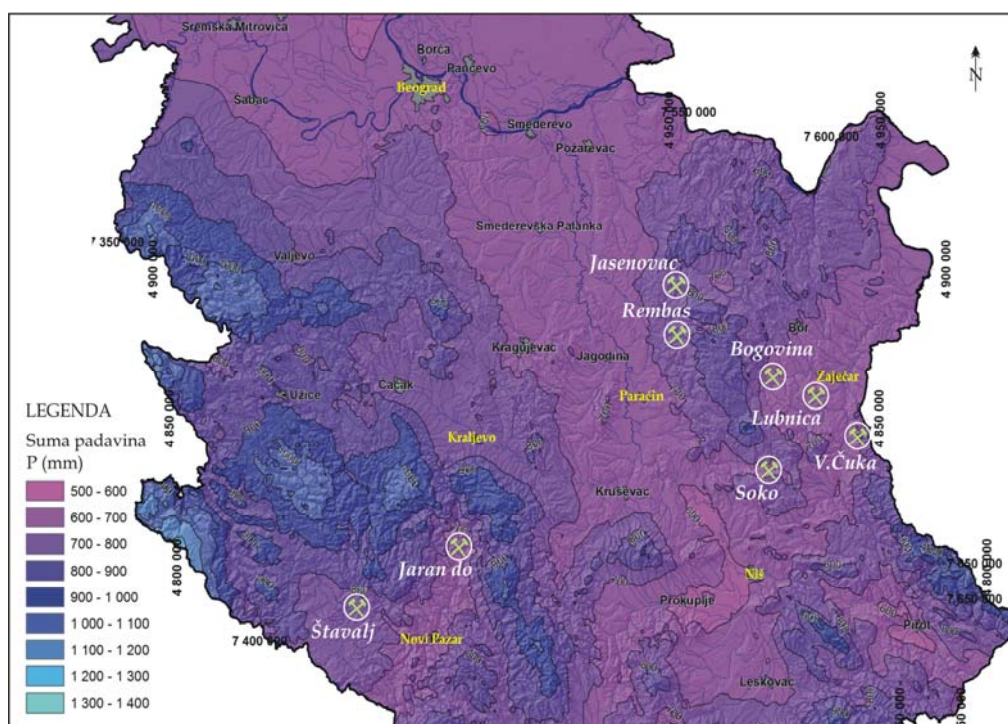
Kao što se iz datog prikaza moglo videti, trenutno se eksploatacija uglja iz ležišta kamenih i mrkih ugljeva Srbije, odvija u najvećem broju sluĉajeva u jako nepovoljnim morfološkim uslovima, obzirom da se rudarskim radovima vrši eksploatacija delova ležišta koji se nalaze duboko ispod lokalnih erozionih bazisa. Na taj naĉin, stvoreni su uslovi za povećane prilive rudniĉkih voda u rudarske radove i to na raĉun infiltracije površinskih voda, kao i direktnog dreniranja podzemnih voda iz pojedinih hidrogeoloških struktura. U tom pogledu, posebno karakteriše „štavaljski” basen sa zaravnjenim terenom, kod koga postoji usporeni površinski oticaj.

Izuzetak od navedenog ĉini ležište antracita u ugljonosnom basenu „Vrške Ćuke” i kamenog uglja u ležištu „Progorelica” (Ibarski rudnici), obzirom da se eksploatacija odvija iznad lokalnih erozionih bazisa.

3.1.1.2. Uticaj klimatskih faktora na ovodnjenosti ležišta uglja

U najvećem delu Srbije, klima je umereno kontinentalna, s tim da u planinskim predelima sa nadmorskom visinom preko 1000 m, vlada planinska klima s kratkim sveŹim letima i oštrim dugim zimama.

Padavine su neravnomerno rasporedjene i to zaviso od nadmorske visine. Prema podacima „Hidrometeorološkog zavode Srbije“ za period od 1946-2006. godine, godišnje sume padavina u nižim predelima (u posavini, podunavlju, dolinom Morave, negotinskoj niziji), iznose u proseku do 700 mm vs, a u područjima sa nadmorskom visinom preko 1000 m, kreću se od 800-1000 mm (slika 41.). Na najvišim planinskim vrhovima jugozapadne Srbije, padavine mogu iznositi i do 1400 mm vodenog stuba.



Slika 41. Karta prosečnih godišnjih padavina u centralnom delu Srbije za period 1946.-2006. god.

(po podacima Vodoprivredne osnove R.Srbije u pripremi)

Prosečne godišnje temperature vazduha, zavise su takođe od nadmorske visine terena i za razmatrani period od 1946-2006. god., prema podacima „Hidrometeorološkog zavoda Srbije“, kretale se oko $T = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ za područja sa nadnorskom visinom do 300 m, oko $9\text{ }^{\circ}\text{C}$ za terene od 300-500 m nv, zatim oko $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ u planinskim predelima preko 1000 m nv i na visinama preko 1500 m oko $3\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Pojava snežnog pokrivača je vezana najčešće za period od novembra do marta ili od oktobra do aprila, dok ga na planinama iznad 1000 m nv, može biti i tokom ostalih meseci.

Vetrovi koji preovladjuju tokom toplijeg dela godine, dolaze sa severozapada i zapada. Prema podacima „Hidrometeorološkog zavoda Srbije“, na jesen i tokom zime, najčešće duva istočni i jugoistočni vetar (košava), koji donosi vedro i suvo vreme. U planinskim predelima, na jugozapadu Srbije, preovladjuju vetrovi sa jugozapada.

Od svih prikazanih klimatskih faktora, padavine se obično najdirektije odražavaju na prilive rudničkih voda.

Kako se većina rudnika kamenih i mrkih ugljeva u Srbiji, nalazi u međuplaninskim depresijama (izuzimajući lijaske antracite „Vrške Čuke“), time su obuhvaćeni relativno umerenim padavinama. Rudnici „Vrška Čuka“, „Lubnica“, „Bogovina“, „Soko“ i „Ibarski rudnici“, nalaze se u područjima gde se prosečne višegodišnje sume padavina, kreću do 700 mm, a rudnici „Rembas“-a, „Jasenovac“ i „Štavajl“ se nalaze u područjima gde su padavine u proseku do 800 mm vs.

Za područje *rudnika „Vrška Čuka“*, uticaj padavina na prilive rudničkih voda je najkarakterističniji primer, obzirom da se rudarski radovi izvode u delu ležišta „Mala Čuka“, koje je formirano iznad lokalnog erozionog bazisa Avramičkog potoka. U aktivnim rudarskim prostorijama, prilivi se javljaju iz krovinskih pešćara.

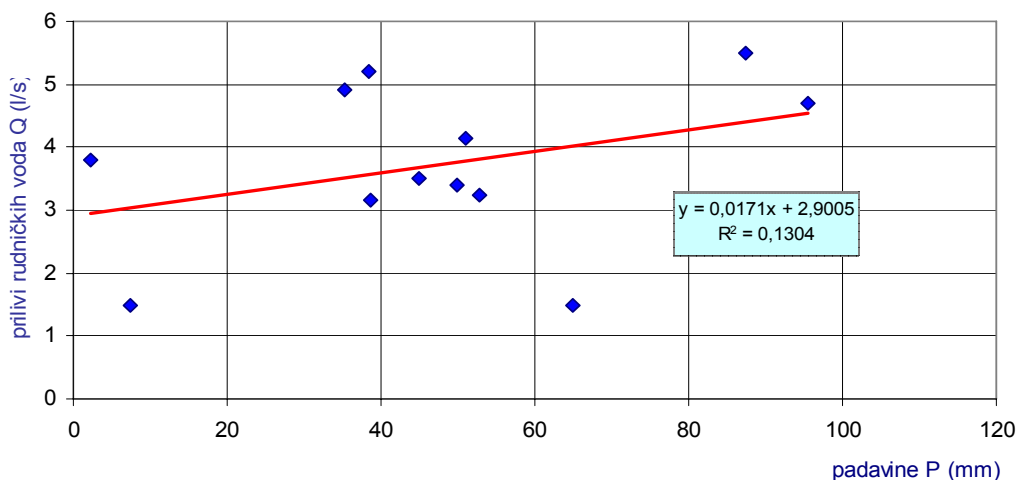
U području ovog ležišta, padavine su razmatrane za period od 1990.-2006. godine i prema podacima „Hidrometeorološkog zavoda Srbije“, u proseku su iznosile 556,3 mm (kao godišnja suma padavina), tabela 6. Za navedeni period, mesec juli u proseku ima najviše padavina 58,2 mm, a tokom zimskih meseci februar i mart, padavine su najniže i kreću se u proseku 30,2 mm (tabela 6.).

Tabela 6. Prosečne višegodišnje sume mesečnih padavina (mm vs) na kišomernoj stanici „Zaječar“ (144 m nv) za period 1990.-2006. god.

1990/2006	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ΣP_{sr}
P_{sr}	35,0	30,2	30,2	55,8	51,7	55,9	58,2	51,2	49,5	45,9	39,5	53,1	556,3
σ	22,4	19,9	20,2	22,5	18,3	26,0	36,3	49,5	33,9	35,2	25,9	31,0	112,1
C_v	0,6	0,7	0,7	0,4	0,4	0,5	0,6	1,0	0,7	0,8	0,7	0,6	0,2
C_s	0,9	1,0	0,3	0,4	-0,1	0,0	0,4	1,3	0,4	1,4	0,6	0,6	-0,4

Na osnovu podataka o srednjemesečnim prilivima rudničkih voda koji su se javili u rudarske radove jame „Vrška Čuka“ u toku 1991. godine, izvršena

je korelaciona analiza ovih podataka sa sumom mesečnih padavina koje su registrovane na kišomernu stanicu "Zaječar" (slika 42.).



Slika 42. Korelacioni dijagram zavisnosti srednje mesečnih priliva rudničkih voda u jamu rudnika "Vrška Čuka" od sume mesečnih padavina na k.s. „Zaječar“ za period I-XII.1991. godine

Sprovdenom statistikom, dobijeni koeficijent korelacije ($R=0,36$) je testiran Studentovim - T testom i ovim je potvrđeno nepostojanje korelacije ($r=0$), pošto je $|t|=1,22 < T_{5\%,10}=1,812$, odnosno visina izlučenih padavina u toku meseca na širem području ležišta uglja, ne odražava se na promenu veličine priliva rudničkih voda u rudarske radove rudnika "Vrška Čuka".

Ovako dobijeni podaci ukazuju na slaba kolektorska svojstva lijaskih peščara koji se nalaze povlati ležišta antracita, tako da se propagacija padavina, jako slabo odražava na promene veličine priliva rudničkih voda u rudarske radove.

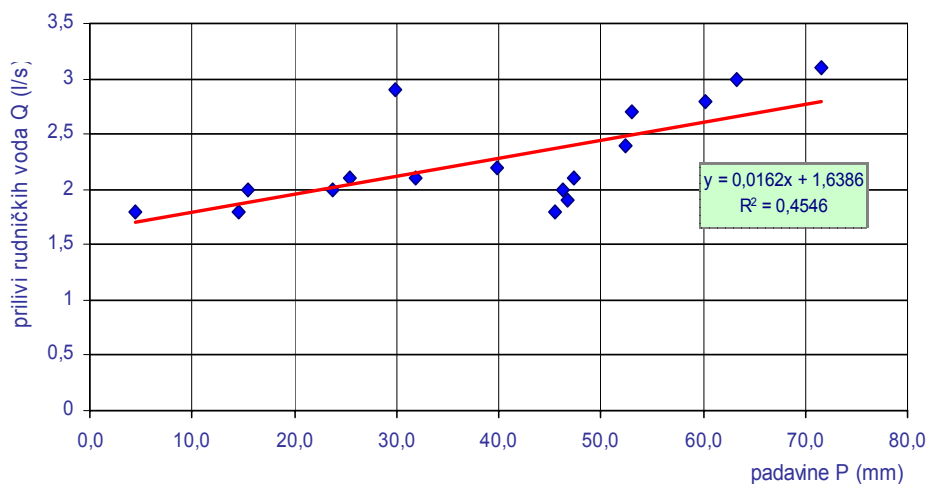
U širem području ležišta „Jarando“ (Ibarski rudnici), zastupljena je kontinentalno-planinska klima sa stalnim prodorima vlažnih i hladnih vazdušnih masa sa Golije, Kopaonika i Željina. Najniže temperature se sreću tokom januara i februara meseca, a najviše u periodu jul-avgust. Prosečne višegodišnje sume padavina za period 1990.-2006. god., iznose 549,2 mm vodenog stuba, registrovane na kišomernoj stanici „Ušće“ (tabela 7.).

U području ležišta uglja „Jarando“, režim padavina se odražava na veličinu priliva rudničkih voda. Ovaj uticaj je konstatovan u plićim delovima ležišta („stara jema“) iz kojih rudničke vode ističu gravitaciono duž potkopa „Baljevac“.

Tabela 7. Prosečne višegodišnje sume mesečnih padavina (mm vs) na kišomernoj stanici „Ušće“ (335 m nv) za period 1990.-2006. god.

1990/2006	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ΣP_{sr}
P_{sr}	30,8	35,3	39,6	49,5	58,6	56,8	56,6	45,5	53,5	41,8	41,7	39,4	549,2
σ	23,0	15,3	22,3	24,3	35,3	36,6	36,4	30,8	40,0	26,2	22,2	19,5	124,5
C_v	0,7	0,4	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,6	0,5	0,5	0,2
C_s	1,2	0,3	0,5	0,4	1,8	1,7	1,1	0,6	2,1	0,3	0,8	-0,2	0,5

Na osnovu njihovog svođenja na srednjemesečni nivo i sume mesečnih padavina koje su registrovane na kišomernu stanicu „Ušće“ (335 m nv), izvršena je korelaciona analiza ovih promenljivih (slika 43.).



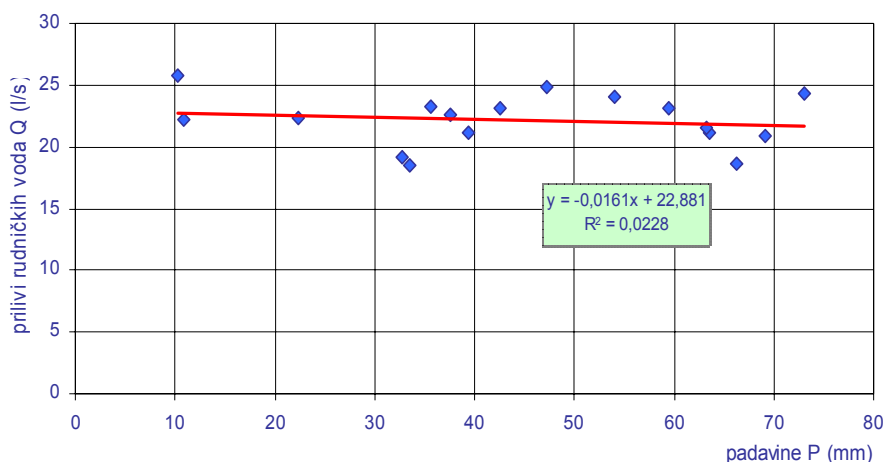
Slika 43. Korelacioni dijagram zavisnosti srednjih mesečnih priliva rudničkih voda u „staroj jami Jarando“ od sume mesečnih padavina na kišomernoj stanici „Ušće“ za period X.2001.-II.2003. godine

Sprovedenom statistikom i testiranjem koeficijenta korelacije ($R=0,674$) primenom Studentovog-T testa, potvrđena je korelaciona zavisnost obzirom da je ($|t=3,534| > T_{5\%,15}=1,753$), odnosno da visina izlučenih padavina u toku meseca na širem području ležišta uglja, ima uticaj na prilive u „staroj jami“ rudnika „Jarando“.

U dubljim delima jame „Jarando“ (k.60), javljaju se relativno ujednačeni prilivi rudničkih voda, na koje padavine nemaju direktan uticaj.

Tokom rudarskih radova na k.211,8 bili su izazvani iznenadni prilivi 21.04.1982. godine, koji su usloveli potapanje jame. Nakon intenzivnog dreniranja, od septembra 1983. godine, prilivi su se značajno ujednačili. U cilju provere uticaja padavina u periodu od septembra 1983., do januara 1985.

godine na registrovane prilive, izvršena je korelaciona analiza ovih promenljivih (slika 44.).



Slika 44. Korelacioni dijagram zavisnosti srednjih mesečnih priliva rudničkih voda na k.211,8 m u jami "Jarando" od sume mesečnih padavina na kišomernoj stanici „Ušće“ za period IX.1983.-I.1985. god.

Sprovedenom statistikom, utvrđena je negativna potpuna korelacija ($0 > r > -1$), što ukazuje da nema pouzdane povezanosti između veličine padavina na količinu priliva koji su konstatovani u jami "Jarando" na k.211,8.

Za područje *resavsko-moravskog basena*, analiza režima padavina je izvršena za dve kišomerne stanice koje se nalaze u samom basenu i to: k.s. „Strmosten“ 380 m nv i k.s. „Senjski Rudnik“ 600 m nv.

Analizom podataka o srednjemesečnim i ukupnim godišnjim visinama padavina za vremenski period 1970.-1991. god., ukazuju da su preseku tokom maja i juna meseca, padne najobimnije (tabela 8.).

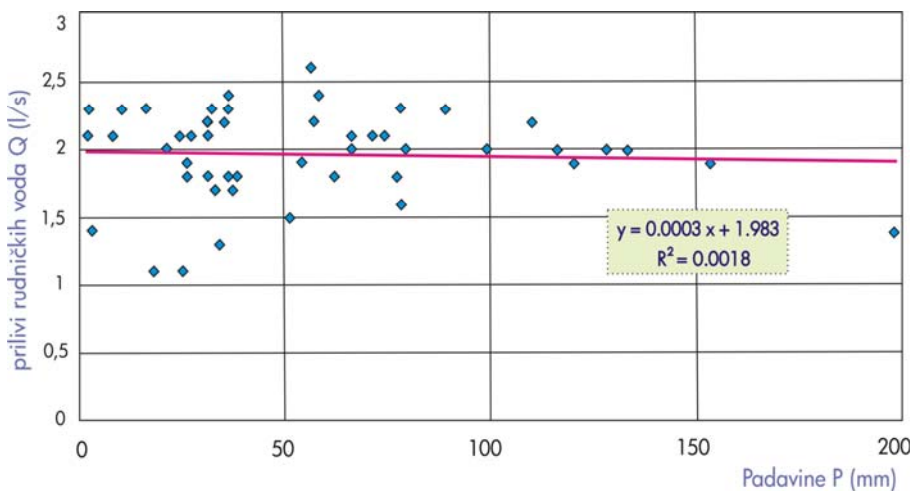
Tabela 8. Prosečne višegodišnje sume mesečnih padavina (mm vs) na kišomernoj stanici „Strmosten“ (380 m nv) i „Senjski Rudnik“ (600 m nv) za period 1970.-1991. god.

Kišomerna stanica	P_{sr}												ΣP_{sr}
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Strmosten	67	68	56	63	99	96	92	67	66	53	62	49	719
Senjski Rudnik	54	55	56	58	94	102	73	61	58	43	63	52	765

Za obe analizirane kišomerne stanice, karakteristično je da se u proseku za period 1970.-1991. god., tokom oktobra meseca, izluči najmanje padavina. Na

kišomernoj stanici „Strmosten“, ovaj prosečni minimum iznosi 53 mm vodenog stuna, a na kišomernoj stanici „Senjski Rudnik“, 43 mm (tabela 8.)

U cilju sagledavanja uticaja i stepena povezanosti između prikazanih veličina padavina i priliva koji se javljaju iz krečnjaka u rudarske radove na k.45 jame “Strmosten”, utvrđena je negativna potpuna korelacija ($0 > r > -1$), koja ukazuje da ne postoji pouzdana povezanost, između ovih veličina (slika 45.).

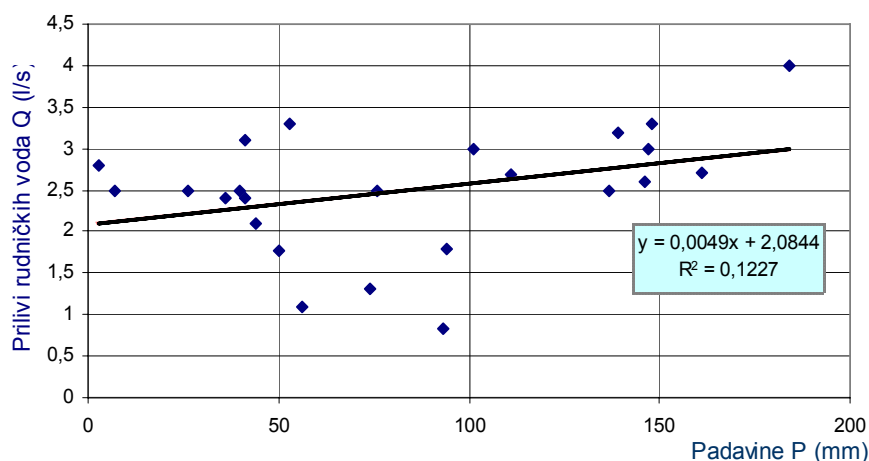


Slika 45. Korelacioni dijagram zavisnosti srednje mesečnih priliva rudničkih voda na k.45 jame „Strmosten“ od sume mesečnih padavina na k.s.“S.Rudnik” za period 1986-1988. i 1991. god.

Ovom analizom je obuhvaćen vremenski period od 4 godine (1986,1987,1988. i 1991.), a zbog nekompletnosti podataka o visini padavina sa kišomerne stanice „Strmosten“, korišćeni su podaci sa najbliže kišomerne stanice „Senjski Rudnik“.

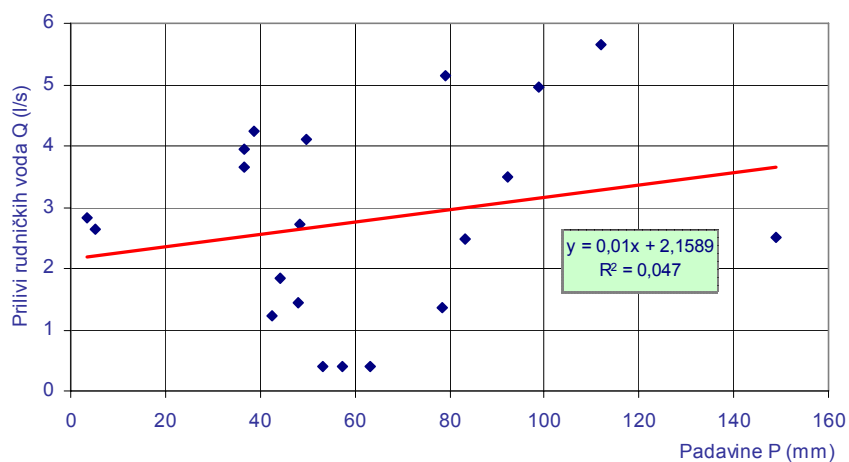
U starom delu jame “Jelovac”, dok su se tokom 1974/1975. godine, izvodili rudarski radovi u plicem delu ležišta (k.226), veličina priliva rudničkih voda je bila zavisna od padavina. Ovo je potvrđeno korelacionom analizom kojom je dobijen koeficijent korelacije $R=0,35$ i primenom Studentovog-T testa, utvrđeno da je ($|t|=1,75 > T_{5\%,22}=1,717$), slika 46.

U dubljim delovima jame „Jelovac“, prilivi rudničkih voda koji se javljaju u niskopu GTN-1 na k.209 (prostorija koja je potopljena), potvrđeno je da je veza statistički beznačajna ($|t|=0,93 < T_{5\%,18}=1,734$), odnosno da prilivi u GTN-1 jame “Jelovac”, ne zavise od klimatskih faktora (slika 47.).



Slika 46. Korelacioni dijagram zavisnosti srednje mesečnih priliva rudničkih voda na k.226 jame „Jelovac“ od sume mesečnih padavina na k.s.“S.Rudnik” za period 1974.-1975. god.

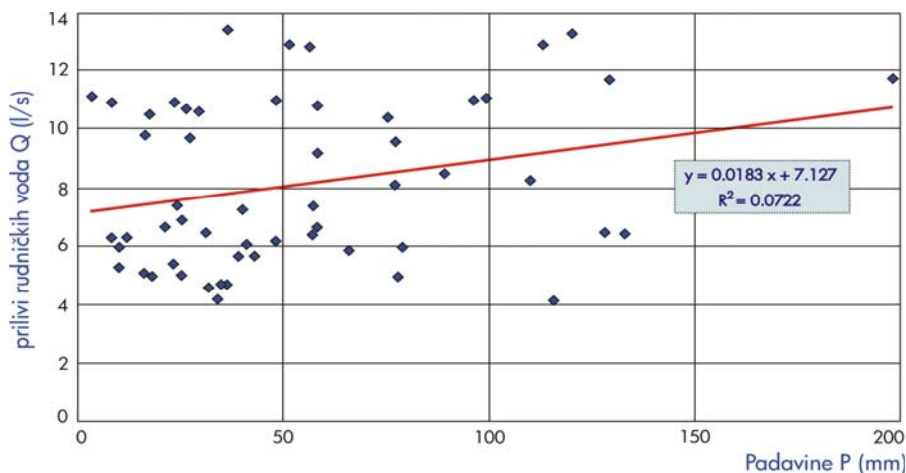
Ovako dobijeni podaci, ne mogu se ipak smatrati pouzadanim, obzirom na veliku udaljenost klimatološke stanice „Ćuprija“, sa koje su se koristili podaci za padavine.



Slika 47. Korelacioni dijagram zavisnosti srednje mesečnih isticanja rudničkih voda iz GTN-1 (k.209) jame „Jelovac“ od sume mesečnih padavina na k.s.“Ćuprija” (2003.-2006.).

Za jamu „Senjski Rudnik“, bilo je jako značajno sagledati uticaj padavina na prilive koji se javljaju u rudarskoj prostoriji “krovna galerija” k.383, obzirom da se oni javljaju iz jurskih krečnjaka Stenke. Korelaciona analiza je urađena za vremenski period 1987-1991., s tim da prilivi nisu konstantno mereni u ovom periodu. Na osnovu koeficijenta korelacija koji je dobijen proračunom $R^2=0,0722$

(slika 48.) i njegovim testiranjem *Studentovim-T testom*, utvrđena je beznačajna korelaciona veza ($|t|=0,287| < T_{5\%,46}=1,680$), koja potvrđuje da prilivi u “krovnoj galeriji”, ne zavise od klimatskih faktora.



Slika 48. Korelacioni dijagram zavisnosti srednje mesečnih priliva rudničkih voda u krovnoj galeriji „Senjskog Rudnika” (k.383) od sume mesečnih padavina za period 1987/1991. god.

Ovako dobijeni rezultati, ukazuju da klimatski uticaji (pre svega padavine), treba razmatrati indirektno, odnosno kao najznačajniji izvor prihranjivanja podzemnih i površinskih voda, a one zavisno od konkretnih hidrogeoloških uslova, mogu imati veći ili manji uticaj na ovodnjenost ležišta.

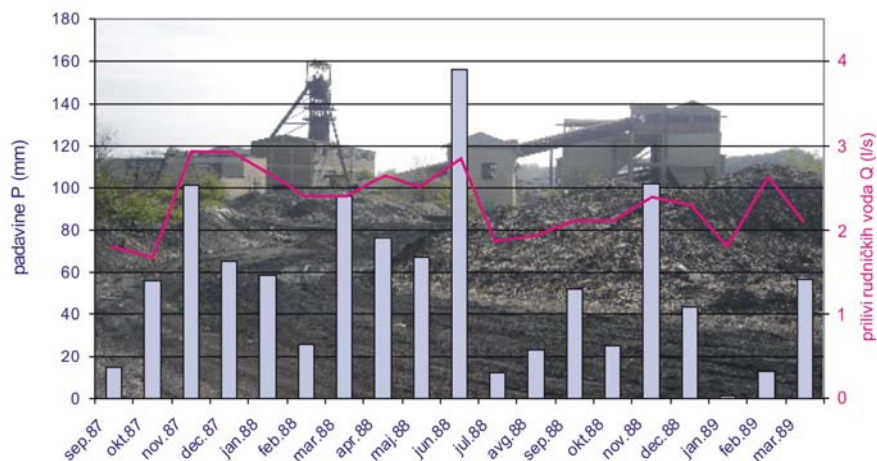
Područje bogovinskog basena u kome se nalazi *rudnik „Bogovina”*, karakteriše umereno kontinentalna klima sa prelazom ka planinskoj. Odras ovom klimatu, u najvećoj meri daju obližnji planinski masivi Kučaja i Rtnja.

Za analizirani vremenski period od 1990.-2006. god., prosečne sume godišnjih padavina su iznosile 636,8 mm vs (tabela 9.). U toku godine, u proseku najmanje padavina se izluči u februaru i martu i to od 34,4-38,6 mm vs, a najkišovitiji mesec je juni i juli kada se u proseku izluči 64,9-69,9 mm vs (tabela 9).

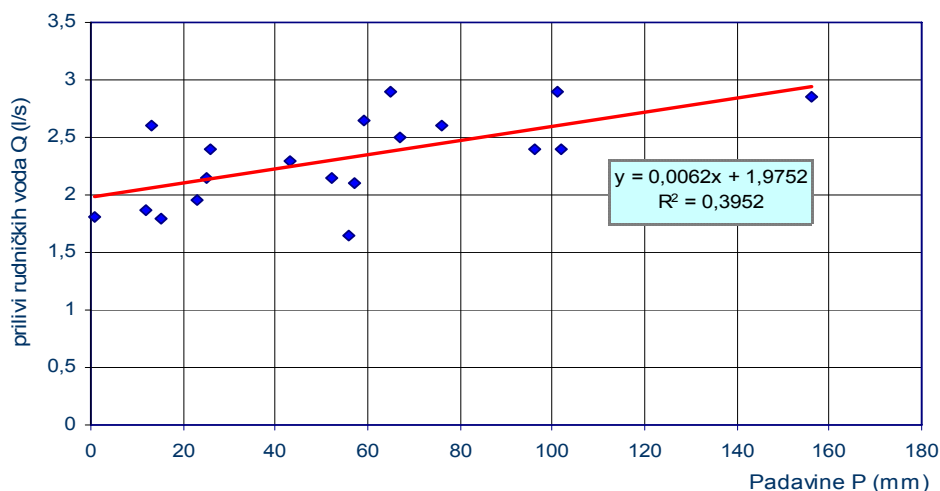
Tabela 9. Prosečne višegodišnje sume mesečnih padavina (mm vs) na kišomernoj stanici „Boljevac” (300 m nv) za period 1990.-2006. god.

1990./2006.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ΣP_{sr}
P_{sr}	51.0	38.6	34.4	56.5	49.4	69.9	64.9	47.8	56.5	55.5	56.1	56.1	636.8
σ	28.3	23.2	28.6	26.0	23.9	35.1	51.3	38.8	27.0	42.8	28.8	30.7	158.6
C_v	0.6	0.6	0.8	0.5	0.5	0.5	0.8	0.8	0.5	0.8	0.5	0.5	0.2
C_s	-0.1	0.6	1.2	1.3	0.2	0.1	1.7	0.9	-0.2	0.8	1.0	1.2	0.7

Na osnovu podataka o srednjemesečnim prilivima rudničkih voda u ventilacionom oknu (VO) jame „Bogovina“-istočno polje za period od IX.1987. – III.1989. godine (slika 49.) i podataka o sumi mesečnih padavina sa kišomerne stanice „Boljevac“, izvršena je korelaciona analiza ovih promenljivih (slika 50.).



Slika 49. Uporedni dijagram sume mesečnih padavina na kišomernoj stanici "Boljevac" i srednje mesečnih priliva rudničkih voda u VO jame "Bogovina"-istočno polje



Slika 50. Korelacioni dijagram zavisnosti srednjih mesečnih priliva rudničkih voda u VO jame rudnika "Bogovina" - istočno polje od sume mesečnih padavina na kišomernoj stanici „Boljevac“ za period IX..1987.-III.1989. godine

Sprovedenom korelacionom analizom ovih promenljivih i testiranjem dobijenog koeficijenta korelacije ($R=0,63$) studentovim - T testom, potvrđena je korelaciona zavisnost ($|t=3,33| > T_{5\%,17}=1,74$), odnosno padavine koje su bile

izlučene u širem području rudnika "Bogovina", imale su uticaja na veličinu priliva, koji su se javili u ventilacionom oknu VO.

U najdubljem delu jame gde se prilivi prikupljaju na k.-15,18 (TN-2), veličina izlučenih padavina, nema direktan uticaj. Pošto je sprovedenom korelacionom analizom, dobijeni koeficijent korelacije blizak nuli ($R= 0,017$), to ukazuje da je korelaciona veza statistički beznačajna, odnosno da analizirani prilivi rudničkih voda, nisu zavisili od klimatskih faktora.

U širem području rudnika „Jasenovac“, zastupljena je kontinentalno-planinska klima sa stalnim prodorima vlažnih i hladnih vazдушnih masa sa obližnjeg planinskog masiva Beljanice i Homoljskih planina. Prosečne višegodišnje sume padavina za period 1990.-2012. god., iznosile su 774,1 mm vodenog stuba (kišomerna stanica „Krepoljin“), tabela 10.

Tabela 10. Prosečne višegodišnje sume mesečnih padavina na kišomernoj stanici „Krepoljin“ (240 m nv) za period 1990.-2012. god.

1990./2012.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ΣP_{sr}
P_{sr}	48,7	44,5	51,6	82,7	70,3	68,5	72,2	75,9	74,6	65,9	57,4	62,0	774,1
σ	28,9	19,5	30,6	29,2	31,3	41,9	51,0	58,3	58,5	51,0	32,4	32,1	185,0
C_v	0,6	0,4	0,6	0,4	0,4	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8	0,6	0,5	0,2
C_s	0,7	-0,3	0,8	0,2	0,4	1,3	1,1	1,3	2,2	0,9	0,6	0,4	0,5

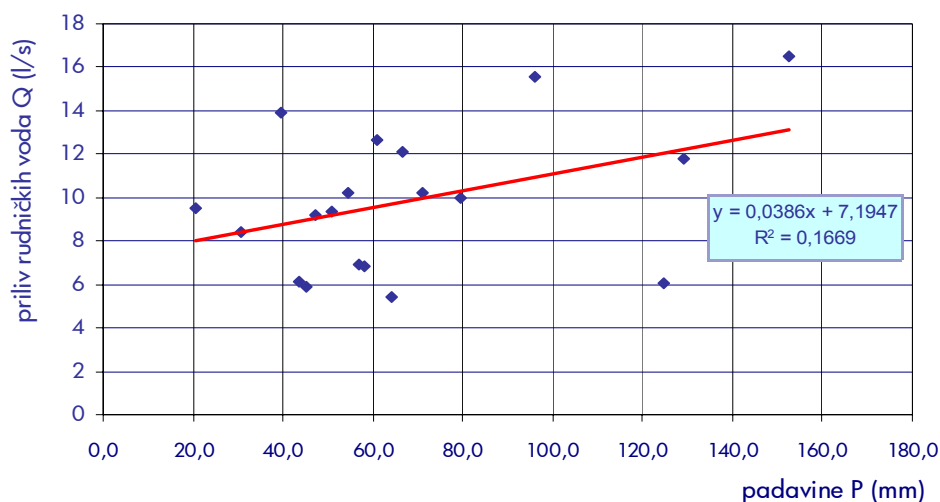
Za analizirani vremenski period, karakteristično je da se na ovom prostoru u proseku najveće količine padavina izluče tokom aprila meseca (prosečno 82,7 mm vs), a drugi maksimum se javlja tokom avgusta (prosečni 75,9 mm vs), tabela 10.

U proseku, zimski meseci januar i februar, imaju najniže sume padavine u toku godine od 44,5-48,7 mm vs (tabela 10.).

Na osnovu prikazane sume mesečnih padavina, izvršena je korelaciona analiza ove slučajno promenljive veličine sa srednjim mesečnim prilivima rudničkih voda u hodniku IH-5 jame „Jasenovac“, za period IX.2004.-III.2006. godine (slika 51.).

Sprovedenom statistikom, utvrđena je korelaciona zavisnost ($R= 0,41$). Testiranjem značajnosti koeficijenta linearne korelacije Studentovim - T testom ($|t|=1,843 |>T_{5\%,17}=1,74$), potvrđen je uticaj padavina na količinu priliva rudničkih voda koje su registrovane u rudarskoj prostoriji IH-5. Ovo međutim nije slučaj sa ukupnim prilivima koji se javljaju u jami ($|t|=0,45 |<T_{5\%,67}=1,671$), obzirom da se formiraju kako usled dreniranja podzemnih voda iz neposrednih

podinskih i povlatnih stena ugljunosne serije, tako i na račun dreniranja rudničkih voda iz starih rudarskih radova. Za ovu analizu, razmatrani su registrovani u vremenskom periodu od IV.2007.-XII.2012. godine.



Slika 51. Korelacioni dijagram zavisnosti srednjih mesečnih priliva rudničkih voda u IH-5 jame rudnika "Jasenovac" od sume mesečnih padavina na kiš. stanici „Krepoljin“ za period IX.2004.-III.2006. godine

Specifičnost klimatu šireg područja *rudnika „Soko“*, daju okolni planinski masivi i to na severu Rtanj i na jugu masiv Ozrena i Device. Osnovne odlike ovog klimata se ogledaju u hladnim i oštrim zimama i toplim letima.

Za analizirani period 1990.-2006. god., prosečne godišnje sume padavina na ovom području su iznosile 652,9 mm vs (tabela 11.).

Tabela 11. Prosečne višegodišnje sume mesečnih padavina (mm vs) na kišomernoj stanici „Čitluk“ (500 m nv) za period 1990.-2006. god.

1990./2006.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ΣP_{sr}
P_{sr}	41.7	40.7	42.4	65.5	58.2	66.5	53.7	56.1	61.1	50.8	53.7	62.5	652.9
σ	26.5	19.7	23.9	24.2	27.5	38.0	38.1	45.7	33.7	36.1	30.8	33.9	123.9
C_v	0.6	0.5	0.6	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.6	0.7	0.6	0.5	0.2
C_s	0.6	0.3	0.1	1.4	0.3	0.6	0.9	0.5	0.5	1.0	0.5	0.7	-0.7

Za analizirani period, padavine su bile relativno ujednačene tokom godine, s tim da su ipak u proseku januar, februar i mart, sa nešto manjim padavina (40,7-42,4 mm vs) u odnosu na ostale mesece u godini. Prosečno u

toku godine, mesec april je sa najvišim padavinama (prosečno 65,5 mm vs), kao i septembar sa 61,1 mm vs (tabela 11.).

Na osnovu podataka o dnevnim padavinama na kišomernoj stanici „Čitluk“ i dnevnih veličina priliva rudničkih voda u rudarske radove otkopnog polja OP-4 jame „Soko“ za period IV.2006.-XII.2006. god., izvršena je korelaciona analiza. Obzirom da je dobijeni koeficijent korelacije blizak nuli, to ukazuje da je korelaciona veza statistički beznačajna, odnosno da prilivi rudničkih voda u OP-4, nisu zavisili od padavina.

Ovako dobijeni podaci potvrđuju činjenicu da se nakon pojave značajnih priliva rudničkih voda u jamu početkom 2006. godine, vršilo intenzivno dreniranje dinamičkih i dela statičkih rezervi karstnih podzemnih voda, tako da odraz padavina nije bio direktano ispoljen na režim priliva.

Za Peštersku visoravan, na kojoj se nalazi *rudnik „Štavalj“*, klima je veoma karakteristična obzirom da se radi o području sa nadmorskom visinom od preko 1000 m. Odlika ovog klimata se ogleda u dugim i jako hladnim zimama, sa obimnim snežnim padavinama, a leta su kratka i relativno sveža.

Na klimatološkoj stanici „Sjenica“ (1038 m nv), za analizirani vremenski period od 1960.-2009. god., prosečne godišnje sume padavina iznose 739,8 mm vs (tabela 12.).

Tabela 12. Prosečne višegodišnje sume mesečnih padavina (mm vs) na klimatološkoj stanici „Sjenica“ (1038 m nv) za period 1960.-2009. god.

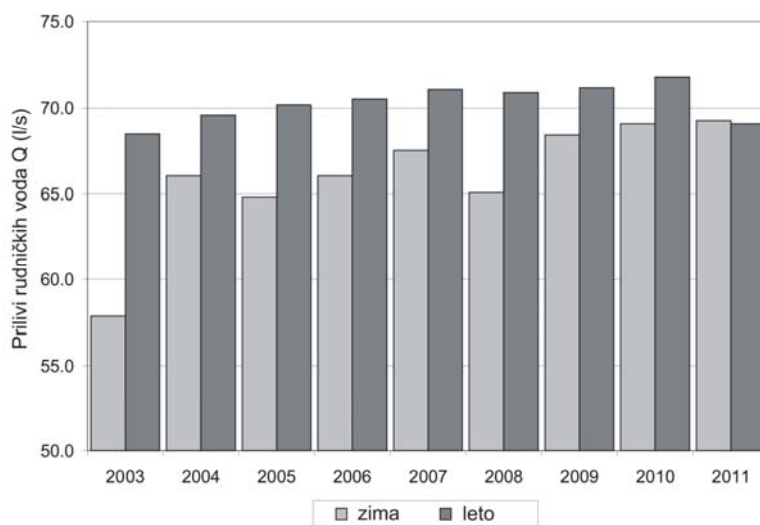
1960./2009.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ΣP_{sr}
P_{sr}	46.7	42.3	43.3	53.6	74.0	80.6	70.9	63.9	69.5	62.9	73.1	59.1	739.8
σ	31.7	25.44	22.21	24.78	31.73	35.86	44.80	36.52	45.66	42.93	40.17	30.09	122.45
C_v	0.68	0.60	0.51	0.46	0.43	0.44	0.63	0.57	0.66	0.68	0.55	0.51	0.17
C_s	0.89	0.99	2.08	0.89	0.28	0.82	2.33	0.51	1.17	1.05	1.50	0.45	0.22

U pogledu prosečnih suma mesečnih padavina, najniže su vezane za period januar-mart i to od 42,3-46,7 mm vs, a u poresu najviše kiše padne tokom juna meseca 80,6 mm vs (tabela 12.).

Na osnovu podataka o dnevnim padavinama registrovanih na klimatološkoj stanici „Sjenica“, temperaturama i dnevnim priliva u jamu „Štavalj“ u periodu 2003.-2011. god., primenjen je model višestruke linearne regresije, koji je ukazao na postojanje zavisnosti analiziranih promenljivih veličina. Sračunate vrednosti koeficijenta korelacije R , kreću se od 0,49 do 0,93.

Ova analiza je ukazala da su tokom zimskih meseci, sračunate vrednosti priliva nešto veći od izmerenih, a tokom letnjeg perioda situacija je obrnuta, odnosno modelom su dobijene manje vrednosti od izmerenih (Miladinović i dr. 2015). Razlog ovome su snežne padavine i temperaturni režim ove oblasti. Zimski meseci su redovno sa temperaturom ispod nule, tako da usled zamrzavanja površine tla, nema direktne infiltracije površinskih voda.

Za analizirani period 2003.-2011. god., najhladnije su bile 2003., 2005. i 2008. godina i u tom periodu su postojale i najizraženije razlike između sezonskih priliva rudničkih voda (slika 52.).



Slika 52. Srednji sezonski prilivi podzemnih voda u jamu rudnika "Štavalj"

Najtoplija je bila 2011. godina i tada su prilivi rudničkih voda bili u letnjem i u zimskom periodu, približno isti (slika 52.).

Rudnik „Lubnica“ ima jako male ukupne prilive rudničkih voda, koji se kreću do 0,19 l/s (2012.-2013. god.). Iz tog razloga, analiza uticaja padavina na ove prilive, nije vršena.

3.1.1.3. Hidrografski i hidrološki uslovi ovodnjenosti ležišta uglja

Hidrografski i hidrološki uslovi različito se odražavaju na ovodnjenost razmatranih ležišta kamenih i mrkih ugljeva. Postoje slučajevi da u neposrednom području pojedinih ležišta uglja u kojima se eksploatacija odvija duboko ispod lokalnih erozionih bazisa, protiču značajniji površinski tokovi po svom vodostaju kao što su Ibar, Crni Timok ili Resava. Za razliku od njih, jedan

broj ležišta je formiran u izvorišnim delovima manjih potoka, koji imaju povremen karakter. Tako područje ležišta antracita „Vrška Čuka“, predstavlja izvorišni deo Avramičkog potoka, u području ležište kamenog uglja „Jarando“ se formira tok Jarandolskog potoka, a područje ležište „Štavalj“ predstavlja izvorišni deo reke Knešnice. U tabeli 13., prikazana je pripadnost analiziranih ležišta uglja, glavnim površinskim slivovima R.Srbije.

Tabela 13. Slivna pripadnost područja ležišta kamenih i mrkih ugljeva Srbije

Rudnik	Sliv	Podsliv
Vrška Čuka	Timok	Beli Timok - Avramički potok
Lubnica		Beli Timok - Lubnička reka
Bogovina		Crni Timok – Bogovinska reka
Jasenovac	Dunav	Mlava – Jasenovački potok
Strmosten	Morava	Resava
Jelovac		
Senjski Rudnik		Ravanica
Soko		J.Morava - Moravica – reka Izgara
Jarando		Z.Mrava – Ibar – Jarandolski potok
Tadenje		Z.Morava – Ibar – Studenica - Raduša
Progorelica		
Štavalj	Drina	Lim – Uvac – Vapa - Knešnica

Glavno hidrografsko obeležje ugljonosnom reonu „Mala Čuka“ (*basen „Vrška Čuka“*), daje Avramički potok sa svojim pritokama u jugozapadnom delu basena (slika 7.). U dosadašnjem periodu, hidrološka merenja proticaja ovog potoka su vršena samo povremeno (sezonski). Zapaženo je da se maksimalni proticaji javljaju početkom proleća, što se u ovom delu Srbije, poklapa sa periodom topljenja snega i trajanja obilnih kiša. Minimalni mesečni proticaji se javljaju često u oktobru ili novembru, a postoje slučajevi da i tokom dužih sušnih letnjih meseci, proticaji iznose i ispod 1 l/s.

Obzirom da se eksploatacija antracita u reonu „Mala Čuka“, odvija iznad lokalnog erozionog bazisa Avramičkog potoka, evidentno je da ovaj vodotok predstavlja dren kako površinskih, tako i podzemnih voda sa ovog područja, što se odražava na veoma male prilive rudničkih voda u rudarske radove.

Područje **ibarskog basena** pripada slivu reke Ibar. Neposredno u području ležišta uglja "Jarando", hidrografsku mrežu čini Jarandolski potok, leva pritoka Ibra. Tokom dužih sušnih letnjih perioda, Jarandolski potok ima jako mali proticaj i najčešće presuši. Nakon obimnih kiša i u proleće tokom topljenja snega, ovaj potok ima bujični karakter.

Veoma ujednačeni prilivi rudničkih voda koji se javljaju u staroj jami „Jarando“, ne pružaju mogućnost za analizu uticaja Jarandolskog potoka.

Novom jamom „Jarando“, rudarski radovi su se spustili hipsometrijski ispod lokalnog erozionog bazisa reke Ibar. Izvršenom korelacionom analizom srednjemesečnih priliva rudničkih voda na k.211,8 i srednjemesečnih proticaja reke Ibar na vodomernom profilu „Raška“ (tabela 14.), u periodu IX.1983. – I.1985. god., dobijen je koeficijent korelacije koji je blizak nuli ($R= 0,024$), a to ukazuje da je korelaciona veza statistički beznačajna.

Tabela 14 . Osnovni parametri proticaja reke Ibar (m^3/s) registrovani na vodomernom profilu „Raška“ u periodu 1971.-1991. god.

1971-1991	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Qsr	43,04	54,47	62,51	57,91	49,54	34,66	23,61	18,64	19,03	22,73	34,68	44,57
s	26,40	37,08	36,80	30,92	28,09	18,24	14,98	11,76	10,86	14,29	24,85	31,53
Cv	0,61	0,68	0,59	0,53	0,57	0,53	0,63	0,63	0,57	0,63	0,72	0,71
Max	111,00	175,46	185,00	123,01	125,00	90,37	60,80	56,73	53,78	74,14	97,25	136,69
Min	11,67	13,64	16,68	18,74	10,60	9,89	8,24	8,33	8,40	8,13	9,06	12,42

U ležištu uglja "Tadenje", rudarski radovi su delom izvedeni hipsometrijski ispod lokalnog erozionog bazisa reke Raduše. Jako mali i ujednačeni prilivi rudničkih voda koje se javljaju u rudarske radove ($Q= 0,1 - 0,5$ l/s), ne pružaju mogućnost za detaljniju analizu i sagledavanju uticaja veličine proticaja reke Raduše u formiranju veličine priliva u jami.

Ležište uglja "Progorelica" se eksploatiše površinskim kopom koji je hipsometrijski viši u odnosu na lokalni erozioni bazis reke Raduše, tako da uticaj ovog vodotoka, nije ispoljen u formiranju priliva rudničkih voda.

U području **resavsko-moravskog basena**, mogu se izdvojiti dve vrste površinskih tokova. U prvu grupu, mogli bi se svrstati oni tokovi koji imaju "tranzitni" karakter kroz basen, podrazumevajući pod tim, tokove koji dotiču sa istočnog oboda basena, protiču njime i dalje u pravcu zapada tok im je usmeren prema ušću u Veliku Moravu. Ove tokove čini reka Resava i njena leva pritoka Resavica, koje zajedno daju i najznačajnije hidrološko obeležje basenu.

Drugoj grupi bi pripadali tokovi čija se izvorišta i izvorišne čelenke, nalaze u samom basenu ili neposrednom obodu. Oni su brojni, a najznačajniji su: Gorunska reka, Vodnički potok, Zubrava, Ravanica, Crnica, Grza, Čestobrodica. Najznačajnije hidrološke karakteristike proticaja Resave, Ravanice i Crnice za period 1970-1991. god., prema podacima „Hidrometeorološkog zavoda Srbije“, prikazani su u tabeli 15.

Tabela 15. Hidrološke karakteristike slivova Resave, Ravanice i Crnice (Rembas) za period 1970-1991. god. (RHMZ)

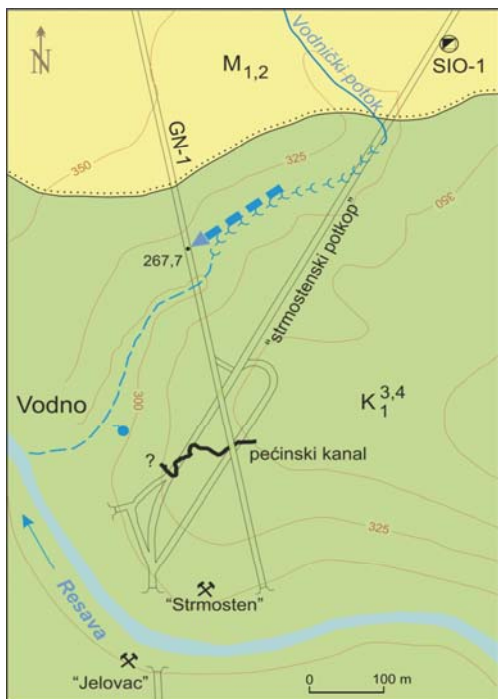
Vodotok	Resava	Ravanica	Crnica
Vodomerni profil	Man.Manasija	Čuprija	Paraćin
F (km ²)	388	161	338
Q sr (m ³ /s)	3,73	0,77	3,52
Q max (m ³ /s)	6,58	2,1	5,62
Q min (m ³ /s)	2,04	0,21	1,68
s	1,16	0,39	0,92
Cv	0,31	0,51	0,26

Ležišta uglja u severnom delu basena („Strmosten“ i „Jelovac“), u hidrografskom pogledu pripadaju slivu reke Resave. Sa svojim tokom po karstnoj podlozi od sela Strmostena do Stenjevcu, Resava praktično odvaja severno ležište uglja „Strmosten“ od južnog ležišta „Jelovac“. Usled ovih okolnosti, prilivi u rudarske prostorije, koje su jednim delom izvedene kroz urgonske krečnjake, svakako se delom formira i na račun površinskih voda reke Resave.

Zato je izvršena korelaciona analiza između srednje mesečnih vrednosti priliva koji su se javljali u rudarske prostorije jame „Strmosten“ (k.45) i proticaja Resave (k.280) u periodu VI.1974.-V.1975. godine. Sprovedenom analizom je potvrđeno da je korelaciona veza statistički beznačajna ($|t|=1,637| < T_{5\%,70}=1,668$) i da prilivi u jami, ne zavise direktno od visine vodostaja reke Resave ($R=0,19$).

Na formiranje priliva rudničkih voda u rudarske radove stare jame „Strmosten“ koji se nalazi iznad lokalnog erozionog bazisa Resave, direktan uticaj ima Vodnički potok (slika 53.). U Resavu, ovaj potok se uliva kod rudarskog naselja Vodno i to samo pri visokim vodostajima. Pri manjim proticajima, on ponire odmah pri stupanju na karstnu podlogu.

Neposredno ispod ove ponorske zone oko 25-30 m, nalaze se rudarske prostorije jame „Strmosten” (slika 53.) Poniranje toka Vodničkog potoka, nema međutim značajniji uticaj na prilive u „strmostenskom potkopu” (k.287), ali



Slika 53. Situacioni plan zone poniranja Vodničkog potoka u području jame „Strmosten”

M_{1,2} - ugljonošni sedimenti burdigala i helveta;
K₁^{3,4} - urgonski krečnjaci

zato ima uticaj na formiranje priliva u niskopu GN-1, gde se sreće zona jače tektonske oštećenosti i karstifikovanosti urgonskih krečnjaka.

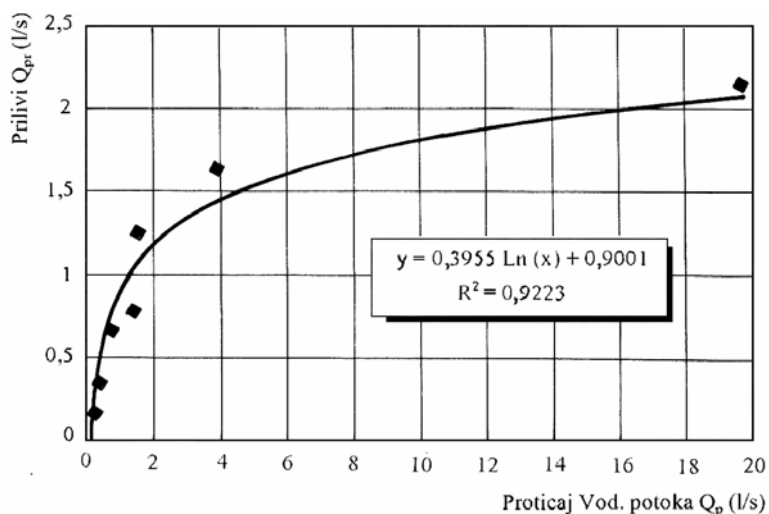
U cilju utvrđivanja hidrauličke veze, u više navrata tokom 1992 i 1993. godine, vršena su uporedna merenja proticaja Vodničkog potoka i veličine priliva rudničkih voda u niskopu GN-1. Na osnovu ovih podataka, utvrđena je direktna zavisnost priliva u GN-1 od proticaja Vodničkog potoka. Ova nelinearna funkcionalna zavisnost, definisana je izrazom $Q = 0,3955 \ln(Q_r) + 0,9001$ (slika 54.).

Područje ležišta uglja „Senjski Rudnik“, u hidrografskom pogledu pripada slivu Ravanice. Samo ležište je praktično potpuno prekriveno navlakom crvenih permskih peščara što u izvesnoj meri štiti ležište od direktnog uticaja padavina i površinskih tokova na formiranje priliva. Ipak, samo jedna manja zona otkrivenih miocenskih sedimenata sa alohtonim jurskim krečnjacima Stenke kod rudarskog naselja Senjski Rudnik (slika 15.), značajno se odražava na prilive rudničkih voda u jamu. U tom pogledu, najznačajniji uticaj ima reka Ravanica.

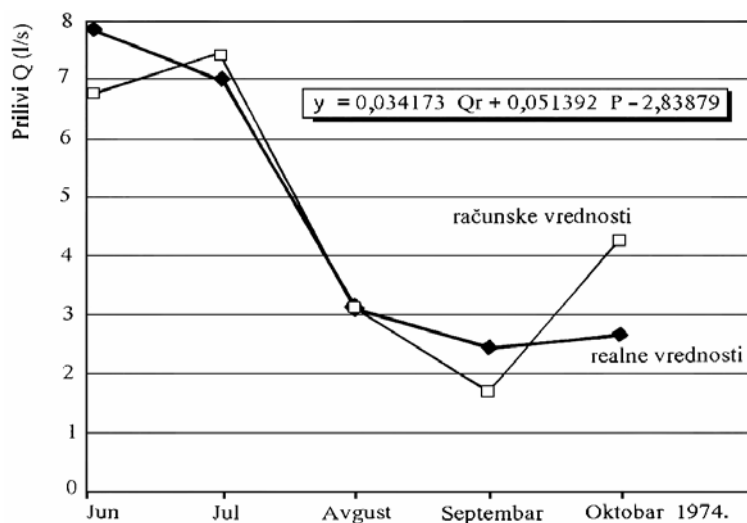
U području Senjskog Rudnika, Ravanica protiče po krečnjacima Stenke na približnoj dužini od 500 m. Obzirom na alothoni položaj koji imaju preko ugljonošnih miocenskih sedimenata, najznačajniji prilivi rudničkih voda u rudarske radove, javljaju se iz ovih krečnjaka.

Kako međutim značajan udeo u prihranjivanju karstne izdani pored površinskih voda toka Ravanice imaju i padavine, izvršena je korelaciona analiza ovih promenljivih veličina i priliva koji su se javljali u rudarkoj

prostoriji "kroovna galerija" (k.439). Sprovedenom statističkom analizom za period juni-oktobar 1974. god., utvrđena je funkcionalna zavisnost (slika 55.).



Slika 54. Korelacioni dijagram zavisnosti priliva rudničkih voda u GN-1 jame "Strmosten" od proticaja Vodničkog potoka za period 1992-1993. god. (Miladinović 1995)



Slika 55. Dijagram zavisnosti priliva u "kroovnu galeriju" od padavina i proticaja Ravanice - srednje mesečne vrednosti za period VI-X.1974. god. (Miladinović 1995)

Povoljnost koja se pritom sreće, nalazi se u činjenici da najvećim delom godine Ravanica u ovom svom izvorišnom delu toka, ima male proticaje ili čak presuši, tako da se i prilivi u tom periodu smanje u jami.

U području **krepoljinskog ugljonosnog basena**, formiraju se tokovi Jasenovačkog potoka i Suve reke (desne pritoke reke Medveđice), slika 17.

Proticaji ovih tokova su u direktnoj zavisnosti od padavina. Tokom dugih jesenjih kišnih perioda i tokom proleća kada se vrši topljenje snega, ovi tokovi imaju buični karakter.

Tokom letnjih perioda, proticaji su minimalni, a tokom dužih sušnih perioda, oni presuše.

U odnosu na lokalne erozije bazise Jasenovačkog potoka i Suve reke, rudarski radovi u „centralnom polju“ se izvode hipsometrijski niže oko 180 m. Na ovaj način, površinski tokovi imaju svakako udeo u prihranjivanju pukotinske i karstne izdani, koje se nalaze u povlati ležišta uglja, što se odražava i na opštu ovodnjenost ležišta uglja.

Južnim obodom **bogovinskog basena** protiče reka Crni Timok, tako da svi površinski tokovi koji su formirali svoja korita kroz bogovinski basen, predstavljaju njene leve pritoke. Najznačajnije su: Bogovinska reka, Velika reka, Ogašu Asak, Saraka i Zlotska reka.

Ukupna površina sliva Crnog Timoka u odnosu na vodomernu stanicu „Bogovina“ (k.221,57), iznosi 476 km². Karakteriše ga dinamički režim proticaja, koji dostiže svoj maksimum u proseku tokom marta i aprila (analizirani period 1971.-1991. god.), tabela 16.

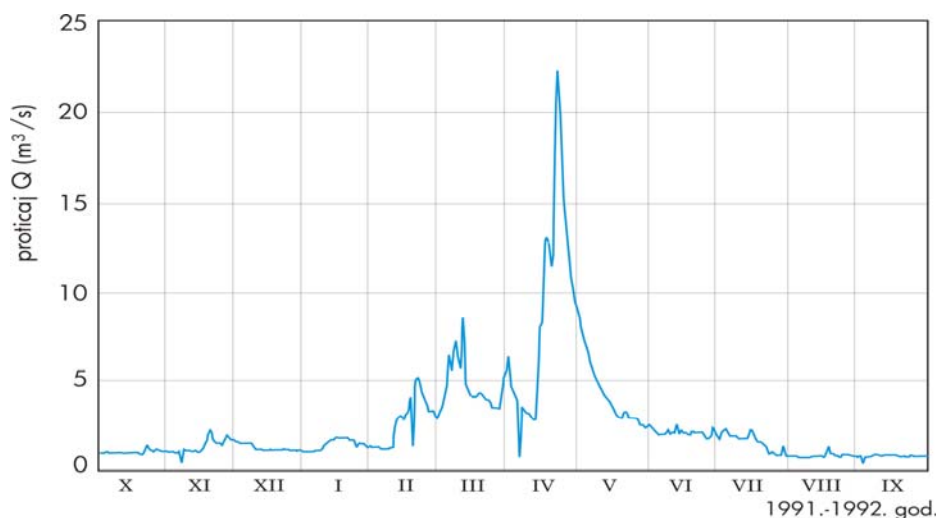
Tabela 16. Osnovni parametri proticaja reke Crni Timok (m³/s) registrovani na vodomernom profilu „Bogovina“ u periodu 1971.-1991. god.

1971.-1991.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Qsr	4,87	8,38	15,96	14,41	8,69	4,40	2,31	1,23	1,24	2,33	3,71	5,21
s	3,27	6,74	7,22	7,85	6,06	3,19	1,89	0,71	0,94	4,42	5,17	5,65
Cv	0,67	0,80	0,45	0,54	0,70	0,73	0,82	0,58	0,75	1,90	1,39	1,08
Max	14,30	28,40	29,60	31,40	23,60	15,10	9,42	2,57	4,46	21,00	23,00	22,80
Min	0,95	1,61	2,48	2,63	1,98	1,33	0,58	0,48	0,35	0,40	0,50	0,90

Tokom ovih meseci se registruju i masimalni mesečni proticaji, koji u proseku dostižu i do 31,4 m³/s (aprilu 1984. godine).

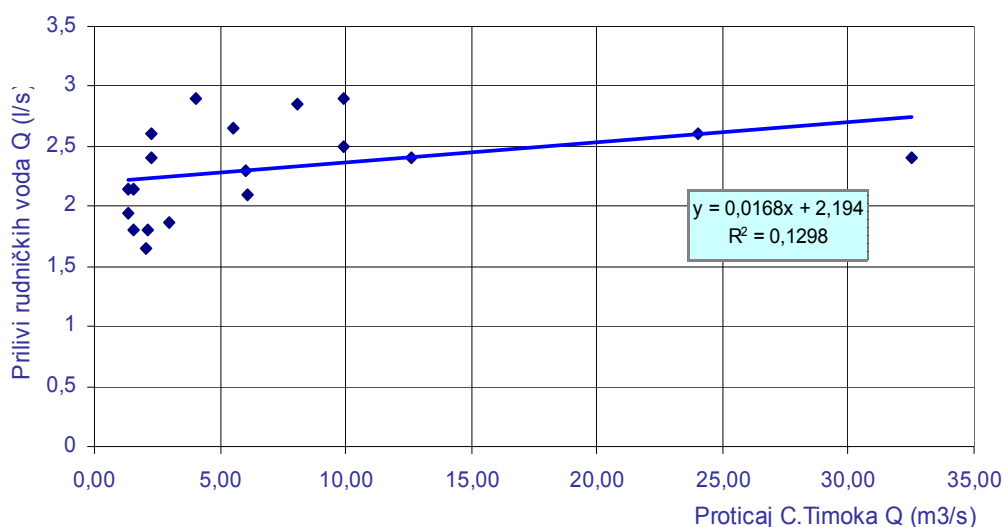
Za analizirani period, minimalni proticaji su vezani u proseku za mesec avgust. Ekstremni minimum za razmatrani period (1971.-1991. god.), zabeležen je u septembru 1987. godine, kada je iznosio 350 l/s.

U periodu X.1991.-IX.1992. godine, vršen je monitoring proticaja reke Crni Timok na vodomernom profilu „Bogovina“ (slika 56.).



Slika 56. Hidrogram proticaja reke Crni Timok na vodomernom profilu „Bogovina“ za period X.1991.-IX.1992. (registrovali: Ž.Matović i B.Miladinović)

U cilju utvrđivanja uticaja Crnog Timoka na prilive koji se javljaju u najovodnijem delu jame „Bogovina“-istočno polje (područje ventilacionog okna VO k.75), izvršena je korelaciona analiza ovih promenljivih (slika 57.).



Slika 57. Korelacioni dijagram zavisnosti između srednjih mesečnih priliva rudničkih voda u VO (k.75) jame "Bogovina" -istočno polje i srednjih mesečnih proticaja Crnog Timoka za period IX.1987.-III.1989. god.

Testiranjem sračunatog koeficijenta korelacije ($R=0,36$), primenom Studentovog - T testa ($|t|=1,637 < T_{5\%,70} = 1,668$), konstatovano je da korelaciona veza između priliva rudničkih voda i proticaja Crnog Timoka, statistički

beznačajna, odnosno da prilivi u jami „istočnog polja“, ne zavise od proticaja Crnog Timoka.

U **sokobanjskom basenu**, osnovnu hidrografsku mrežu tokova u području ležišta uglja „Soko“, čini reka Izgara, sa Čitlučkom rekam i Suvim potokom. Reka Izgara protiče južnim obodom ležišta uglja, a oko 1,5 km nizvodnije od rudnika „Soko“ u pravcu zapada, uliva se u reku Moravicu.

Reka Izgara formira svoj tok u području cerovičke Tumbe, koja se nalazi istočno od ležišta uglja „Soko“. U području samog ležišta, tokom niskih vodostaja, vode Izgare se gube u jako porozne šljunkovito-peskovite aluvijalne naslage. U tim periodima, dužina suvog korita Izgare iznosi oko 1 km, a u blizini ušća sa Čitlučkim potokom, ponovo se pojavljuje na površini i nizvodnije, teče kao stalni vodotok.

Za potrebe otvaranja zapadnog ugljonosnog polja, monitoring proticaja Izgare u području rudnika „Soko“, vršen je tokom 1992. godine. Osnovne hidrografske karakteristike reke Izgare na profilu kod rudnika su:

- površina sliva $F = 75,9 \text{ km}^2$;
- dužina toka $L = 12,0 \text{ km}$;
- srednji uravnati pad $I = 2,92 \%$.

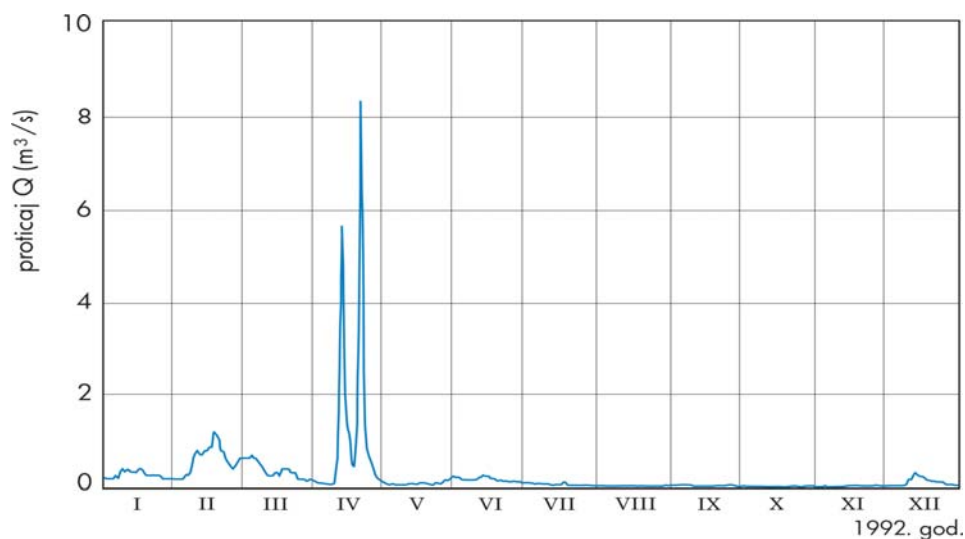
Srednji mesečni proticaji Izgare, registrovani na navedenom profilu, prikazani su u tabeli 17.

Tabela 17. Srednji mesečni proticaji reke Izgare na profilu kod rudnika „Soko“ u toku 1992. godine (Prohaska, 1993.)

Mesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Q (l/s)	201	560	303	1185	57	129	33	3	2	1	15	16

U toku ove godine, minimalni dnevni proticaji Izgare od 1 l/s, registrovani su tokom septembra i oktobra, a maksimalni sredinom aprila meseca, kada su proticaji iznosili $8,34 \text{ m}^3/\text{s}$ (slika 58.).

Bez obzira na ove značajne oscilacije proticaja Izgare tokom 1992. godine, prilivi rudničkih voda u rudarske radove „centralnog“ polju, bili su jako ujednačeni i kretali su se maksimalno do 0,3 l/s. U tim okolnostima, ne može se smatrati da je postojao uticaj površinskih voda Izgare na prilive rudničkih voda.



Slika 58. Hidrogram proticaja reke Izgare na vodomernom profilu rudnik „Soko“ u toku 1992. godine (Prohaska 1993)

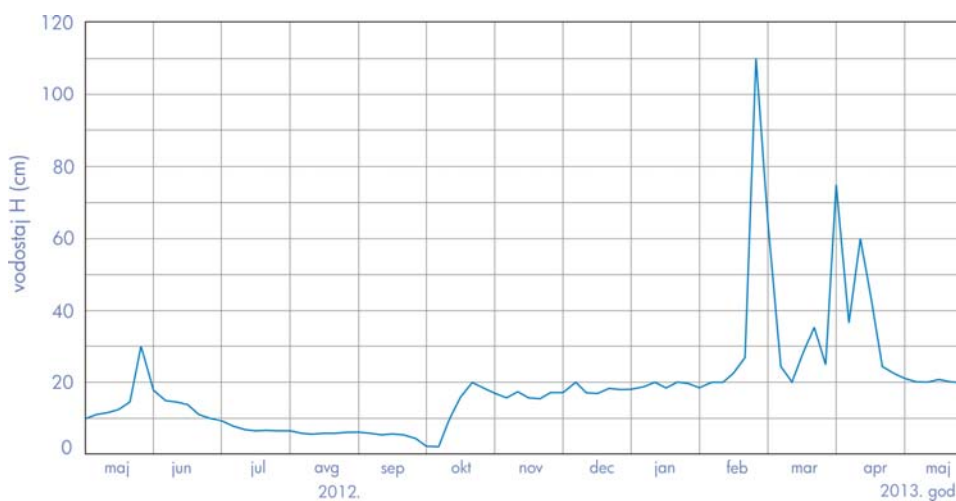
Sjeničko-štavaljski basen, pripada slivu reke Uvac. Najznačajnije hidrografske obeležje ležištu uglja „centralno polje“ u kome se trenutno odvija eksploatacija uglja, daje reka Knešnica. Ova reka u području ležišta „istočno polje“, ima dendritični tip hidrografske mreže i nastaje spajanjem više manjih površinskih tokova, a najznačajniji su: potok Vilujak, Stupski potok i povremeni tok Vrelo (Zeremski 1965). Nizvodnije od rudnika „Štavalj“, Knešnica ima svoj tok duž oboda ležišta uglja „zapadno polje“ i kod zaseoka Gradac, uliva se u reku Vapu (slika 28.).

Na osnovu podataka o merenjima proticaja Knešnice kod rudnika „Štavalj“ u periodu od 15.11.1986.-18.01.1987. godine (Vulović 1988), zabeležen je maksimalni proticaj od 40,9 l/s (27.11.1986.), a minimalni 15,5 l/s (24.12.1986.). Tokom ovih istraživanja, uočeno je da Knešnica ima jako male proticaje obično krajem leta (u septembru), kada se kreću od 1-2 l/s.

U odnosu na tok Knešnice, eksploatacija uglja u ležištu „centralno polje“, odvija se u nepovoljnim hidrografskim uslovima, jer se rudarski radovi izvode preko 250 m hipsometrijski ispod lokalnog erozionog bazisa ove reke. Obzirom da nisu vršena kontinualna osmatranja režima proticaja Knešnice u dosadašnjem periodu, ne može se pouzdano tvrditi o njenom direktnom uticaju na formiranje priliva u rudarske radove, ali zajedno sa padavinama, svakako da postoji odraz.

Ležištu uglja „Lubnica“, osnovno hidrografsko obeležje daje Lubnička reka, leva pritoka Belog Timoka (slika 32.). U području samog ležišta uglja, Lubnička reka protiče neposredno duž severnog oboda ležišta.

Lubnička reka ima tokom godine izražene oscilacije u proticaju. Periodi visokih vodostaja, vezani su za prolećne mesece, tokom perioda topljenja snega ili obimnih prolećnih kića. Trajanje vrha talasa visokih vodostaja, prosečno se kreće dan ili dva, dok sam talas visokih voda može da traje i više od deset dana. Niski vodostaji su najčešće vezani za duge sušne periode krajem leta i obično se nastavljaju tokom jesenjih meseci (slika 59.).



Slika 59. Nivogram Lubničke reke (petodnevna merenja) na profilu kod upravne zgrade rudnika „Lubnica“ u selu Lubnica (registrovali: I.Ramović - rudnik „Lubnica“ i B.Miladinović)

U periodu maj 2012. – maj 2013. god., minimalni vodostaji Lubničke reke su registrovani početkom oktobra 2012. godine, što je odgovaralo proticaju od 1 l/s, a krajem februara 2013. godine, zabeleženi su maksimalni vodostaji kada su proticaji iznosili preko 2 m³/s. (slika 59.).

Bez obzira na ovako utvrđene oscilacije proticaja Lubničke reke, jama rudnika „Lubnica“, spada u red jako slabo ovodnjenjih. Rudarski radovi u jami se izvode preko 135 m ispod lokalnog erozionog bazisa ove reke, ali prilivi su relativno ujednačeni i kreću se oko $Q = 0,19$ l/s (2012.-2013. god.).

3.1.2. Geološki uslovi ovodnjenosti ležišta kamenih i mrkih ugljeva

Razmatranje geoloških uslova ovodnjenosti ležišta kamenih i mrkih uglja, izvršeno je kroz prikaz kako litološkog sastava sedimenata koji izgrađuju ugljonosnu seriju (po Žemčužnikovu 1955, ugljonosna formacija), tako i sedimenata koji izgrađuju njenu neposrednu podinu i povlatu.

Obzirom da se u ugljonosnoj seriji nalazi ugljonosni horizont, koji izgrađuju slojevi i proslojci ugljeva i dr., na ovom mestu je detaljno razmatran i njihov litološki sastav.

U prirodnim uslovima ležišta, sloj uglja se odlikuje svojom specifičnom podinom i povlatom. Podina karakteriše neposrednu pred-fazu formiranja ugljenog sloja, odnosno genetski je vezana za sloj uglja, pošto predstavlja prvobitno tlo u tresavi iz koga su biljke rasle.

Opšte je poznato iz geologije ugljeva da neposrednu podinu sloju uglja, odnosno ugljonosnom horizontu, najčešće izgrađuju gline, ugljevite gline, peskovite gline, glinoviti laporci ili glinci. Mnogo ređe nju mogu da čine peščari, ali i tada između peščara i uglja, najčešće se javlja jedan tanji prelazni sloj koji izgrađuju ugljevite gline. Sa hidrogeološkog aspekta, ovaj sloj ugljevitih gline je od velikog značaja kada je u pitanju ovodnjenost ležišta uglja, jer ima funkciju hidrogeološkog izolatora.

Po Đorđeviću 1965, generalno posmatrano, tvorevine podine sloja uglja imaju bleđu boju od tvorevina povlate i to usled izluživanja minerala gvožđa dejstvom humusnih kiselina iz uglja. U tvorevinama podine sloja uglja, obično do 0,5 m dubine, sreću se ugljenisani ostaci korena biljaka i to u količini da se prelom najčešće obavlja duž ovih biljnih ostataka, a ne duž površina slojevitosti.

U slučajevima da je podina sloja uglja izgrađena od peščara, u njima se mogu naći komadi uglja koji su nastali od zaplavljenih komada nekadašnjih stabala.

Tvorevine povlate sloja uglja ili ugljonosnog horizonta, ukazuje na uslove koji su vladali u vodenoj sredini tresave, nakon akumuliranja tresetne mase. Kontakt između tvorevina povlate i samog sloja uglja, može biti jasan, odnosno oštar kada ukazuje da je akumuliranje biljne mase bilo naglo prekinuto uslod brzog produbljivanja vodene sredine u tresavi, ili može biti postepen kontakt kada ukazuje da je produbljivanje vodene sredine teklo postepeno (Đorđević

1965). U ovom drugom slučaju, između sloja uglja i tvorevina povlate, nalazi se jedan prelazni sloj koga izgrađuju ugljevite gline.

Za razliku od tvorvina podine, u povlati se sreću obično biljni ostaci lišća i drugog biljnog detritusa i to u mnogo većoj količini. Ako krupnozrni peščari izgrađuju povlatu sloju uglja, u njima se često mogu naći komadi sjajnog uglja, koji ustvari potiču od delova stabala koji su bili doneti u tresavu brzim vodenim tokovima (Đorđević 1965). Tvorevine povlate sloja uglja obično zbog obilja biljnih ostataka koje sadrže, imaju tamniju boju od podine.

U slučajevima kada je povlata izgrađena od glinovitih tvorevina, onda se u njoj često sreću konkrecije pirita, sferosiderita, kalcedona i dr. (Đorđević 1965).

Od svih ležišta kamenih i mrkih ugljeva Srbije koja su trenutno u eksploataciji, jedino je ležište antracita „Vrška Čuka“ formirano u basenu mezozojske, odnosno lijaske starosti (J_1), a sva ostala ležišta kamenih i mrkih ugljeva su tercijarne starosti (T_c).

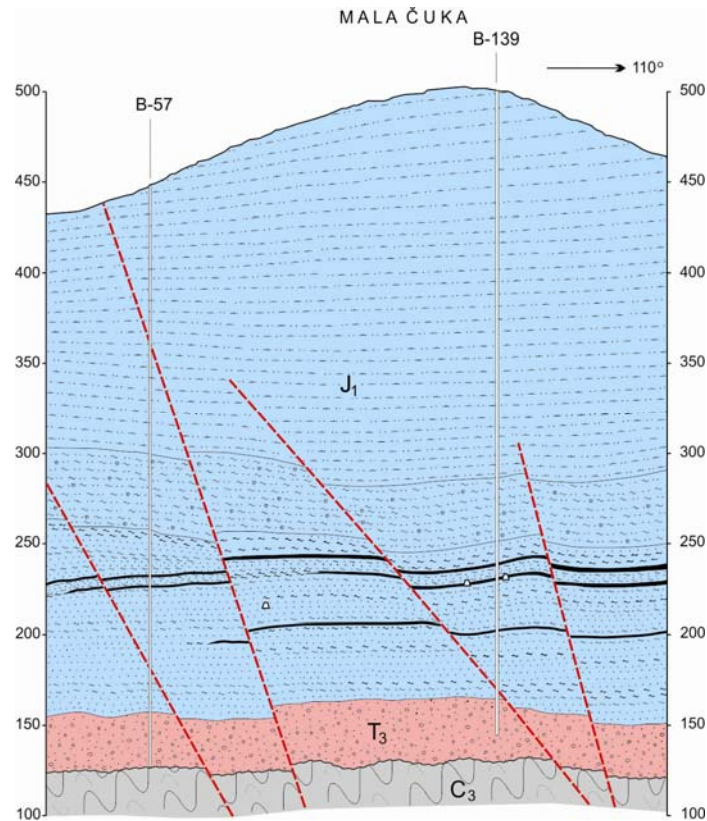
Geološke karakteristike ugljonosne serije (podinski i povlatni sedimenti ugljonosnog horizonta) su složene i to kako u pogledu litološkog sastava, tako i u pogledu debljine i njenog rasprostranjenja na prostoru basena.

Sa hidrogeološkog aspekta generalno posmatrano, ugljonosnu seriju najčešće izgrađuju slabo vodopropusne tvorevine.

Mnogo značajniji uticaj na ovodnjenost ležišta uglja, imaju zato stene paleoreljefa ili povlate ugljonosne serije. U mnogim ugljonosnim basenima, izgrađuju ih mezozojski krečnjaci u kojima je formiran karstni tip izdani ili konglomerati, peščari i laporci tercijara u kojima je formiran pukotinski tip izdani.

3.1.2.1. Geološke karakteristike paleoreljefa i podine ugljonosnog horizonta

U basenu „**Vrške Čuke**“, ugljonosna serija lijas (J_1), predstavlja kompleks sedimenata koji transgresivno leže preko paleoreljefa izgrađenog od konglomeratično-peščarskih i glinovito-škriljavih tvorevina karbona (C), permo-karbona (C,P) i perma (P), kao i tzv. „šarene serije“ gornjeg trijasa (T_3), slika 60.



Slika 60. Geološki profil terena kroz deo ležišta antracita „Mala Čuka“

J₁ – lijasni ugljonošni klastiti: konglomerati, kvarcni peščari, glinci, uglj, glinoviti škriljci; T₃ – konglomeratično-karbonatna „šarena“ serija gornjeg trijasa; C₃ – konglomerati, peščari, ugljeviti glinci, škriljci gornjeg karbona; - - - - - predpostavljeni rased; o - rudarska prostorija

Ugljonošna serija lijasa (J_1), počinje bazalnom serijom (neposredna podina ugljonošnog horizonta), koja je izgrađena od konglomerata i konglomeratičnih peščara, zatim grubozrnih peščara, peščara, peskovitih glinaca i glinaca sa proslojcima ugljevitih glina. U neposrednoj podini prvog ugljenog sloja, javljaju se sitnozrni glinoviti peščari i peskoviti glinci. Debljina bazalne serije lijasa je promenljiva i kreće se od 10 pa do preko 30 m, ali pritom ne prelazi 40 m (Stakić 2006).

Ibarski ugljonošni basen je tipični jezerski basen koji je nastao u tektonskoj potolini na podlozi izgrađenoj od dacito-andezita ($\alpha\alpha\alpha$) i vulkanskih piroklastita ($\theta\alpha\alpha\alpha$), slika 11. Ono što čini ibarski basen u celini specifičnim, to je da su kameni ugljevi u ovom basenu, miocenske starosti što je jedinstveni slučaj u Srbiji. Svaka od paleodepresija u basenu, a danas to su podvojeni ugljonošni baseni („Jarando“, „Tadenje-Progorelica“ i „Ušće“), imaju svoje geološke specifičnosti.

U području ležišta uglja u *jarandolskom basenu*, bazalni konglomerati koji leže direktno preko dacito-andenzita i označavaju početak sedimentacije u basenu. Podinsku seriju ugljonosnog horizonta, izgrađuju raznozrni peščari i tufozni peščari u smeni sa peskovitim laporcima i glincima, kao i konglomeratičnim peščarima.

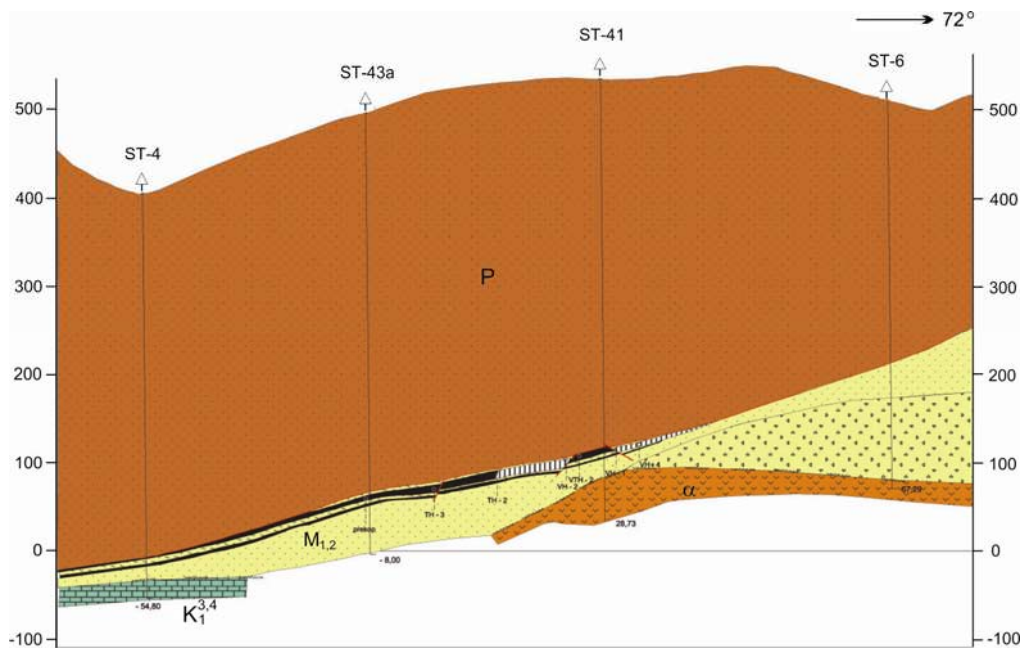
U krajnjem severo-zapadnom delu basena, konstatovana je debljina podine od svega nekoliko metara, pa do 50 m. U pojedinim delovima gde podina potpuno izostaje, ugljeviti horizont leži direktno na vulkanskoj breči i dacito-andenzitima. U pravcu pada serije prema jugoistoku, jug-jugozapadu, debljina podinskog odeljka se povećava i u području bušotine B-106/77, iznosi preko 100 m (Janić 2005).

U *tadenjskom basenu*, sedimentacija ugljonosne miocenske serije je počela bazalnom serijom i to grubim konglomeratima i bazalnim brečama, koji prelaze u podinske glince, laporce, peščare i krečnjake. U pojedinim delovima ležišta, debljina sedimenta podine ugljonosnog horizonta, kreće se od nekoliko metara, kao u istočnim delovima ležišta, pa do nekoliko desetina metara u zapadnim delovima (Janić 2005). U pojedinim delovima ležišta, podina potpuno izostaje i ugalj direktno „leži“ na andezitskim brečama i andezitima (područje bušotine B-20/82).

U *progoreličkom basenu*, podinu ugljonosnom horizontu izgrađuju glinci, laporci, peščari i njihovim kombinacijama u zavisnosti šta preovlađuje kao osnovna masa. Debljina ovih sedimenata je promenljiva i kreće se u pojedinim delovima ležišta od 6 m (područje bušotine B-9/87), do potpunog isklinjavanja, pa u tim područjima, ugalj „leži“ direktno preko vulkanske breče, kao u području bušotina B-13/87 i B-14/87 (Janić 2005).

U području **resavsko-moravskog basena**, bazalna serija i sedimenti podine ugljonosnih horizonata, transgresivno leže preko urgonskih krečnjaka zapadnog oboda kučajsko-beljaničkog masiva, a lokalno na manjem prostoru i preko dacito-andezita (slika 61.).

Bazalna miocenska serija je predstavljena grubo-klastičnim sedimentima i to brečama i konglomeratima. Na osnovu podataka istražnog bušenja, konglomerati su heterogenog sastava i izgrađuju ih valuci krečnjaka, dacita i crvenih peščara (Cvetičanin i dr. 1992).



Slika 61. Geološki profil terena u području ležišta uglja „Strmosten“ – Rembas
(Glišić 2006)

$M_{1,2}$ – ugljonošna miocenska serija (konglomerati, peščari, peskovite gline, ugalj, laporci, glinci, tufozni i lapor.peskovi); α – dacito-andeziti; K_1^{3+4} – krečnjaci urgona; P – peščari perma (alohton)

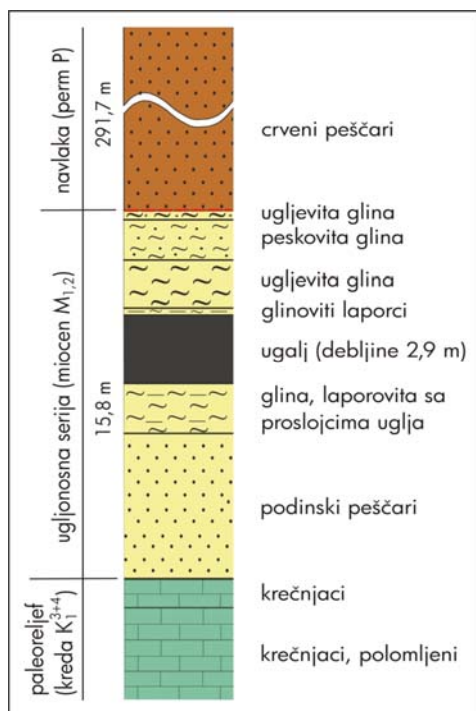
U severnom delu basena gde je formirano ležište uglja „Strmosten“, utvrđeno je istražnim bušenjem da bazalna serija miocena isklinjava prema zapadnim delovima ležišta i da podina ugljonošnog horizonta, leži direktno preko krednih krečnjaka paleoreljefa (bušotine ST-4).

U području ovog ležišta, sedimenti podine ugljonošnog horizonta su predstavljeni glinovitim peščarima sa manjim proslojcima pretaloženih crvenih peščara, koji se sreću u dubljim delovima, glinovitim peščarima, glincima, konglomeratima i ređe laporcima. Na osnovu podataka istražnog bušenja (bušotina ST-15), najveća debljina podinskih sedimenata iznosi 204,7 m (Glišić 2006).

U području ležišta uglja „Jelovac“, preko gruboklastičnih sedimenata bazalne miocenske serije debljine do 17 m (bušotina J-16), leže sedimenti podine ugljonošnog horizonta, čija debljina varira od jednog metra u zapadnim delovima ležišta, do 100 m koliko se sreće u centralnim i istočnim delovima ležišta (Glišić 2006). Litološki sastav ovog dela ugljonošne serije, prikazan je na slici 62.

Bazalna brečo-konglomeratična serija u južnom delu basena, odnosno u području ležišta uglja „Senjski Rudnik“, ima promenljivu debljinu i može iznositi i do preko 30 m.

Podinu ugljonosnog horizonta, izgrađuju sivo-beličasti do zelenkasti glinoviti peščari, glinci i ugljevita glina. Prelaz podinske serije i ugljonosnog horizonta, izgrađen je uglavnom od ugljevitih glina i glinaca. Debljina podinskih sedimenata najčešće varira od nekoliko metara, pa do oko 20 m (Petrović 2008).



Slika 62. Profil bušotine J-69 u području ležišta uglja „Jelovac“ (Glišić 2006)

Na prostoru **kepoljinskog basena**, paleoreljef ugljonosnoj miocenskoj seriji, izgrađuju permske tvorevine *P* (crveni peščari, konglomerati, alevriti, glinci), sajski slojevi $1T_1$ (peščari i karbonatna serija), kampilijski slojevi $2T_1$ (laporoviti peščari, peskoviti krečnjaci, dolomitični krečnjaci, dolomiti), jurske tvorevine *J* (rožnaci, krečnjaci sa rožnacima, laporovito-peskoviti krečnjaci, mermerisani krečnjaci) i andeziti (α).

Preko stena paleoreljefa, leži miocenska gruboklastična serija, odnosno bazalni konglomerati izgrađeni od

krečnjaka i rožnaca. Podina ugljonosnog horizonta je izgrađena pretežno od slabo vezanih peščara i zaglinjenih peskova, koji su heterogenog granulometrijskog sastava (Milenković 2005). Pored njih, ređe se javljaju sedimentne breče, konglomerati i šljunkovi. Debljina podinske serije kreće se od 20-70 m, ali samo u delovima gde je ležište manje zahvaćeno dejstvom navlake.

U **bogovinskom basenu**, ugljonosna serija leži transgresivno preko paleoreljefa koji je izgrađen od gornjokredne vulkanske serije (slika 22.). Podinu ugljonosnog horizonta izgrađuju laporci, peskovite (laporovite) gline, zatim šljunkovite i konglomeratične tvorevine. Ove stene leže direktno preko stena paleoreljefa, odnosno andezita i andezitskih tufova, koji se sreću gotovo na čitavom rasprostranjenju istočnog dela basena. Debljina podinskih sedimenata se kreće od 40 - 60 m (Milenković i Ramović 2004).

U **sokobanjskom basenu**, podinski sedimenti ugljonosnog horizonta, leže transgresivno preko staropaleogene serije sedimenata ili direktno preko donje

krečnih krečnjaka Device (slika 25.). Podinsku seriju izgrađuju bazalni konglomerati, slabovezani peščari, peskovite gline, laporci i delimično ugljevita glina. Na osnovu podataka istražnog bušenja, debljina podinske serije se kreće do 100 m (Petrović 2011).

U **štavaljskom basenu**, ugljonošna miocenska serija leži trasgresivno i diskordantno preko stena paleoreljefa, koje su predstavljene trijaskim krečnjacima, verfenskim škriljcima i tvorevinama dijabaz-rožnačke formacije. Podinske sedimente ugljonošnog horizonta „centralnog polja“, izgrađuju slabo vezani konglomerati i aglomerati, trošni peščari i tufovi. U njegovom srednjem delu se javljaju karbonatni sedimenti i to uslojeni laporci i bankoviti porozni krečnjaci (Lojanica 2009). Gornji završni deo se završava laporcima u ugljevitim laporcima, koji čine neposredni kontakt sa ugljonošnim horizontom.

Ugljonošna miocenska serija u **lubničkom basenu**, leži diskordantno i transgresivno preko andezita i vulkanogeno-sedimentne formacije gornje krede (K_2). Podinski sedimenti ugljonošnog horizonta, predstavljeni su u bazi konglomeratima, a naviše preko njih u postepenom prelazu, javljaju se trošni peščari i laporoviti glinci. Podinski paket sedimenata se završava peskovito-laporovitim alevritima sa proslojcima koji sadrže ugljenisani biljni detritus, manja sočiva uglja i proslojke peskovito-tufogenog sastava. Debljina podinskih sedimenata ugljonošnog horizonta, ima prosečnu debljinu 40 m (Petrović 2009).

Uzevši u celini, prikazani litološki sastav stena koje se nalaze u podini ugljonošnog horizonta analiziranih ležišta uglja, ukazuje da:

- neposrednu podinu ugljonošnog horizonta izgrađuju tvorevine jako heterogenog litološkog sastava, ali koje su u principu slabo vodopropusne do potpuno vodonepropusne;
- bazalni odeljak ugljonošne serije u najvećem broju slučajeva, izgrađuju bazalni konglomerati, koji mogu biti dobar kolektor podzemnih voda, ali često usled male debljine ili isklinjavanja i sočivastog pojavljivanja, nemaju značajnije rasprostranjenje, tako da se u njima ne mogu formirati značajnije rezerve podzemnih voda;
- paleoreljef analiziranih ugljonošnih basena, posebno je značajan za ovodnjenost ležišta uglja u resavsko-moravskom basenu, jasenovačkom, sokobanjskom i štavaljskom basenu, obzirom da ga izgrađuju karbonatne stene mezozoika u kojima je formirana karstna izdan.

3.1.2.2. Geološke karakteristike ugljonosnog horizonta

Ugljonosni horizont čini deo ugljonosne serije, koji sadrži slojeve i proslojke uglja, odnosno u ugljonosnom horizontu je formirano ležište uglja koje ima svoj ekonomski značaj, pa kao takvo predstavlja predmet eksploatacije.

U geološkom pogledu, ugljonosni horizont ležišta analiziranih kamenih i mrkih ugljeva, imaju složeni litološki sastav, kao posledica učestalih raslojavanja slojeva uglja. Sa hidrogeološkog aspekta, najčešće se radi o sredini sa slabim kolektorskim svojstvima ili vodonepropusnoj sredini.

U ležištu uglja „**Vrška Čuka**“, ugljonosni horizont čine tri sloja uglja koji imaju ekonomski značaj, a svaki od njih se grana u više proslojaka promenljive debljine. Osnovu u kojoj se javljaju slojevi uglja, čine najčešće mrki sitnozrni peščari, alevroliti i peskoviti i ugljeviti glinci.

Prvi sloj uglja koji je i najdublji, ima promenljivu debljinu koja se kreće od 0,1 do okvirno 3 m (Stakić 2006).

Drugi sloj uglja ima najveći ekonomski značaj, obzirom da ima veće rasprostranjenje od prvog i maksimalnu debljinu od 7,8 m (bušotina B-65). Grana se na tri, a negde ina četiri grane.

Treći ugljeni sloj je najmlađi ugljeni sloj lijaske ugljenosne serije sa proslojcima uglja debljine do 1,8 m (Stakić 2006). Preko ovog ugljenog sloja, leže alevroliti sa marinskom faunom.

Ugljonosni horizont ležišta uglja „**Jarando**“, izgrađuju ugljeviti škriljci, glinci i laporci, ugljeviti glinci, ređe proslojci peščara, tufozni peščari, peskoviti laporci i glinci. Navedene tvorevine se javljaju kao jalovi proslojci u samom ugljenom sloju, ili kao međuslojevi (Bokčić 1982).

U tektonskom bloku br.1., zastupljeno je 9 slojeva uglja, od kojih ekonomski značaj imaju I, II, III, IV, V i VI sloj, a ostali su neproduktivni jer imaju debljinu ispod 1 m. Debljina ugljonosnog horizonta je najveća u „staroj jami“ i iznosi 180 m. U ostalim delovima ležišta varira i to: 4,9-50,8 m u bloku I; 17,0-94,0 m u bloku II; 10,6-49,2 m u bloku III (Janić 2005).

Zastupljene tvorevine u ugljonosnom horizontu „jarandolskog“ basena, imaju relativno slaba kolektorska svojstva jer su dobrim delom predstavljeni glincima.

U „**tadenjskom**“ ležištu uglja, ugljonosni horizont izgrađuju ugljeviti glinci, peskoviti gljinci, škriljci, glinci, laporci, peščari, manjim delom laporoviti krečnjaci i 8 slojeva uglja, različite debljine i kvaliteta (slika 63.).



Slika 63. Profil ugljenog sloja i povlatnih sedimenata otkriveni na površinskom kopu rudnika "Tadenje" (foto B.Miladinović)

Najbolji kvalitet imaju II, IV, i VI sloj. Najviši VIII sloj prosečne debljine 4,4 m dosta je oksidisan i raspadnut s obzirom da se nalazio blizu površine terena na 3-13 m. U periodu od 2000/2003. godine, ovaj ugljunosni sloj je eksploatisan površinskim kopom. Debljina ugljunosnog horizonta "tadenjskog" ležišta uglja se kreće od 3,3-96,0 m (Janić 2005).

Prisustvo slabovodopropusnih tvorevina kao što su glinci u ugljunosnom horizontu, voma pozitivno se odražava na sveukupnu malu ovodnjenost ovog ležišta uglja. Glinci se sreću u neposrednoj podini i povlati slojeva uglja ili su raslojeni proslojkom laporca.

Situacija je donekle drugačija, kada je u pitanju prisustvo laporovitih krečnjaka u povlati III i IV sloja uglja, u kojima se mogu formirati izvesne statičke rezerve podzemnih voda.

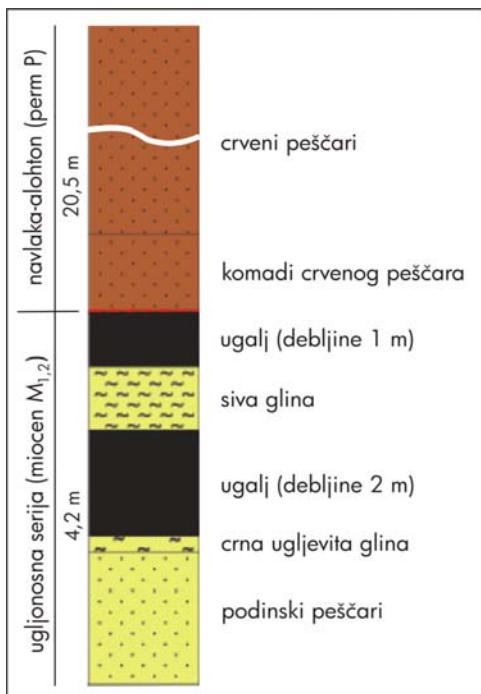
Ugljunosni horizont „**progoreličkog**“ ležišta uglja, čine dva relativno plitka sloja uglja, koja skoro imaju isto prostorno razviće u ležištu. Pored njih, zastupljen je „šifer“ (marinska fauna, koja često gradi lumakele), ugljeviti škriljci, ugljeviti glinci, kao i proslojci glinaca, laporaca, laporovitih krečnjaka, tufova i peščara. Neposrednu podinu slojevima uglja čine laporci i glinci, a krovinu samo glinci (slika 64.). Debljina ugljunosnog hrizonta se kreće u granicama od 4,0-22,8 m (Janić 2005).

Slično „tadenjskom“ ležištu uglja i u „progoreličkom“ ležištu, slabovodopropusni glinci ugljunosnog horizonta, čine ovo ležište slabo ovodnjenim.



Slika 64. Izgled gornjeg sloja kamenog uglja sa neposrednom podinom i povlatom u ležištu „Progorelica“ (foto S.Bošković)

ležišta, raslojen na dva ili tri proslojka (Andreić 1993). Neposrednu podinu mu čine peščari u kojima se u višim nivoima sreću uklopci uglja. Debljina sloja uglja iznosi maksimalno 12,2 m. „Jalovi“ sedimenti koji se javljaju unutar raslojenog uglja, imaju debljinu i do 17,3 m, a izgrađuju ih laporovita i ugljevita glina, laporci, glinoviti laporci, glinoviti peščari i peščari.



Slika 65. Profil bušotine St-9z u području ležišta uglja „Strmosten“ (Glišić 2006)

Delimičan izuzetak u tom pogledu, čine laporoviti krečnjaci i peščari u kojima može doći do formiranja izdanske zone, ali jako mala debljina ovih litoloških članova, ne omogućava formiranje značajnijih rezervi podzemnih voda.

U ležištu mrkog uglja „Strmosten“ u resavsko-moravskom basenu, ugljonosni horizont sadrži jedan sloj uglja koji je u pojedinim delovima

Sedimenti koji se nalaze u neposrednoj povlati sloja uglja, sačuvani su u severoistočnom delu ležišta, ali u drugim delovima su potpuno uništeni prilikom navlačenja permskih peščara (slika 65.).

Debljina ugljonosnog horizonta u području ležišta uglja „Strmosten“, iznosi maksimalno 25,3 m (Glišić 2006).

Ugljonosni horizont u ležištu uglja „Jelovac“, ima slični litološki sastav sa „strmostenskim“ ležištem. U njemu je razvijen jedan sloj uglja, maksimalne debljine 8,5 m, a prosečne 3,32 m (Glišić 2006). Zbog raslojavanja, unutar ugljenog sloja, javljaju se laporovite i ugljevite gline, laporci, glinoviti peščari i peščari, čija

debljina može iznositi i do 23,4 m (područje bušotine J-81).

Debljina ugljonosnog horizonta u ležištu uglja „Jelovac“, maksimalna je u području bušotine (J-81) i iznosi 25,6 m (Glišić 2006).

Ležište uglja „**Senjski Rudnik**“ je bilo zahvaćeno u posbasenskoj fazi navlakom permskih pešćara i sa sekundarnim kraljuštanjem do koga je došlo u samom navučenom kompleksu, debljina ugljonosnih sedimenata je redukovana sve do njenog isklinjavanja u pojedinim delovima ležišta ili je došlo do nagomilavanja uglja pa mu debljina iznosi i do 30 m. Dejstvo navlake je posebno izraženo u jugoistočnom delu ležišta, gde je ugljeni sloj proslojkom laporca, razdvojen na donji i gornji.

U ugljonosnom polju „Stara jama“, sloj uglja je kompaktan, bez proslojaka, debljine 2,8-5,0 m (Petrović 2008).

U polju „B“, ugljeni sloj ima retke i tanke proslojke glinovitih pešćara ili laporca. Debljina čistog uglja se kreće maksimalno do 6,1 m (Petrović 2008).

U ugljonosnom polju „C“, sloj uglja karakteriše veće prisustvo glinovite komponente pogotovu pri podini, tako da su učestalije partije ugljevitih glina debljine i do 5,9 m. Debljina čistog uglja se kreće maksimalno do 13 m.

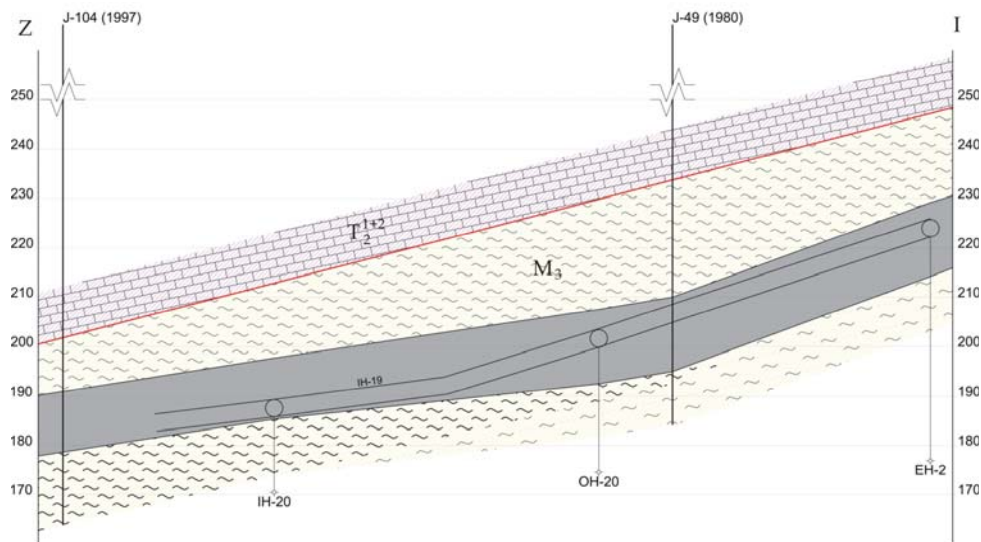
Ugljonosni horizont ležišta uglja „**Jasenovac**“ - centralno polje, rasčlanjen je na donji i gornji deo. U donjem delu ugljonosnog horizonta čija se debljina kreće i do 20 m, javljaju se u sloju uglja, proslojci gline debljine od 0,2 do 0,5 m.

U gornjem delu ugljonosnog horizonta koji ima debljinu do 10 m, deo sloja uglja je često raslojen glinovito-peskovitih sedimenata (Milenković 2005).

Izgled ugljonosnog horizonta u području rudarske prostorije IH-19 u „spuštenom delu“ centralnog polja, prikazan je na slici 66.

U „**bogovinskom basenu**“, ugljonosni horizont u delu ležišta „istočno polje“, sadrži dva sloja uglja koja se nalaze na međusobnom rastojanju od 5-25 m (Milenković i Ramović 2004). Međusobni položaj ugljenih slojeva i litološki sastav tvorevina koji ih razdvajaju, prikazani su na slici 67.

Ugljonosni horizont ležišta uglja u „**sokobanjskom basenu**“, sadrži sloj kvalitetnog uglja složene strukture, obzirom da ga laporovito-peskovita glina i beli laporac, deli na tri dela. Sloj uglja koji u ovom ležištu nosi naziv i „glavni ugljeni sloj“, ima kontinualno razviće u području celog ležišta.



Slika 66. Geološki profil terena duž rudarske prostorije IH-19 u ležištu uglja „Jasenovac“ (Petrović i dr. 2010)

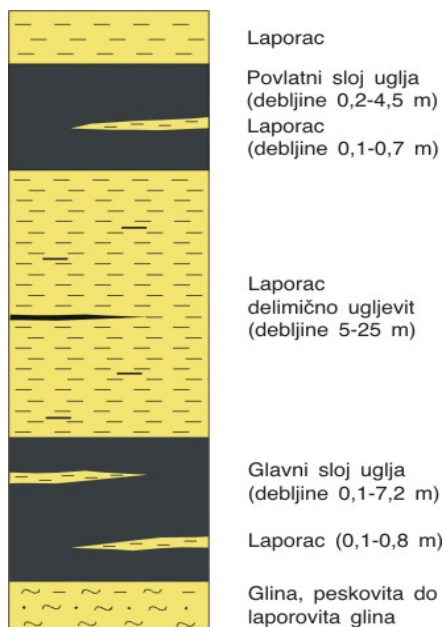
M_3 – ugljonošna serija (gline, uglj, ugljevite gline); T_2^{1+2} – bituminozni krečnjaci i glinci (alohton); - - - - površ naolake; O - rudarska prostorija

Pored laporca i gline, javljaju se i povremeni manji proslojci u samom uglju. Glina i ugljevita glina se javljaju u donjem delu ugljenog sloja, a tuf debljine 0,05-0,25 m, javlja se na 2,0-2,5 m iznad laporca-“belca” (Petrović 2011).

Debljina ugljonošnog horizonta se kreće u zapadnom delu ležišta od 18-41,1 m, a debljina čistog uglja varira od 18-39,4 m.

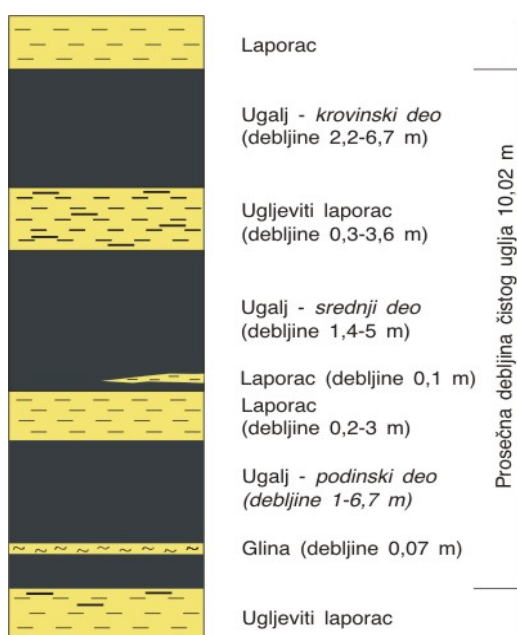
U ležištu uglja „Štavalj“ – centralno polje, prosečna debljina ugljonošnog horizonta iznosi 11,61 m, a debljina čistog uglja 10,02 m (slika 68.). Za celo ležište “centralno polje”, karakteristično je da su rasedi izvršili denivelaciju sloja uglja i da u područjima rasednih zona po Lojanici 2009, nije konstatovano prisustvo uglja.

Sloj uglja je obično rasčlanjen na tri dela i to zavisno od položaja jalovih proslojaka u njemu (slika 68.). Proslojke izgrađuju gline, laporac i ugljeviti laporac, čija debljina iznosi i do 3,6 m.



Slika 67. Litološki stub ugljonošnog horizonta u ležištu uglja „Bogovina“ –istočno polje

U ležište uglja „**Lubnica**“, ugljonosni horizont ima prosečnu debljinu od 70 do 80 m (Petrović 2009).



Slika 68. Litološki stub ugljonosnog horizonta u ležištu uglja „Štavalj“ – centralno polje

Počinje prvim (podinskim) slojem uglja debljine 5–9 m, a završava se drugim (povlatnim) slojem uglja.

Između prvog sloja uglja i drugog, nalazi se na rastojanju od 60 do 70 m, paket laporaca sa proslojcima i sočivima laporovitog krečnjaka. Najvišlje nivoe paketa ovih sedimenata, izgrađuju peskoviti alevriti i trošni peščari sa proslojcima jako obogaćenim ugljenisanim fosilnim ostacima flore i faune.

3.1.2.3. Geološke karakteristike povlate ugljonosnog horizonta

Povlatni sedimenti ugljonosnih horizonata, čine završni ili krovinski deo ugljonosne serije. U nekim slučajevima kao u resavsko-moravskom i krepoljinskom basenu, debljina povlatnih sedimenata ugljonosnog horizonta je delimično tektonski redukovana ili je potpuno odneta usled dejstva navlake. U pojedinim delovima ovih basena, postoje slučajevi i da navučene alohtone tvorevine leže direktno preko sloja uglja (ležište „Strmosten“, „Senjski Rudnik“, „Jasenovac“).

Litološki sastav navučenih alohtonih tvorevina, ima značajan uticaj na odvodnjenost ležišta uglja. U delovima navedenih ugljonosnih basena gde se u povlati ugljonosnih serija nalaze alohtoni permski peščari, odvodnjenost ležišta uglja nije značajnije izražena jer ove stene imaju relativno slaba kolektorska svojstva. Za razliku od ovog slučaja, u alohtonoj povlati ugljonosnih horizonata kao u području ležišta uglja „Senjski Rudnik“ i „Jasenovac“, mogu se naći trijaski i jurski krečnjaci. Zbog karstne izdani koja je formirana u njima, odvodnjenost ležišta uglja je znatno izraženija.

U daljem delu teksta, biće prikazane najznačajnije geološke karakteristike povlatnih sedimenata ugljonosnih horizonata analiziranih ležišta kamenih i mrkih ugljeva.

U ležištu uglja „**Vrška Čuka**“, povlatu ugljonosnog horizonta izgrađuju peščari i glinci krovinskog dela lijasa (J_1). Konkordantno preko njih, leže tvorevine dogera (J_2). Izgrađuju ih sivi alevroliti i sitnozrni peščari – kalkareniti i markantna sekvenca kvarcnih peščara, konglomerata i mikrokonglomerata koji se smenjuju (Stakić 2006).

Neposrednu povlatu ugljonosnom horizontu ležišta uglja „**Jarando**“, čine ugljevite gline, glinci, laporci, peskoviti i glinoviti laporci, sitnozrni ili krupnozrni peščari. Obzirom na debljinu koja u pojedinim delovima ležišta dostiže i do 800 m, povlatna serija je heterogenog litološkog sastava, tako da je pored navedenih sedimenata, izgrađuju i proboji andezitskih stena, tufogeni finoklastični-pelitsko-karbonatni sedimenti, podređeno laporoviti i dolomitični krečnjaci.

U području ležišta uglja „**Tadenje**“, povlatna serija sedimenata ugljonosnog horizonata je relativno male debljine 3-13 m. Izgrađuju je gline, glinci i laporci, ali usled delimične površinske eksploatacije uglja iz ovog ležišta, ove tvorevine su na značajnom delu ležišta skinute.

U ležištu uglja „**Progorelica**“, povlatna serija ugljonosnog horizonta je debljine od 5,35 – 40,7 m i izgrađuju je najvećim delom peščari, tufozni peščari, glinci i zaglinjeni peščari.

Povlatni sedimenti ugljonosnog horizonta u ležištu uglja „**Strmosten**“, predstavljani su glinovitim laporcima, glinama i glinovitim peščarima. Usled dejstva navlake, delimično su ili potpuno razneti, a maksimalna debljina im je utvrđena od 25,1 m.

U tektonskoj krovini povlatne serije, nalaze se navučeni, odnosno alohtoni permski peščari. Njihova debljina u zapadnom delu ležišta uglja „**Strmosten**“, kreće se i do 523,2 m (Glišić 2006).

U području ležišta uglja „**Jelovac**“, povlatni sedimenti ugljenog horizonta imaju debljinu 0,2-40 m (bušotina J-41). Povlatna serija je predstavljena glincima, ugljevitim glincima, glinovitim peščarima, a u nekim delovima ležišta, zastupljeni su laporci sa tankim proslojcima peščara i glinaca čija debljina varira 0,3-43,27 m kao u području bušotine J-8 (Glišić 2006).

Alohtoni crveni permski peščari koji čine tektonsku krovinu povlatnim sedimentima ugljonosnog horizonta, imaju maksimalnu debljinu u jugozapadnom delu ležišta i kreću se do 306,25 m (bušotina J-20).

Povlatni sedimenti ugljonosnog horizonta u području ležišta uglja „**Senjski Rudnik**“, nisu sačuvani u svim delovima ležišta i to usled dejstva navlake. U području ugljonosnog polja „Stara jama“, povlatna serija je izgrađena od glinaca i glinovitih peščara. U ugljonosnom polju „B“, izgrađuju je laporci i manjim delom glinci ili gline. U polju „C“, najvećim delom je čine navučeni alohtoni crveni permski peščari, a u jednom manjem delu ležišta, sačuvana je prirodna povlata ugljenog horizonta koju izgrađuju glinci i laporci.

Usled izntenzivne tektonike i dejstva navlake, postoje i slučajevi da direktnu povlatu slojevima uglja, čine alohtoni jurski krečnjaci.

U području ležišta uglja „**Jasenovac**“ -centralno polje, povlatna serija ugljonosnog horizonta je izgrađena od glina, ređe od laporaca i mestimičnih partija peščara i glinaca.

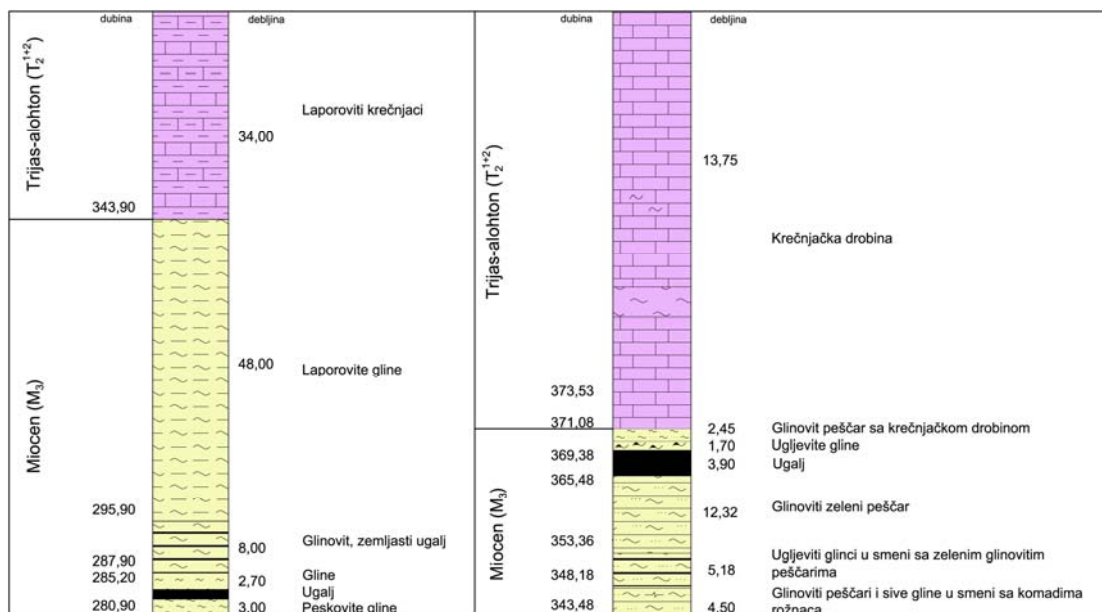
Debljina povlatne serije je jako promenljiva i to od potpunog tektonskog isklinjavanja usled dejstva navlake, pa do preko 30 m debljine. Neposredni kontakt alohtonih tvorevina navlake i sloja uglja je jasno uočljiv i oštar, a tektonski kontakt laporovitih sedimenata povlatne serije ugljonosnog horizonta i alohtonih tvorevina navlake, čini rasedna zona debljine od 5 do 10 m.

Navlaku u području ovom ležišta uglja, čine karbonatne tvorevine srednjeg trijasa T_2^{1+2} (slika 69.). U litološkom pogledu, izgrađuju ih u nižim delovima uslojeni krečnjaci, koji su delimično peskoviti, a mestimično brečasti i milonitizirani. U višim delovima su zastupljeni krečnjaci, mestimično bituminozni krečnjaci i crni alevroliti (Petrović 2010).

U severnom delu ležišta „centralno polje“, u pravcu starih rudarskih radova „Padina Mare“, navlaku čine tvorevine dogera (J_2) i to pločasti i masivni krečnjaci, rožnaci, laporovito-peskoviti krečnjaci. Pored njih, navlakom su zahvaćeni i krečnjaci sa primesama rožnaca, laporaca i peščara oksford-kimeridža (J_3^{1+2}), kao i krečnjaci titona (J_3^3).

U „**sokobanjskom basenu**“ povlatu ugljonosnog horizonta izgrađuju fino uslojeni laporci, peskovite, nestratifikovane gline sa proslojcima slabo vezanih peščara. Pored toga, zastupljeni su uslojeni laporci sa proslojcima laporovitih glina i glinoviti peščari, laporovite delimično ugljevite gline sa

tankim slojevima uglja. Ovi slojevi uglja imaju naziv „povlatni ili drugi ugljeni sloj“ (debljine 0,5–3 m), ali nemaju ekonomski značaj (Petrović 2011).



Slika 69. Prikaz povlate ugljenog sloja u bušotinama J-90 (slika levo) i J-99 (slika desno) u ležištu uglja „Jasenovac“ (Petrović 2010)

Povlatni horizont se završava „šarenim glinama“ i pešćarima koji se preslojavaju. Ukupna debljina povlatnog horizonta iznosi do 200 m, s tim da se u obodnom delu kreće do 30 m (Petrović 2011).

Neposrednu povlatu ugljonosnom horizontu ležišta uglja „**Bogovina**“-



Slika 70. Kontakt laporaca povlate i sloja uglja u ležištu „Bogovina“ – istočno polje (foto B.Miladinović)

istočno polje, čine fosilonosni laporci koji u višim nivoima prelaze u laporovite gline, masne gline i pešćare (slika 70.).

Pešćare mestimično prate konglomeratične partije, obzirom da čine bazalnu seruju mlađim miopliocenskim sedimentima (M,Pl). Pored konglomerata, ovu seriju izgrađuju i peskovite gline, glinoviti i laporoviti pešćari, glinoviti laporci i laporovite gline.

U njoj se mestimično sreću tanki proslojci uglja, koji nemaju ekonomski značaj.

Povlatnu seriju ugljonosnog horizonta u ležištu uglja „Štavalj“-centralno polje, izgrađuju dva karakteristična horizonta i to: tufogeno-laporoviti i karbonatno-pelitski.

Prvi horizont čini direktnu povlatu ugljonosnom horizontu i predstavljen je tamno sivim laporcima u kojima se sreću fosilni ostaci flore i komadići uglja (slika 71.). Debljine su 4-17 m (Lojanica 2005).



Slika 71. Kontakt povlatnih laporaca i sloja uglja u ležištu „Štavalj“-centralno polje (foto B.Miladinović)

Preko ovih krovinskih laporaca, leže tanko uslojeni laporci i delimično meki krečnjaci sa brojnim sočivima mekih i raznoznih tufova. Iznad njih u litološkom stubu su zastupljeni sivo-beli uslojeni laporci, koji su u smeni sa tanjim partijama belih mekih krečnjaka. Ukupna debljina tufogeno-laporovitog horizonta se kreće 80-270 m.

Drugi horizont ili karbonatno-pelitski, predstavljen je tanko uslojenim, laporcima sa proslojcima mekih krečnjaka. Svojim izgledom podsećaju na pisaću kredu, a pored toga, zastupljeni su u stubu i proslojci bigrovitih krečnjaka. Ovim horizontom, završava se ugljonosna miocenska serija sedimenata.

U ležištu uglja „Lubnica“, povlata ugljonosnog horizonta je izrađena od laporovitih i peskovitih glinaca u smeni sa glinovitim peščarima. Debljina povlatne serije iznosi do 80 m.

Transgresivno preko povlatne serije ugljonosnog horizonta, nalaze se sedimenti torton-donjesarmatske limničke formacije ($M_{2,3}$). Izgrađuju ih trošni glinoviti liskunoviti peščari, laporci kao i liskunoviti trošni peščari i peskovi sa ukrštenom slojevitošću i sa proslojcima peskovitih laminiranih alevrita. Navedeni sedimenti su u smeni sa slojevima i proslojcima gruboklastičnih sedimenata drobine i šljunkova. Debljina ovih sedimenata, iznosi u centralnom delu basena 150-200 m.

3.1.3. Tektonski uslovi ovodnjenosti ležišta kamenih i mrkih ugljeva

Dosadašnja eksploatacija kamenih i mrkih ugljeva Srbije, ukazala je da tektonske karakteristike ležišta, kao i basena u celini, imaju veoma značajnu ulogu kada je u pitanju njihova ovodnjenost.

Radialna tektonika se jako nepovoljno odrazila na eksploataciju uglja, jer je u mnogim ležištima, uslovlila veliku denivelaciju slojeva uglja ("Vrška Čuka", "Štavalj", "Jarando" i dr.), a snažna plikativna tektonika je u jednom delu ležišta, izvršila nagomilanje ugljenog sloja, u nekim drugim istančenje ili potpuno uništenje ugljenih slojeva ("Senjski Rudnik", "Jasenovac", "Vrška Čuka").

Sa hidrogeološkog aspekta, tektonska oštećenost ležišta uglja ima prvorazredni značaj na ovodnjenost, jer rasedne i dislokacione zone koje ih presecaju, predstavljaju prostore duž kojih su često formirane značajne rezerve podzemnih voda. Upravo ove pukotinske hidrogeološke strukture, izazivale su tokom dosadašnje eksploatacije ugljeva velike prilive rudničkih voda u rudarske radove kada je potapana rudarska tehnika i oprema.

U strikturnom pogledu, ležište antracita "**Vrška Čuka**" (reon "Mala Čuka" u kome se trenutno odvija eksploatacija), predstavlja blago zatalasanu strukturu koja tone u pravcu S-SZ pod karbonatnim tvorevinama gornje jure i krede (krečnjački plato). Ova struktura je poremećena manjim rasedima. Evidentne su i pojave blagih fleksura, a sa pojavama migracije ugljonosne mase u samom naboru i zadebljanjima van nabora. Ove pojave predstavljaju posledicu diferencijalnog kretanja plastičnih lijaskih tvorevina u odnosu na doger i gornje jurske sedimente (Stakić 2006).

Rasedi i pukotine različite kinematike, ležištu daju izgled parketnog sklopa. Pored rupturnih, u manjoj meri su konstatovane i naborne strukture. Plikativni i rupturni oblici su uslovlili da ležište u reonu „Mala Čuka” ima formu sočiva.

Celo ležište je iskomadano na veći broj tektonskih blokova, a u samim blokovima došlo je do kidanja ugljenog sloja manjim rasedima sa skokom krila najčešće do 5 m (slika 72.).

Po Đokoviću i dr. 2003, ležište uglja „Mala Čuka”, nalazi se u zapadnog krila složene antiforme Vrške Čuke, u okviru koga se mogu izdvojiti tri

strukturno-tektonska homogena bloka: centralni ili blok Male Čuke, istočni i severoistočni blok Male Čuke.



Slika 72. Pregledna skica geoloških blokova drugog sloja antrecita u eksploatacionom polju „Mala Čuka“ (Stakić 2006)

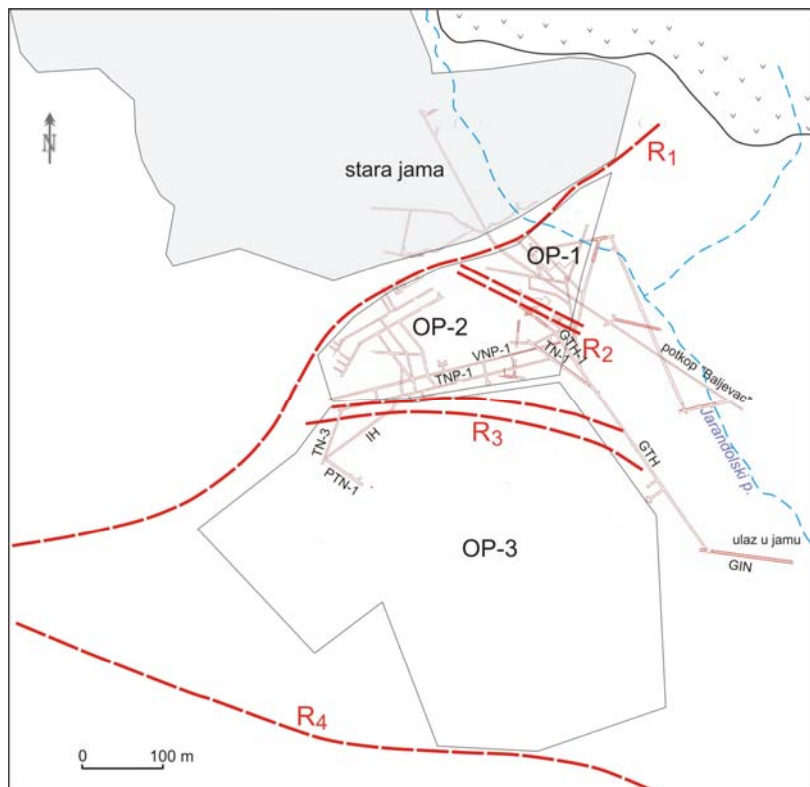
1. konture blokova, 2. rasedi, 3. I grana II sloja, 4. II grana II sloja, 5. III grana II sloja,
6. blokovi A kategorije, 7. blokovi B kategorije, 8. blokovi C₁ kategorije

Centralni homogeni blok je izgrađen od jurskih sedimenata u kojima formirano ležište uglja. U ovom bloku, rasedi imaju dominantan pravac pružanja $114^{\circ}/294^{\circ}$. Sa drugim slabije zastupljenim rasedima različite orijentacije, ležišta uglja je izdvojeno na manje blokove, formirajući na taj način „parketnu granu“.

Istočni blok zauzima krajnje istočne delove ležišta, sa dominantnim pravcem pružanja raseda $176^{\circ}/356^{\circ}$, odnosno $166^{\circ}/346^{\circ}$. Po Stakiću 2006, podređeniji rasedi, presecaju ovaj blok i pritom ga dele na manje blokove.

Severozapadni blok je duboko potonuli blok, tako da ga karakteriše prisustvo karbonatnih stena jure i krede na površini terena. Sam blok je ispescan rasedima sa dominantnim pravcima pružanja $55^{\circ}/235^{\circ}$ i $65^{\circ}/245^{\circ}$. Poprečnim manjim rasedima, ležište je podeljeno na manje blokove.

U području ležišta uglja „Jarando“, konstatovano je više markatnih raseda, ali svakako najznačajniji je rased sa oznakom R₁, koji ima pravac pružanja severoistok-jugozapad (slika 73.). Njime je jugoistočno krilo, takozvani "spušteni deo", potonuo za oko 130 m u odnosu na severozapadno krilo (Janić 2005). Sve do 1988. godine, iz ovog severozapadnog krila, odnosno iz tektonskog bloka 1, vršena je eksploataciji uglja u području „stare jame“.



Slika 73. Tektonska skica ležišta uglja „Jarando“ (Ibarski basen)
(podloga: geodetski plan jame S.Bošković – Ibarski rudnici)

U otkopnom polju OP-2 („spušteni deo“), registrovan je „makazasti“ rased R₂, koji se prostire jugoistočno od raseda R₁ (slika 73.). Kada se rudarskim radovima 21.04.1982. godine, naišlo na rased R₂, došlo je do iznenadnih priliva rudničkih voda koji su potopili jamu. Skok raseda u tom delu je bio relativno mali i iznosio je oko 30 m.

Rudarskim radovima je utvrđena i rasedna zona (R₃) širine 15 m, sa karakterističnim kliznim površinama i strijama. Rudarskim radovima, ova rasedna zona je zahvaćena na dužini od 30 m, ali do priliva rudničkih voda nije došlo. Rasedna zona ima pravac pružanja 208°-218° i pad $\alpha = 70-77^\circ$ (Janić 2005).

Rasedima R₁-R₂-R₃, oivičen je geološko-tektonski blok koji je u eksploataciji označen kao otkopno polje OP-2. U njemu je razvijen jedan sloj uglja debljine do 10 m i dva podinska sloja manje debljine od oko 3-5 m.

Tokom otvaranja i otkopavanja OP-2 u zapadnom delu, takođe je registrovana ova rasedna zona i to sa skokom blokova do 150 m.

Istražnim bušenjem oko 600 m južnije od rasedne zone R₃, konstatovan je rased R₄ sa približno istim pravcem pružanja (slika 73.). Skok krila duž raseda, iznosi oko 150-200 m. Između ova dva raseda je okonturen geološko-tektonski blok OP-3 u kome su razvijena četiri ugljonosna sloja, različitog prostiranja i različite debljine. U ovom bloku je registrovan i proboj piroksensko-amfibolskog andezita sa izlivom na površinu, dimenzije oko 370x140 m. Istražnim bušenjem je utvrđeno da debljina izliva andezita iznosi maksimalno 18,5 m, a ispod njega je zastupljena ugljonosna miocenska serija. Ugljnosni horizont je zastupljen na dubini od 454,0 do 545,70 m i jako je tektoniziran. U predelu andezitskog proboja, znatno je poremećena struktura slojeva uglja i tektonski odnos bloka dva i bloka tri (Janić 2005).

Osnovna struktura ležišta uglja „**Tadenje**“ je sinforma slojeva uglja. Osa sinklinale ima pravac pružanja severozapad-jugoistok. U ležištu je konstatovana veoma česta isklinjenja slojeva uglja, kao i smanjenja i povećanja debljine, što je posledica ne samo uslova sedimentacije već i tektonike, koja je bila intenzivna tokom močvarnih faza, odnosno egzistovanja tresetišta.

U ležištu uglja „Tadenje“ je utvrđeno postojanje više raseda koji su imali različit uticaj na tektonski sklop ležišta. Markantan rased sa pravcem pružanja severoistok-jugozapad i padom od oko 80°, deli ležište na dva tektonska bloka, pri čemu je istočno krilo spušteno oko 20 m. U okviru ovog bloka, zastupljeni su rasedi koji su kidali sinformnu strukturu slojeva uglja sa pratećim stenama, ali duž njih nije obavljeno značajnije kretanje pa nije ni došlo do formiranja blokovske strukture ležišta.

Pored navedenih raseda, za samo ležište su značajni i obodni rasedi jer je njima ograđen prostor sedimentacije ugljonosne miocenske serije. Ovi rasedi imaju strm pad 60°-70° i njima se strmo „zatvara“ ležište (Janić 2005).

Pored radialne tektonike u ležištu „Tadenje“ je bila izražena i plikativna tektonika. Tokom izvođenja rudarskih radova, konstatovan su veoma izražena fleksurna povijanja i sitna plisiranja ugljonosne miocenske serije, kao posledica dejstva bočnih pritisaka od krutih andezitskih stena oboda basena.

Ležište uglja „**Progorelica**“ je male dubine do oko 60 m, pri čemu se



Slika 74. Otkriveni sloj uglja na površinskom kopu „Progorelica“-ibarski rudnici (foto: B.Miladinović)

najbliži sloj uglja nalazi na dubini samo od 5,35 m u odnosu na površinu terena (istražna bušotina B-13/87). Dva zastupljena sloja uglja, imaju strukturu blage sinklinale sa padom prema zapadu i uglovima zaleganja do 10°. Bez obzira što se radi o relativno malom ležištu, pored radijalne u ležištu je posebno bila izražena plikativna tektonika. Površinskim otkopom, konstatovan je u severnom obodnom delu ležišta povijeni sloj uglja sa padom od približno 90° (slika 74.). Sve ovo ukazuje na jako dinamičku tektoniku, koja je svakako imala odraza i na susedno ležište uglja „Tadenje“.

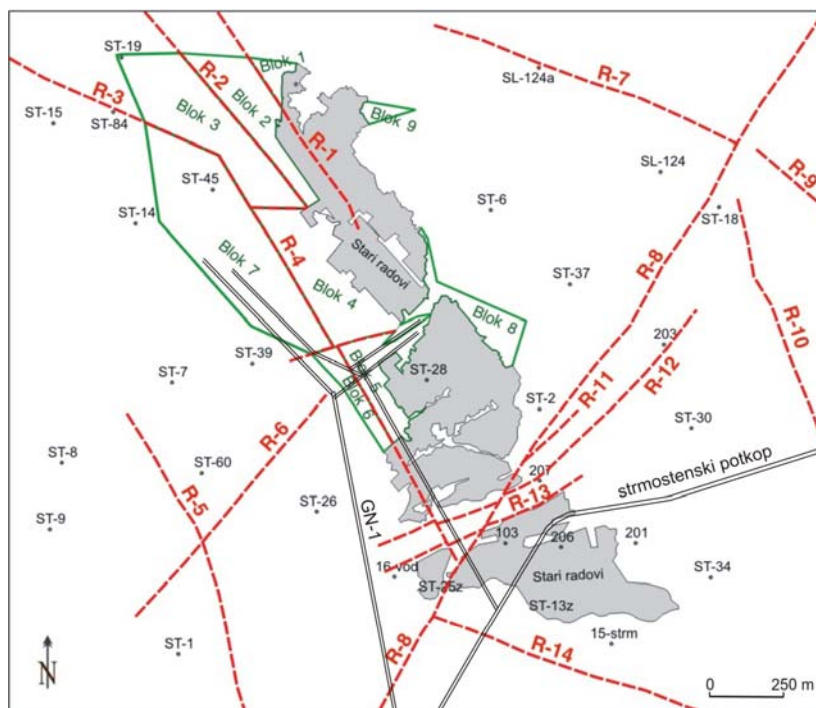
Veoma složeni tektonski procesi koji su odvijali tokom geološke evolucije „**resavsko-moravskog basena**“, dali su odraz i na hidrogeološke prilike. Sa hidrogeološkog aspekta, navlaka crvenih permskih peščara preko ugljonosne miocenske serije je imala veliki značaj na ovodnjenost ležišta uglja u basenu. Najpre, na najvećem delu rasprostranjenja ugljonosnih miocenskih sedimenata, sprečena je direktna infiltracija voda od padavina i površinskih tokova, a sa druge strane, omogućeno je i veoma brzo oticanje ovih voda sa „novonastalog“ alohtonog brdovitog terena.

Nakon navlačenja crvenih permskih peščara, tektonski procesi su se nastavili i vršili su novu strukturnu deformaciju ležišta uglja.

Ležište uglja „Strmosten“ ima relativno pravilan sinklinalni položaj, pri čemu osa sinklinale ima pravac pružanja istok-zapad. Sinklinala po osi tone u pravcu zapada, dok se prema istoku izdiže i koritasto zatvara.

Rasedanje terena pre navlačenja permskih crvenih peščara (donji strukturni sprat alohtona - B₁) je od posebnog značaja jer je uticalo na promenljivost debljine i stvaranje jalovih zona (Ranković 1990). Vertikalno pomeranje ugljenog sloja usled rupturnih deformacija je iznosilo i do 100 m.

U drugom strukturnom spratu, na širem području ležišta uglja „Strmosten“, izdvojeno je četrnajest markantnih raseda, koji su doveli do većih ili manjih denivelacija slojeva uglja. Ovim rasedima kao i velikim brojem raseda sa relativno malim „skokom“ krila, formirano je u ležištu više tektonskih blokova (slika 75.).



Slika 75. Tektonska skica najznačajnijih raseda ležišta uglja „Strmosten“ u resavsko-moravsko basenu (Glišić 2006, modifikovano)

Rased R-1 je konstatovan u severnom delu ležišta i njime je zapadni tektonski blok spušten oko 40 m. Duž raseda R-2 je takođe spušten zapadni blok, ali sa skokom od oko 35 m. Rased R-3 se nalazi u severozapadnom delu ležišta, a njime je južno krilo spušteno oko 50 m (Glišić 2006). Položaji ostalih markantnih raseda u području ležišta uglja „Strmosten“, prikazan je na slici 75.

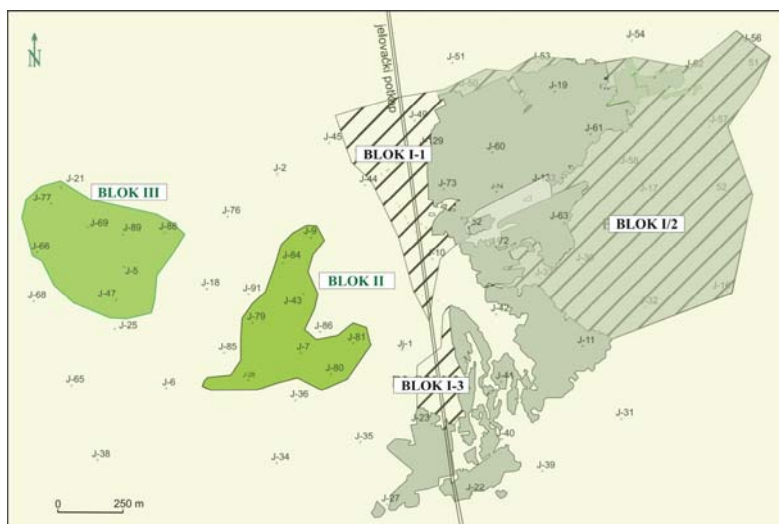
Ležište uglja „Jelovac“ je formirano u jednoj blago zatalasanoj sinklinali sa osom pružanja istok-zapad, koja tone prema zapadu i izdiže se prema istoku. Ugljeni sloj u južnom krilu sinklinale pada pod uglom oko 15°, a u zapadnom usled tektonskih deformacija i do 60° (Glišić 2006).

Severnom krilu posebno obeležje daje izražena dislokacija na južnim padinama Belog Brda, koja predstavlja ujedno i severnu granicu ležišta.

Ovu dislokaciju Maksimović 1956, objašnjava kao makazasto rasedanje sa povećanjem skoka prema zapadu, dok se „makaze“ zatvaraju prema istoku, tako da u području sela Jelovca postoji normalni kontakt miocenskih sedimenata i urgonskih krečnjaka.

Strukturnim ispitivanjima jame „Jelovac“, izdvojena su dva dominantna rasedna sistema po svom pružanju u miocenskim ugljonosnim sedimentima i označena su sa RSJ-1 i RSJ-2 (Ranković 1990). Glavnom rasednom sistemu RSJ-1, pripada 80% analiziranih podataka, a raspon pružanja im se kreće 55-145°, odnosno 235-325°. Drugi rasedni sistem RSJ-2, ima raspon pružanja u intervalu od 12-26°, odnosno 192-206°.

Usled rasedanja ugljonosne miocenske serije pre navlačenja permskih pešćara, kao i usled naknadnog dejstvom navlake, ležište uglja „Jelovac“ je izdvojeno na tri strukturno-geološka bloka (slika 76.).



Slika 76. Skica tektonskih blokova u ležištu uglja „Jelovac“ u resavsko-moravskog basena (Glišić 2006)

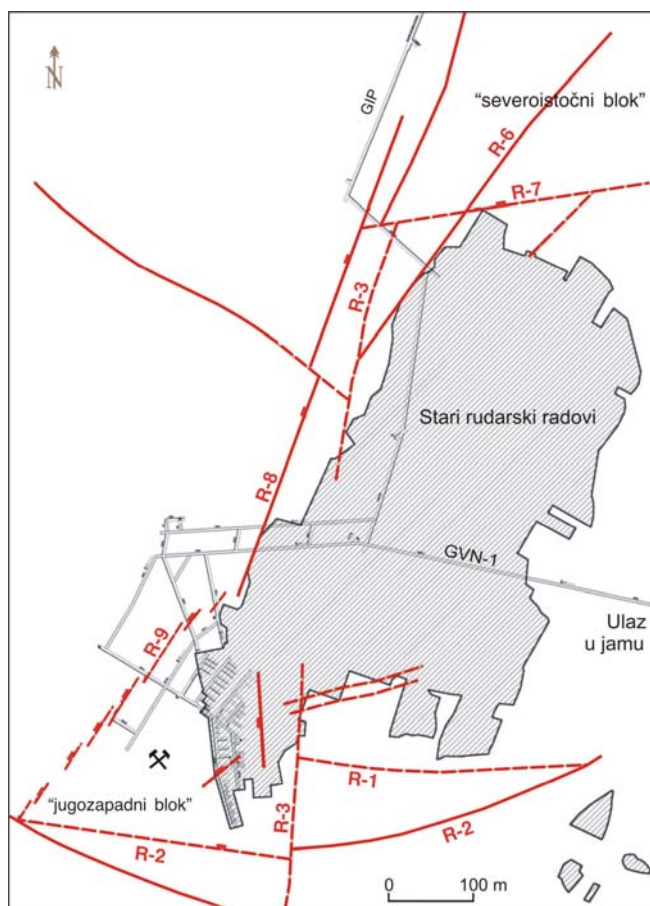
Tektonskim istraživanjima u „Senjskom Rudniku“ je utvrđena dinamična tektonska aktivnost, koja se odvijala ne samo za vreme navlačenja permskih pešćara već i nakon toga. Time je izvršeno složeno strukturno uređenje sklopa ovog terena, a to je dalo odraza i na ovodnjenosti ležišta uglja.

Najzastupljeniji pravci u autohtonom i alohtonom tektonskom bloku ovog ležišta uglja, upravni su na položaj nabornih struktura (azimuti 340° i 320°), što bi

moglo da znači da su i rasedi genetski vezani za istu fazu tektonskog oblikovanja (Petrović 2008).

Dosadašnjom eksploatacijom uglja, najbolje se pokazalo da se duž tektonski oštećenih zona, a pogotovo u donjokrednim krečnjacima, mogu formirati relativno značajne rezerve podzemnih voda, koje u određenoj fazi razrade ležišta, mogu potpuno usloviti radove na dalji otkop uglja. U dosadašnjem periodu, sve jame u resavsko-moravskom basenu su bile potapane iznenadnim prilivima rudničkih voda.

Ležištu uglja „Jasenovac“-centralno polje, najznačajnije obeležje daje blizničko-jasenovačka kraljušt sa istočnovergentnim kretanjem permskih crvenih pešcara sa mezozojskim sedimentima ili samo mezozojskih sedimenata, preko ugljonosne miocenske serije (Grubić i Antonijević 1961). Pored uticaja ove kraljušti, tektonsko obeležje ležištu uglja „centralno polje“, daju rasedi duž



Slika 77. Tektonska skica najznačajnijih raseda ležišta uglja „Jasenovac“- centralno polje (Petrović i Ratković 2010)

kojih je došlo do smicanja i u zavisnosti od inteziteta je došlo do izdvajanja većih ili manjih tektonskih blokova. Izdvojeni blokovi su međusobno denivelisani i sa različitim vrednostima pada i orijentacije.

U jugoistočnom delu ležišta „centralno polje“, reversnim rasedom R-1, ovo polje je odvojeno od „južnog polja“ (slika 77.).

Rased R-2 je „makazasti“ rased reversnog tipa i utvrđen je južno od raseda R-1. Pružanje raseda R-3 je sever-jug i sa padom ka zapadu. Ovaj rased prekida slojeve uglja po padu ka zapadu i njegov nastavak pružanja prema severu i jugu, nije jasno do sada definisan (Petrović i Ratković 2010).

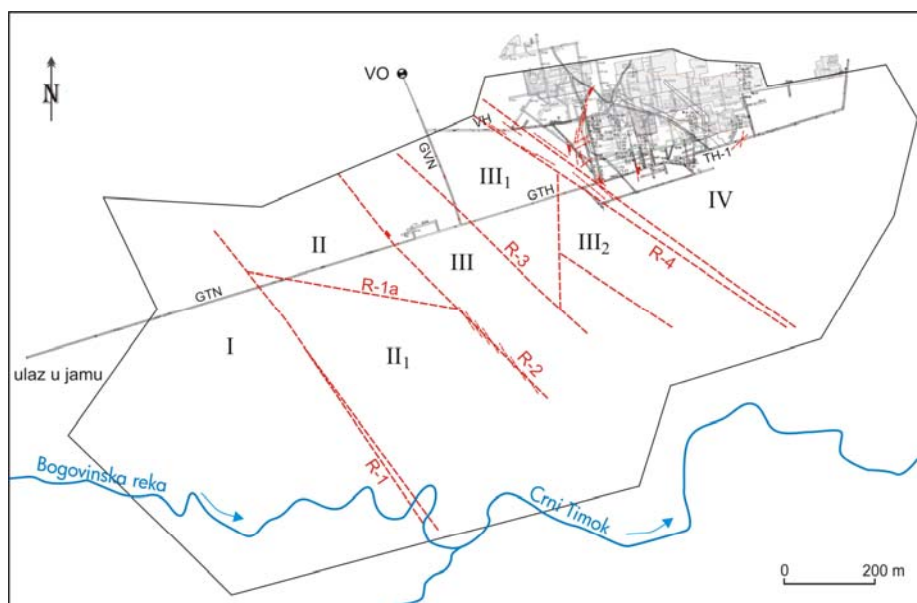
Rudarskim radovima je konstatovan i rased R-6 ($E_p=126/89$) u severoistočnom bloku (slika 77). Miocenska serija u ovom bloku je potonula oko 100 m u odnosu na jugo-istočno krilo raseda R-6.

Rased R-7 je konstatovan geološkim kartiranjem rudarskih prostorija. Elementi pada ovog raseda su $E_p=351/51$, a denivelacija blokova duž ovog raseda iznosi 35-70 m (Petrović i Ratković 2010).

Rudarskim radovima je konstatovan i rased R-8 (slika 77.). Elementi pada ovog raseda su $E_p=110/80$ i smatra se da čini zapadna granica ležišta.

Rased R-9 sa elementima pada $E_p=308/30$ i $E_p=302/52$, utvrđen je pri izradi više rudarskih prostorija (Petrović i Ratković 2010).

Bogovinski ugljonosni basen je tektonski izrasedan, tako da formirano ležište uglja u njemu ima tipičnu blokovsku građu. U „istočnom ugljonosnom polju“, konstatovana su četiri tektonska bloka (I, II, III-III₁, IV), koji se međusobno graniče rasedima gravitacionog tipa (slika 78.).



Slika 78. Tektonska skica ležišta uglja „Bogovina“- istočno polje
(podloga: tektonski sklop po Milenkoviću i Ramoviću 2004)

U zapadnom delu „istočnog ugljonosnog polja“, prilikom izvođenja rudarskih radova u niskopu GTN, utvrđeno je postojanje raseda R-1. Ovaj rased razdvaja tektonski blok I od bloka II.

Rased R-1a je utvrđen istražnim bušenjem i rudarskim radovima. Duž ovog raseda je spušten blok II oko 70 m u odnosu na blok II₁ (Ratković 2011).

Rased R-2 je prvo konstatovan istražnim bušenjem, a njegovo postojanje je kasnije potvrđeno i pri izradi niskopa GTN. Rased predstavlja istočnu granicu tektonskog bloka II, a kretanja duž njegove površi je utvrđeno od 50 m (Ratković 2011).

Zapadnu granicu tektonskom bloku III, čini rased R-3, sa „skokom“ oko 80 m. Rased R-3a je uslovio spuštanje tektonski blok III, za par metara u odnosu na blok III₁.

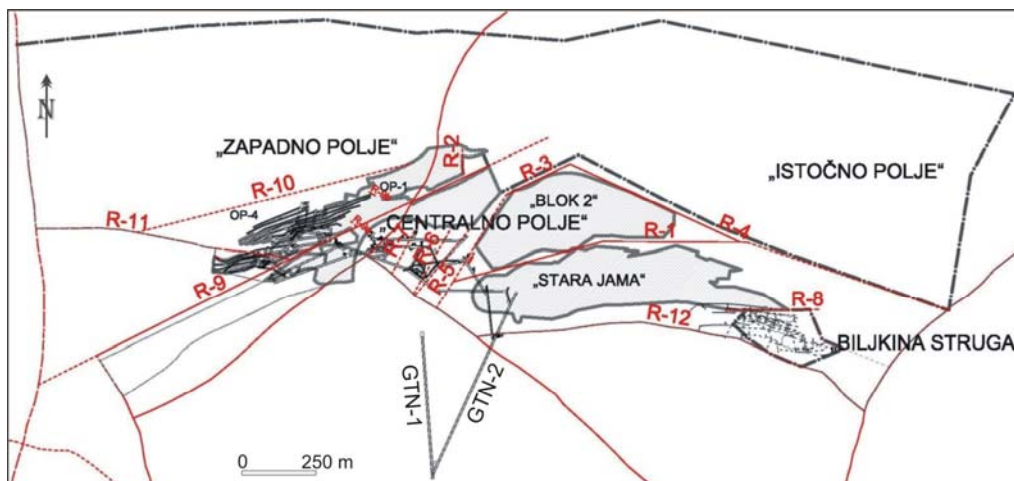
Granicu između tektonskih blokova III i IV, čini rased R-4 (slika 78.). Njegovo postojanje je potvrđeno istražnim bušenjem i pri izradi rudarskih prostorija. Ovim rasedom, tektonski blok IV je spušten u odnosu na blok III, od par metara pa do 40 m (Ratković 2011).

Područje ležišta uglja „Soko“, pripada čitlučkom tektonskom bloku sokobanjskog basena. U okviru ovog homogenog tektonskog bloka, konstatovani su brojni rasedi i rasedne zone, koje ga dele na manje blokove.

U starim rudarskim radovima (područje „Stare jame“), konstatovani su rasedi sa strmim padovima i pravcem pružanja severozapad-jugoistok (Petrović 1984). U trenutno aktivnim rudarskim prostorijama i rudarskim radovima u otkopnom polju OP-4, preovlađuju gravitacioni rasedi i oni imaju najizraženiju kinematiku. Podređeniju ulogu imaju reversni i transkuretni rasedi koji se karakterišu i slabijim kretanjem. Kretanja po rasednim površima su vrlo složena, najčešće translatorna i rotaciona. Zapaženo je u nekim slučajevima da je dolazilo i do višefaznog kretanja. Na osnovu rezultata dosadašnjih strukturno-geoloških istraživanja u ležištu je konstatovano više markantnih raseda (slika 79.).

U centralnom polju, rasednom zonom označenom sa R-1 i više gravitacionih raseda, odvojen je južni blok („Stara jama“) od severnog bloka u kome se nalaze proizvodni sistem nove jame. Duž ove rasedne zone je izvršeno kretanje blokova sa „skokom“ od 80 do 100 m, stim da je uz sistem drugih raseda, severni blok potonuo (Petrović 2011).

Tokom ranijih istraživanja je pridavan veliki značaj rasedu R-2 („čitlučkom rasedu“). Međutim, novim rudarskim radovima je potvrđeno da se radi o gravitacionom rasedu sa padom ka zapadu, duž kog je zapadno krilo spušteno 10-15 m.



Slika 79. Tektonska skica ležišta uglja „Soko“ u sokobanjskom basenu (Petrović 2011)

Rudarskim radovima je potvrđen rased R-3 na severnoj granici „bloka 2“ i njime je izvršena denivelacija slojeva uglja 20-30 m (slika 79.).

Rased R-4 je jedan od značajnijih raseda u ležištu uglja „Soko“, jer je njime izdvojen istočni deo ležišta. Rezultati istražnog bušenja iz jame ukazuju da se radi o makazastom rasedu sa padom ka severoistoku i da je njime izvršena denivelacija ugljenog sloja 140-150 m. Smatra se da ovaj rased prati sistem raseda gravitacionog tipa, duž koji je spušteno istošno krilo. Pravci pružanja ovih detektovanih raseda je SZ-JI, a padni uglovi od 50-81° (Petrović 2011).

Posebni značaj rasedu R-4 se pridaje zbog pojave metana (CH_4), koji je tokom istražnog bušenja, konstatovan u njemu više navrata. Prisustvo metana duž raseda ima poseban značaj u pogledu sagledavanja ovodnjenosti ležišta uglja.

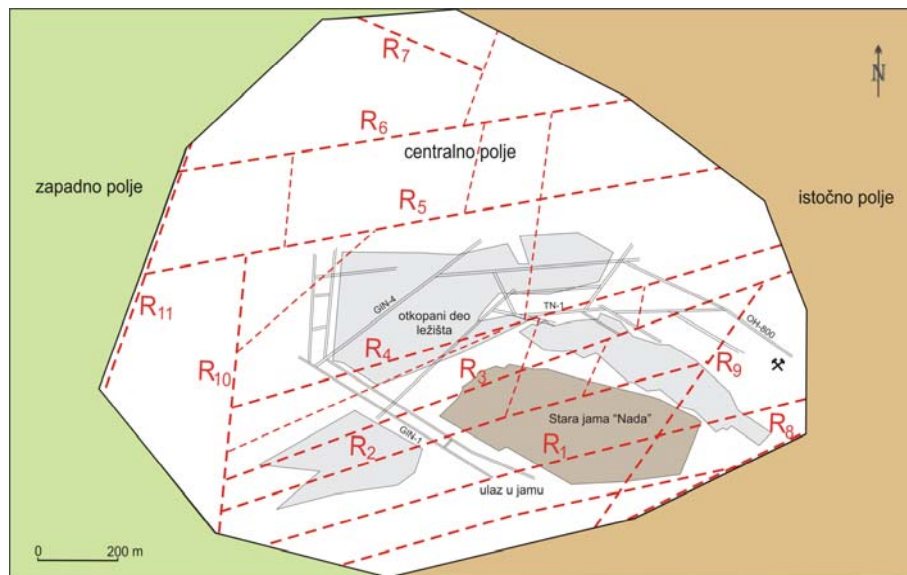
Rudarskim radovima u ležištu je konstatovan rased R-5, koji čini tektonsku granicu „bloka 2“ ka zapadnom delu „centralnog polja“. Elementi pada raseda su $E_p=301/56$ i duž njega je izvršen „skok“ krila od 50 m (Petrović 2011).

Pored gore navedenih raseda, istražnim bušenjem i rudarskim radovima je utvrđeno više drugih raseda u ležištu sa većim ili manjim obimom kretanja.

Osnovno tektonsko obeležje ležištu uglja „Štavalj“ - centralno polje, daje struktura antiforne. Ova struktura je deformisana rasedima sa skokovima koji su veći u perifernim delovima ležišta, gde je izraženo generalno tonjenje blokova (Novković 1983). Usled makazastog rasedanja, došlo je do izdvajanja

blokova sa različitim padovima, a time zauzimanje i padova slojeva uglja koji se kreću 30-50°.

Ležište uglja „centralno polje“ je izdeljeno sa više izraženih dislokacija (slika 80.). Južnu konturu ležištu uglja čini makazasti rased koji označen sa R-1.



Slika 80. Tektonska skica ležišta uglja "Štavalj" - centralno polje
(podloga: tektonski sklop Lojanicia 2009)

Rudarskim radovima i istražnim bušenjem je potvrđeno da skok krila raseda iznosi preko 50 m i da raste od istoka prema zapadu (Lojanicia 2009).

Rasedi R-2 i R-3 imaju pravce pružanja istok-zapad, što je karakterističan pravac uglavno za sve markantne rasede u ležištu uglja „centralno polje“. Duž ovih raaseda, izvršen je kretanje krila do 30 m (Lojanicia 2009).

Rasedna zona R-4, zajedno sa rasedom R-3, čini tektonski rov, odnosno prostor na međusobnom rastojanju i do 100 m, koji nije produktivan sa rudarskog aspekta.

Rasedi R-5 i R-6, utvrđeni su na osnovu rezultata istražnog bušenja.

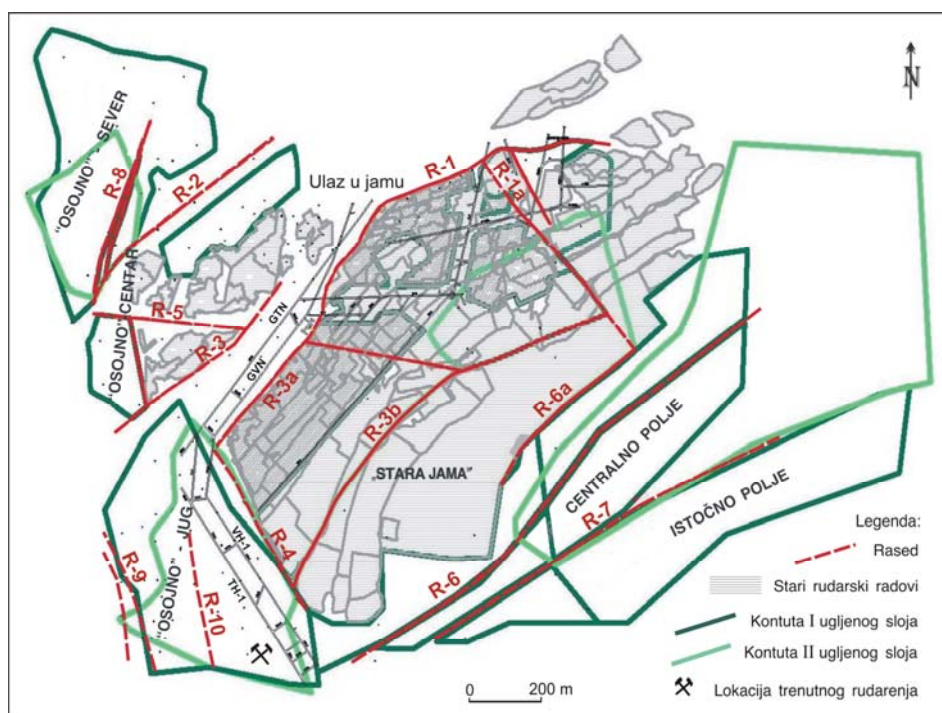
U severnom delu ležišta gde vladaju relativno mirni tektonski uslovi, konstatovana je istražnim bušenjem nešto izraženija tektonska zona, označena sa R-7. Skok krila duž ove dislokacije, iznosi do 20 m (Lojanicia 2009).

Pored gore navedenih raseda koji ležištu daju najznačajnije tektonsko obeležje, u ležištu je konstatovan i sistem raseda koji ima upravran položaj, odnosno pravac pružanja SI-JZ. Skok krila duž ovih raseda (označenih sa R-8 do R-14) je nešto manji i kreće se do 15 m. Njima je ležište raskomadano na

manje tektonske blokove dužine 120 do 500 m i širine do 250 m. Pad slojeva uglja u njima je od 10 do 55° i to od juga ka severu (Lojanica 2009).

Osnovno tektonsko obeležje ležištu uglja "Lubnica" daju sinklinale koje su lokalno odvojene rasednim zonama. Tako se mogu izdvojiti *jugoistožna sinklinala* u kojoj je formirano „centralno“ i „istočno“ ugljonosno polje, i tektonski složena *severozapadna sinklinala* u kojoj je formirano ugljonosno polje „Osojno“.

Na slici 81., prikazan je položaj najmarkantnijih raseda i rasednih zona, koji su utvrđeni istražnim bušenjem i izvedenim rudarskim radovima.



Slika 81. Tektonska skica ležišta uglja "Lubnica"
(Petrović 2009)

“Centralno ugljonosno polje” kome pripada i prostor “Stare jame”, okontureno je na severu rasedom R-1. Duž ovog raseda je spuštено severno krilo, a upravnim rasedom R-1a, spuštено je i severoistočno krilo (slika 81.).

U zapadnom delu ležišta, odnosno u ugljonosnom polju „Osojno“, rasedom R-2, odvojeno je krilo „Osojno“-centar, od tektonski spuštеноg krila „Osojno“-sever i to za više od 50 m (Petrović 2009).

Rased R-3 je konstatovan rudarskim radovima. Oko 150 m jugoistočno od njega, utvrđena je rasedna zona (R-3a), sa približno istim pružanjem i

padom. Ovim dislokacija, odvojena je „Stara jama“, od ugljunosnog polja „Osojno“. Rudarskim radovima u „Staroj jami“ utvrđen je veći broj uzdužnih, poprečnih i dijagonalnih raseda, ali najmarkantniji rased je R-3b, koji se na udaljenosti oko 350 m proteže jugoistočno od rasedne zone R-3a.

Rudarskim radovima u „Staroj jami“, utvrđen je rased R-4, koji je ograničio eksploataciju uglja u pravcu jugozapada. Njime je jugozapadno krilo, odnosno polje „Osojno“-jug spušteno za oko 20–30 m (Petrović 2009).

Rased R-5 je utvrđen rudarskim radovima u ugljunosnom polju „Osojno“-centar i duž njega je spušteno severno krila.

Rasedi R-6, R-6a i R-7 sa približno paralelnim pravcem pružanja, predstavljaju najznačajnije tektonske dislokacije u “centralnom” i „istočnom polju”.

U ugljunosnom polju „Osojno“-sever je konstatovan makazasti rased R-8., kojim je izvršena denivelacija slojeva uglja (Petrović 2009).

Rased R-9 čini zapadnu granicu polja „Osojno“-jug, a za rased R-10 koji se javlja u centralnom delu ovog ugljunosnog polja, smatra se da predpostavlja makazasti rased sa „otvaranjem” prema jugu.

3.1.4. Hidrogeološki uslovi ovodnjenosti ležišta ugljeva

Poznavanje hidrogeoloških uslova ovodnjenosti ležišta mineralnih sirovina, ima izuzetno važnu ulogu za njihovu uspešnu eksploataciju. Brojni primeri iz dosadašnje prakse u Srbiji, ukazuju da su složeni hidrogeološki uslova ovodnjenosti ležišta kamenih i mrkih ugljeva, imali velike posledice na podzemnu eksploataciju uglja, jer su gotovo sve jame bile u dosadašnjem periodu potapanje i pri tome činjena ogromna materijalna šteta. Posebne poteškoće u tom pogledu stvaraju iznenadni prilivi rudničkih voda, koje se javljaju kao posledica nedovoljne hidrogeološke istraženosti ležišta i njegovog neposrednog oboda.

Rezultati izvedenih hidrogeoloških istraživanja ležišta kamenih i mrkih ugljeva Srbije u kojima se trenutno obavlja eksploatacija, ukazuju da postoje razlike u hidrogeološkom značaju koji imaju podzemne vode iz same ugljunosne serije na ovodnjenost ležišta, u odnosu na podzemne vode iz paleoreljefa ili povlate ležišta. Iz tog razloga na ovom mestu, posebno su razmatrane hidrogeološke karakteristike: *stena paleoreljefa ugljunosne serije, stena same ugljunosne serije i stena povlate ugljunosne serije.*

3.1.4.1. Hidrogeološke karakteristike stena paleoreljefa ugljunosne serije

Stene paleoreljefa ugljunosnih basena u kojima se trenutno otkopava kameni i mrki ugalj u Srbiji, imaju relativno složenu hidrogeološku funkciju. Zavisno od strukturnog tipa poroznosti, u stenama paleoreljefa i neposrednog oboda je formiran:

- a) pukotinski tip izdani;
- b) karstni tip izdani.

Uticao izdvojenih tipova izdani se različito odražava na ovodnjenost analiziranih ležišta uglja.

a) *Pukotinski tip izdani* je formiran u stenama paleoreljefa ugljunosnih serijama ležišta kamenih ugljeva „Vrška Čuka“, „Jarando“, „Tadenje-Progorelica“, kao i ležištima mrkih ugljeva „Senjski Rudnik“, „Bogovina“ i „Lubnica“.

U nekim slučajevima, pukotinska izdan paleoreljefa navedenih ležišta uglja, čini jedinstvenu hidrogeološku strukturu sa pukotinskom izdani koja je formirana u bazalnim gruboklastičnim i konglomeratičnim partijama samih ugljunosnih serija.

Na osnovu dosadašnjih iskustava tokom izvođenja rudarskih radova kroz stena paleoreljefa sa pukotinskom poroznošću, prilivi rudničkih voda su se različito manifestovali.

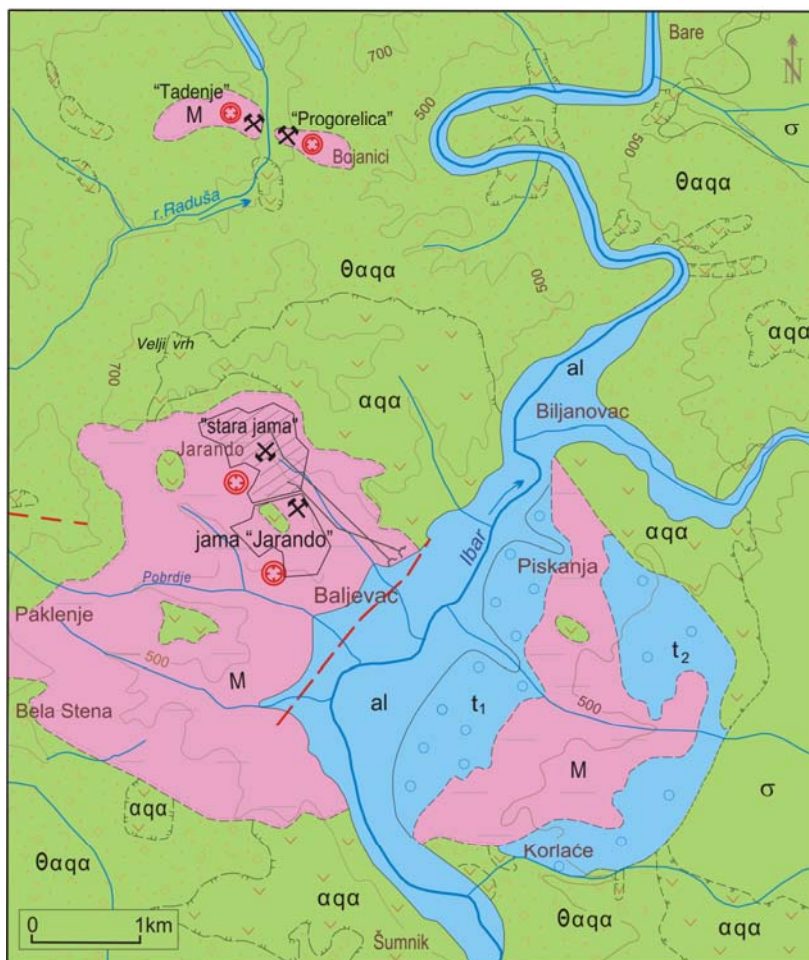
U području ležišta uglja „Jarando“ i „Tadenje-Progorelica“, jedinstvenu pukotinsku hidrogeološku strukturu čine dacito-andeziti ($\alpha\alpha$) i vulkanski piroklastiti ($\theta\alpha\alpha$) paleoreljefa (slika 82.). Vodonosnost ovih stena je potvrđena dosadašnjim rudarskim radovima u jami „Jarando“.

Na kontaktu ugljunosne miocenske serije i andezita paleoreljefa, konstatovan je samoizliv iz istražnih bušotina koje su izvedene iz potkopa „Baljevac“ u otkopnom polju OP-2 („spušteni deo“), slika 73. Nakon početnog perioda intenzivnog dreniranja pukotinske izdani, samoizliv je kasnije smanjio (Đalović 1985, Đalović 1994).

Dosadašnjim istražnim bušenjem kroz vulkanske piroklastite paleoreljefa u „tadenjsko-progoreličkom“ basenu, nisu konstatovani značajnije izdanske zone, kao ni samoizlivi podzemnih voda.

U području ležišta uglja „istočno polje“ u **bogovinskom basenu**, pukotinski tip izdani je formiran u sledećim stenama paleoreljefa: andezitima

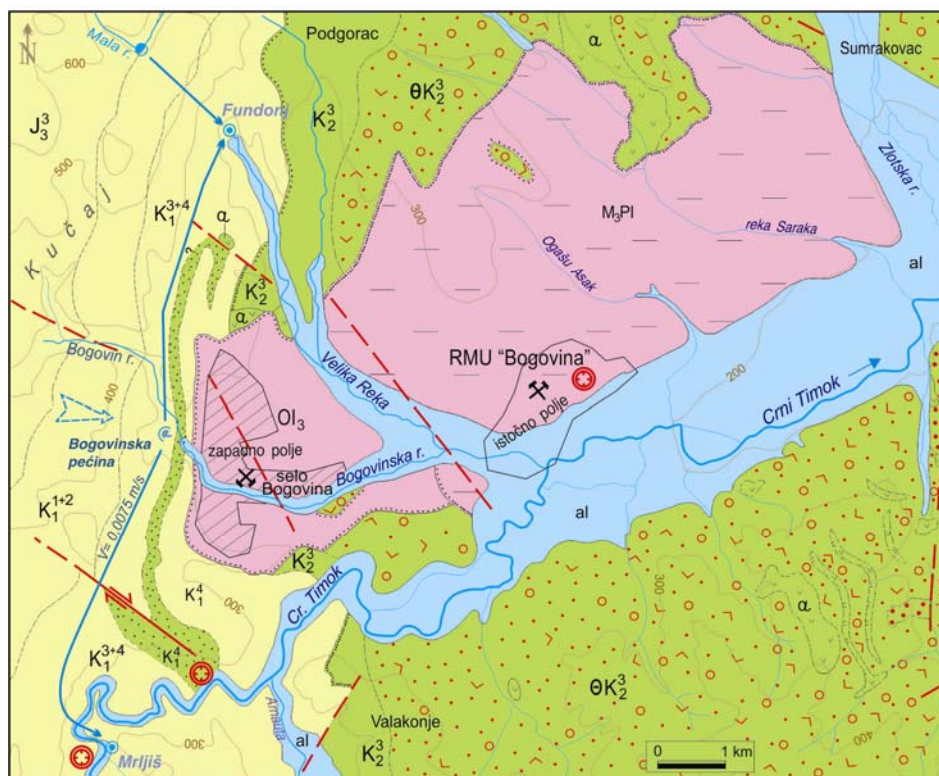
(a), andezitskim tufovima (θK_2^3) i senonskim konglomeratima, pešćarima, laporcima i laporovitim krečnjacima (K_2^3), slika 83. Istražnim bušenjem je konstatovano da su andeziti paleoreljefa sveži, tako da im tektonska oštećenost u tom slučaju daje dobra kolektorska svojstva.



Slika 82. Hidrogeološka karta šireg područja ležišta uglja u ibarskom basenu

■ zbijeni tip izdani (al – aluvijum; $t_{1,2}$ – rečna terasa); ■ pukotinski tip izdani (θααα – tufovi, tufti, vulkanske breče; ααα – dacito-andeziti; $J_3^{2,3}$ – dijabaz-rožna formacija; σ – harcburgitski serpentiniti); ■ hidrogeološki kompleks (M – ugljonošni vulkanogeno-sedimentni kompleks miocena (konglomerati, pešćari, tufovi, laporci, glinci, ugalj, ugljevite gline, krečnjaci); - - - - - rased

Najznačajnije rezerve izdanskih voda u andezitskim tufovima su formirane uglavnom za površinsku jače raspadnutu zonu. Duboko ispod lokalnih erozionih bazisa, kao u paleoreljefu ugljonošne serije „istočnog polja“, pukotinska izdan u andezitskim tufovima je sa nivoom po pritiskom.



Slika 83. Hidrogeološka karta šireg područja bogovinskog basena

zbijeni tip izdani (al – aluvijum);
 pukotinski tip izdani (α – andeziti; K_2^3 – konglomerati, peščari, laporci, laporoviti krečnjaci; θ – tufovi, tufti, vulkanske breče; K_1^4 – orbitolinski peščari);
 karstni tip izdani (K_1^{3+4} – masivni i bankoviti krečnjaci; K_1^{1+2} – slojeviti i bankoviti krečnjaci; J_3^3 – bankoviti i masivni krečnjaci i dolomiti);
 hidrogeološki kompleks (M_3PI – konglomerati, aglomerati, peskovi, šljunkovi, gline; Ol_3 – konglomerati, gline, laporci, ugalj);
 - - - - - rased; - utvrdjeni pravac izdanskog toka

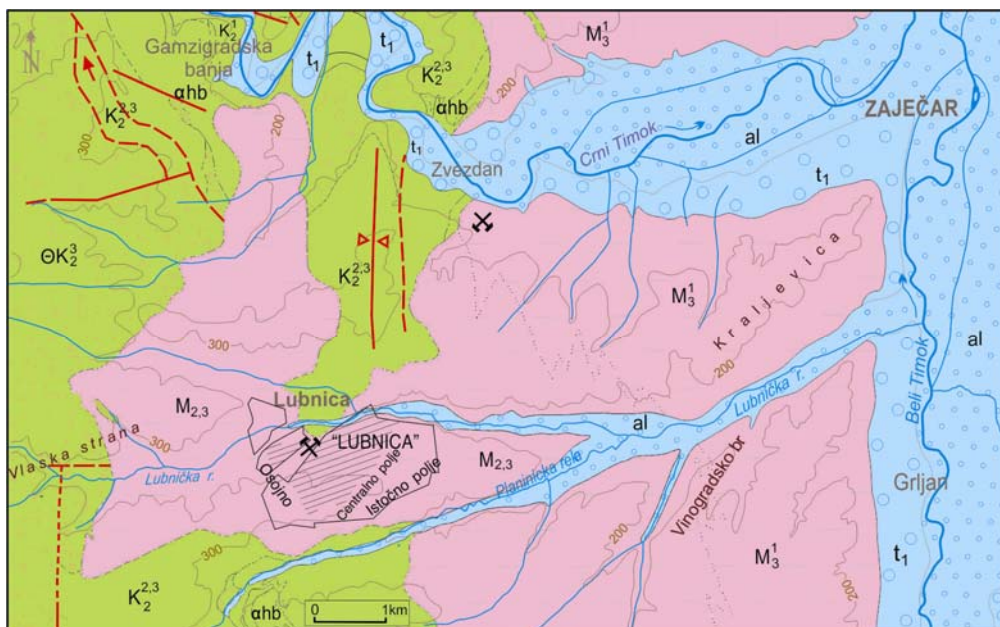
Istražnim geološkim bušenjem u zapadnom delu „istočnog ugljunosnog polja“ (kod bezinske pumpe na raskrsnici za selo Bogovinu), konstatovan je samoizliv iz bušotine, kada su na dubini od 202 m, nabušeni andezitski tufovi (Filipović i dr. 1975). Nakon početnog dreniranja pukotinske izdani, samoizliv je kasnije prestao iz bušotine.

Pukotinska izdan formirana u stenama paleoreljefa ugljunosnih serija „Vrške Čuke“, „Senjskog Rudnika“ i „Lubnice“, nije u dosadašnjem periodu imala značajniji uticaj na prilive rudničkih voda.

Kao primer se može navesti slučaj u lubničkom basenu. U ovom basenu, pukotinski tip izdani je formiran u andezitima i andezitskim tufovima (α/hb), kao i u gornje krednim laporcima i peščarima ($K_2^{2,3}$), slika 84.

Rudarski radovi kroz ove tvorevine su izvedeni na značajnom prostori, a do priliva podzemnih voda je došlo samo u vidu manjih curenja i kapanja. Ove

pojave su registrovane u glavnom transportnom niskopu GTN (slika 81.). Prva pojava se manifestovala na dubini od oko 70 m u odnosu na površinu terena, a druga na dubini od 190-200 m (na čelu GTN koji se tokom aprila 2011. godine, probijao kroz andezite).



Slika 84. Hidrogeološka karta šireg područja lubničko-zvezdanskog basena

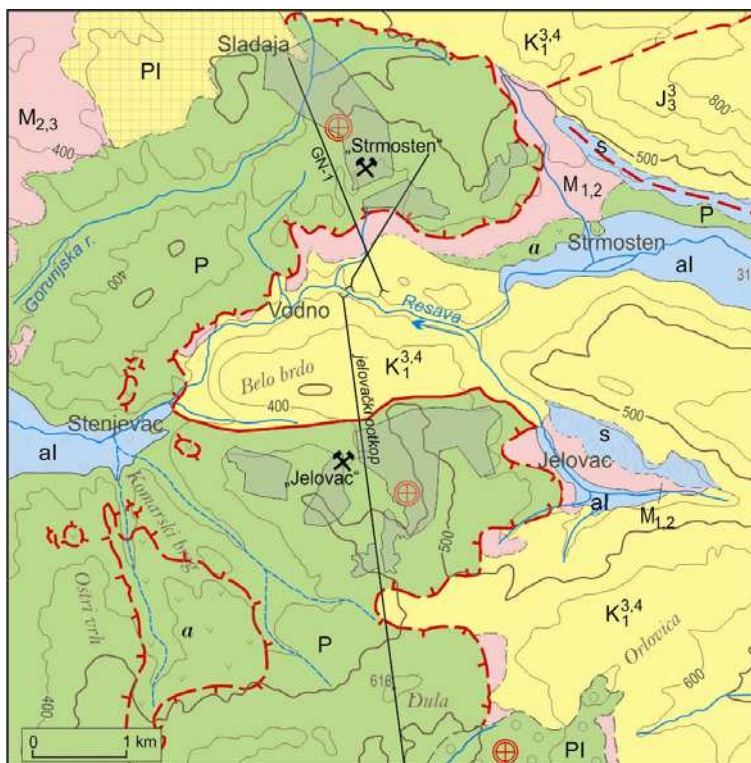
zbijeni tip izdani (al – aluvijum; t_1 , t_2 – rečna terasa);
 pukotinski tip izdani (ΘK_2^3 – vulkanoklastiti; ahb – andeziti, andezitski tufovi; $K_2^{2,3}$ – laporci, peskoviti laporci, peščari);
 hidrogeološki kompleks (M_3^1 – konglomerati, peskovi, gline, šljunkovi; $M_{2,3}$ – peskovi, alevriti, gline, konglomerati, šljunkovi, glinoviti peščari);
 - - - - - rased

b) Karstni tip izdani koji je formiran u karbonatnim stenama paleoreljefa ugljunosnih serija, ima najveće reperkusije na odvodjenost ležišta uglja. Ova izdan se javlja u peioreljefu ležišta uglja „Strmosten“ i „Jelovac“ (Resavsko-moravski basen), u centralnom polju ležišta uglja „Jasenovac“, zatim u području ležišta uglja „Soko“, kao i ležišta uglja „Štavalj“.

U području **resavsko-moravskog basena**, karstni tip izdani je formiran u autohtonim krednim krečnjacima, odnosno tzv. „istočnom krečnjačkom pojasu“ (slika 85.).

Proces karstifikacije je veoma duboko zahvatio ove krečnjake, stvorivši pritom pravi karstni reljef sa brojnim površinskim i podzemnim morfološkim oblicima. U ovom karstu, sreću se brojna fosilna rečna korita, a rečni tokovi koji su formirani u neposrednim područjima analiziranih ležišta uglja (Resava, Resavica),

konstatovano je da imaju značajne oscilacije proticaja, što je potvrđeno simultanim hidrometrijskim merenjima (slika 86.).



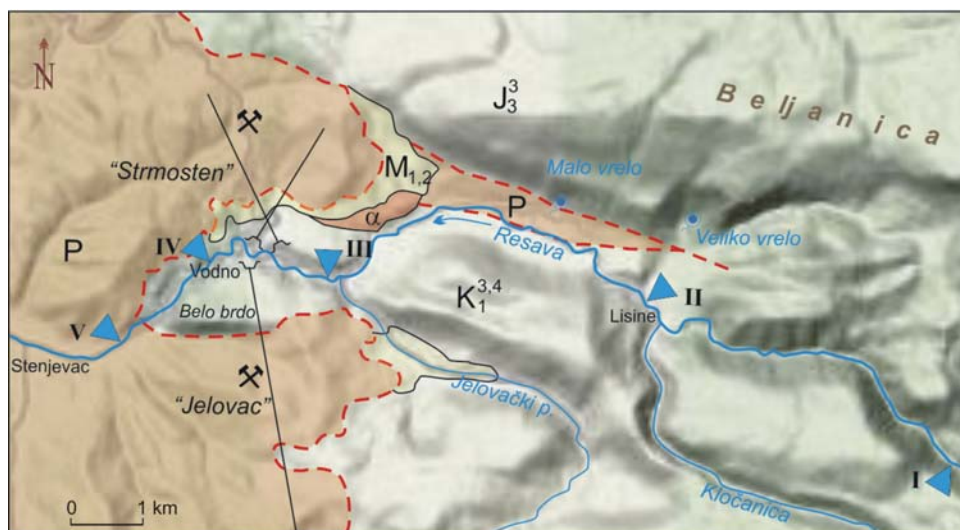
Slika 85. Hidrogeološka karta ležišta uglja "Strmosten" - "Jelovac" (Rembas)

■ zbijeni tip izdani (al - aluvijum; s - sipar); ■ pukotinski tip izdani (Pl - konglomerati; α - dacito-andeziti; P - crveni peščari); ■ karstni tip izdani (Pl - jezerski bigar; K₁^{3,4} - krečnjaci; J₃³ - krečnjaci); ■ hidrogeološki kompleks (M_{2,3} - konglo., peščari, peskovi, gline; M_{1,2} - ugljonosna miocenska serija); — geološka granica; - - - čelo navlake; - - - rased

Na Resavi, simultana hidrometrijska merenja su vršena u tri serije. Prva merenja su obavljena 27.05.1993. godine, kada je registrovan je priraštaj proticaja Resave između profila I (pre stupanja na karstnu podlogu) i profila V (posle karstne podloge) od 463,5 l/s, što predstavlja oko 2,2 puta veći proticaj (slika 86.).

Merenjima koja su nakon toga izvršena (12.05.1994. god., tabela 18.), ukazalu su da u području ležišta uglja „Strmosten” i „Jelovac”, postoji značajan priraštaj proticaja Resave nizvodno od profila III (Miladinović 2003).

Ovako dobijeni rezultati ukazuju na dreniranje karstne izdani direktno u tok Resave i to bez obzira što se duboku ispod lokalnog erozionog bazisa ove reke kod naselja Vodna, izvedene rudarske prostorije kroz karstnu sredinu.



Slika 86. Šema rasporeda hidrometrijskih profila na kojima su vršena merenja proticaja reke Resave

$M_{1,2}$ – ugljonosna miocenska serija (konglomerati, peščari, peskovite gline, ugalj, laporci, glinci);
 α – dacito-andeziti; $K_1^{3,4}$ – krečnjaci; J_3^3 – krečnjaci; P – crveni peščari; ▼ - hidrometrijski profil

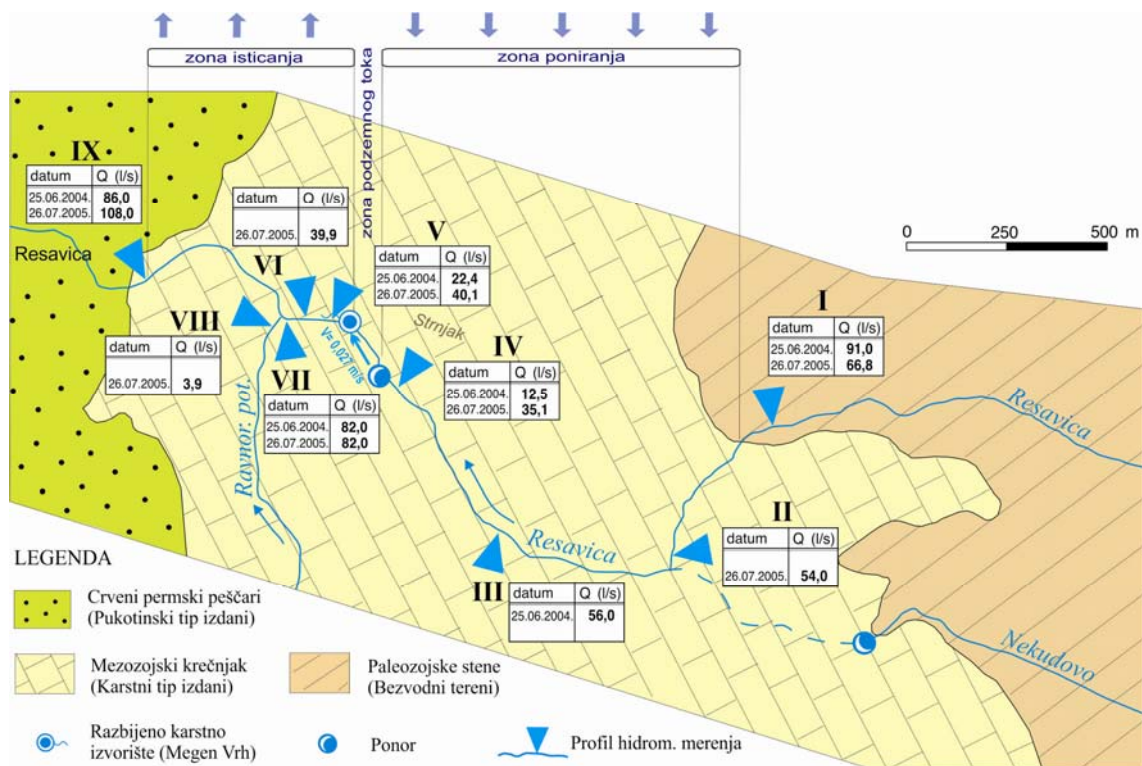
Pri nižim vodostajima Resave (29.07.1994. god.), ovi rezultati su takođe potvrđeni (tabela 18.).

Tabela 18. Rezultati simultanih hidrometrijskih merenja proticaja reke Resave na deonici toka od ušća Jelovačkog potoka do sela Stenjevac (slika 86.)

Datum	Proticaj na mernom profilu (l/s)		
	III	IV	V
Prva serija merenja (12.05.1994.)	2709,1	2766,0	2822,8
Druga serija merenja (29.07.1994.)	485,1	521,0	559,3

Hidrometrijska merenja na toka Resavice koji je formiran po mezozojskim krenjacima, izvedena su u dve serije i to na sedam sukcesivno postavljenih profila (slika 87.).

Dobijeni rezultati sprovedenih istraživanja, ukazali su na veoma značajna saznanja o uslovima dreniranja karstne izdani u slivu Resavice tokom registrovanih hidroloških minimuma. Utvrđeno je da u slivu Resavice tokom pojedinih hidroloških ciklusa, dolazi skoro do potpunog pražnjenja dinamičkih rezervi karstne izdani i da su u periodu 2004-2006. godina (kada je bio uspostavljen monitoring površinskih i podzemnih voda), prosečni godišnji oticaji sa sliva, iznosili samo 29,53 % od prosečnih godišnjih suma padavina.



Slika 87. Grafički prikaz rezultata simultanih hidrometrijskih merenja proticaja reke Resavice na karstu Kučaja (Miladinović 2010)

Zapravo, na delu toka koji je uzvodniji od Strnjaka (područje razbijenog karstnog izvorišta) i koji čine gornjo jurski i donjo kredni krečnjaci, Resavica ima jako nestabilan proticaj. U nizvodnijem delu toka u pravcu čela navlake crvenih permskih peščara, podlogu po kojoj teče Resavica čine donjo kredni krečnjaci, a konstatovani priraštaj proticaja je postepen i bez vidljivih zona koncentrisanih isticanja izdanskih voda iz karstne izdani.

Značajna vodonosnost donjo krednih krečnjaka je potvrđena i tokom hidrogeoloških istraživanja karstnih podzemnih voda u klisuri reke Resavice (2002-2005.) za potrebe vodosnabdevanja naselja Resavica (Miladinović i dr. 2006).

U području karstnog izvorišta Srnjak, hidrodinamičkim ispitivanjima u istražno-eksploatacionom bunaru IEB-1R dubine 126 m, potvrđena je vodoprovodnost donjo krednih krečnjaka od $T = 1,63 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (slika 88.).

U delu karstnog akvifera („istočni karstni pojas“) koji se nalazi ispod tvorevina ugljonošne miocenske serije resavsko-moravskog basena i navlake crvenih permskih peščara (slika 85.), hidrogeološke karakteristike donjo krednih krečnjaka su nešto drugačije. Zapravo, brojnim izvedenim rudarskim radovima

kroz ovu sredinu i to duboko ispod lokalnog erozionog bazisa, utvrđeno je da postoje značajne razlike u pogledu njihove vodonosnosti.



*Slika 88. Test crpenja u bunara IEB-1R u klisuri Resavice sa kapacitetom $Q= 19,4$ l/s
(foto B.Miladinović)*

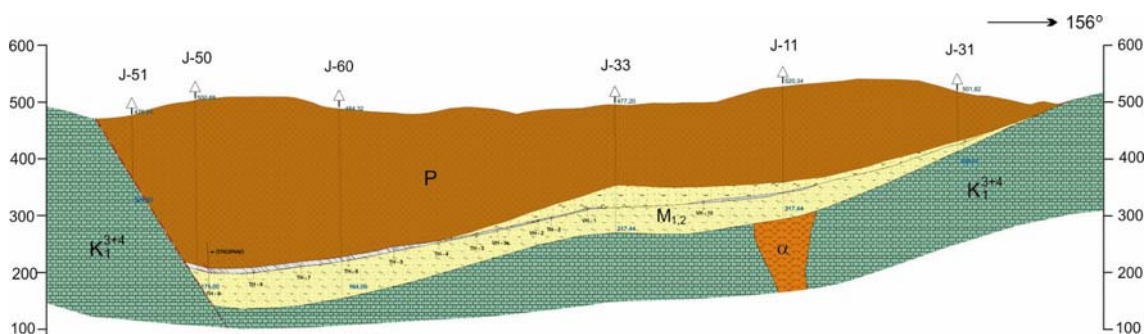
U području ležišta uglja „Strmosten“, rudarski radovi kroz urgonske krečnjake, izvedeni su 235 m ispod lokalnog erozionog bazisa reke Resave. Samo prekop na k.45 (horizontalna rudarska prostorija), izveden je na dužini od 700 m i pri tome su konstatovani prili iz karstne izdani u proseku od 2 l/s. Međutim, iznad lokalnog erozionog bazisa reke Resave (područje „strmostenskog potkopa“), urgonski krečnjaci su značajno karstifikovani.

U području ležišta uglja „Jelovac“, karstna izdan iz urgonskih krečnjaka do 2002. godine, nije značajnije uslovljavala prilive u rudarske radove. Međutim, tokom izrade glavnog transportnog niskopa GTN-1 kroz donjo kredne krečnjake (slika 89.), koji čine zapadni obod ležišta uglja „Jelovac“, došlo je do iznenadnih priliva na k.209.

Na osnovu dosadašnjih saznanja, značajnije rezerve izdanskih voda u donjo krednim krečnjacima i to u neposrednom području resavsko-moravskog basena, mogu se formirati duž tektonski jače oštećenih zona ili duž kontakta sa miocenskim sedimentima. Ovo najbolje pokazuje primer potapanja jame „Ravna Reka“ 1973. godine i to kada se niskopom N-32 iz miocenske serije, prišlo kontaktu sa krednim krečnjacima. Tada su prilivi iz ovodnjene rasedne zone iznosili 100 l/s, a kasnije je došlo do značajnog smanjenja.

Da postoje i suprotni slučajevi od navedenog, dokaz pružaju rezultati istražnog bušenja iz transportnog hodnika TH-9 u jami „Jelovac“. Sa k.185-215, vršeno je zapravo usmereno istražno bušenje u pravcu rasedne zone koja se javlja

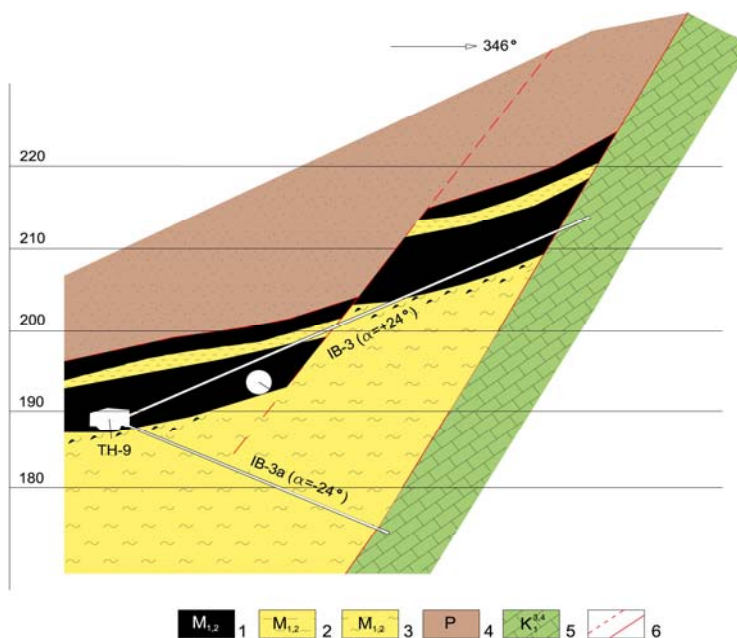
duž južnih oboda Belog Brda (bušotine: IB-3, IB-3a, IB-5a, IB-6, IB-6a). Ovim radovima nije došlo do isticanja podzemnih voda, a na slici 90., prikazani su profili bušotina IB-3 i IB-3a.



Slika 89. Geološki profil terena kroz ležište uglja „Jelovac” – Rembas
(Glišić 2006)

M_{1,2} – ugljonošna miocenska serija (konglomerati, peščari, peskovite gline, ugalj, laporci, glinci);
a – dacito-andeziri; *K₁^{3,4}* – krečnjaci urgona; *P* – crveni permski peščari (alohton); - - - - - rased

Veoma značajni podaci o slaboj vodonosnosti donjo krednih krečnjaka u pojedinim delovima resavsko-moravskog basena i to ispod navlake crvenih permskih peščara, pružaju i rezultati istražnog bušenja u neposrednom području vrela Grze.



Slika 90. Profili istražnih jamskih bušotina IB-3 i IB-3a u ležištu uglja „Jelovac”
(po podacima Andrejić 1992)

1., 2., 3., ugljonošna miocenska serija (ugalj, laporci, glinci, peskovite gline, ugljevite gline); 4. alohtoni crveni permski peščari; 5. donjo kredni krečnjaci; 6. rasedi

Bušotinom IBG-1 dubine 250 m, dobijen je samoizliv od oko 0,2 l/s, s napomenom da je bušotina hipsometrijski niža 3 m od kote isticanja voda vrela Grze. Opitom crpenja je dobijena vodoprovodnost donjo krednih krenjaka od $T = 6,53 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ (Tomić 1991).

U paleoreljefu ležišta uglja „Jasenovac“-centralno polje, karstni tip izdani je formiran u karbonatnim stenama anizijskog i ladinskog kata (T_2^{1+2}), dogera (J_2) i malma (J_3).

Ograničenja u razvoju karstnog evolucionog procesa u krečnjacima srednjeg trijasa (T_2^{1+2}) i dogera (J_2), značajno su uticale njegove peskovite i laporovite komponente, kao i prisustvo rožnaca, a posebno proslojci laporaca i škrljavih glinaca. Iz tog razloga ovu sredinu pored karstne, karakteriše pukotinska poroznost i to sa relativno slabim kolektorskim svojstvima. Rudarski radovi koji su izvedeni kroz ove stene, ukazuju da se radi o slaboj vodonosnoj sredini. U zonama tektonskih razloma, postoje međutim uslovi za formiranje izvesnih rezervi podzemnih voda.

Zahvaćeni snažnim dejstvom navlake, krečnjaci malma (J_3) su tektonski ispucali i blokovski izdeljeni. Pored vertikalnog kretanja, vršeno je i horizontalno kretanje blokova, tako da je to skupa dalo odraza na njegovu hidrogeološke karakteristike.

Izvedeni rudarski radovi u napuštenoj jami „Stari Jasenovac“, ukazuju da su prilivi iz krečnjaka bili značajni, mada pisanih podataka o tome nema. U „centralnom polju“ u koje se trenutno odvija eksploatacija uglja, potkop GIP je izrađen jednim delom kroz krečnjake titona i to neposredno iznad lokalnog erozionog bazisa Jasenovačkog potoka (slika 91.).

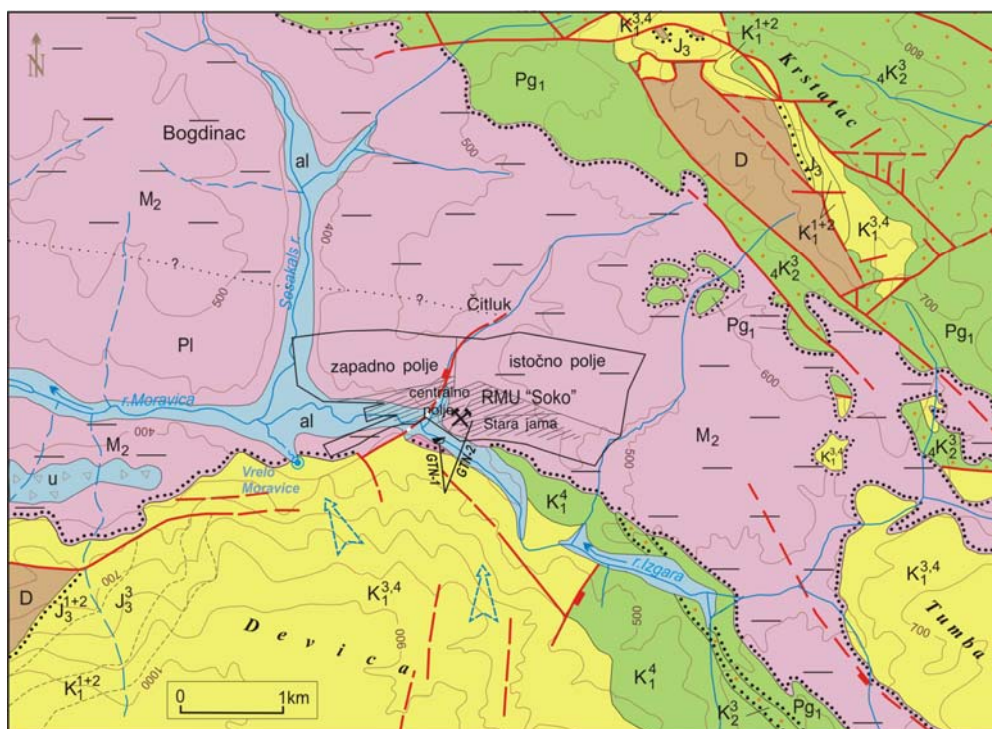


Slika 91. Ulaz u glavni izvozni potkop (GIP) jame „Jasenovac“ (foto B.Miladinović)

Obzirom da GIP drenira i jedan deo starih rudarskih radova, ne može se pouzdano dati ocena o veličini priliva iz same karstne izdani. Ukupni prilivi koji se javljaju u GIP-u od 1-1,5 l/s, predstavljaju relativno male prilive u odnosu na dužinu potkopa od 1710 m ($q < 0,001 \text{ l/s/m}'$).

Neposredni južni obod i paleoreljef ležištu uglja „Soko“, izgrađuju donjo kredni krečnjaci u

kojima je formiran karstni tip izdani. Ovi krečnjaci pripadaju karstnom masivu Device, koji ima sve odlike pravog karstnog reljefa (slika 92 i 93.).

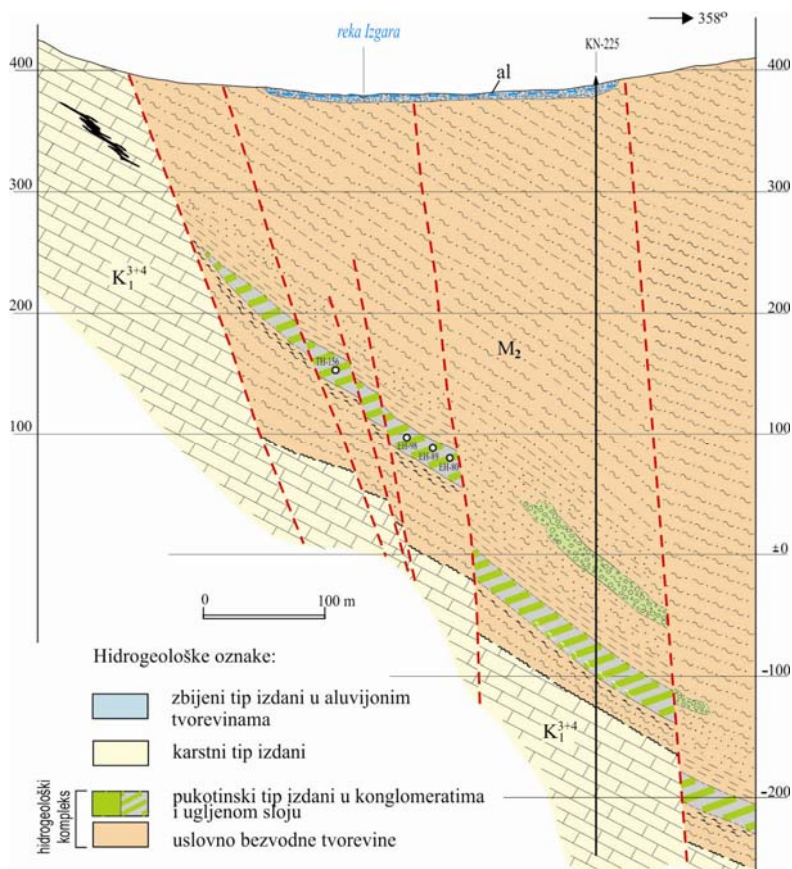


Slika 92. Hidrogeološka karta šireg područja ležišta uglja "Soko" u sokobanjskom basenu

■ zbijeni tip izdani (al – aluvijum; u – urvinske tvorevine); ■ karstni tip izdani ($K_1^{3,4}$ – krečnjaci urgona; K_1^{1+2} – slojeviti i bankoviti krečnjaci; J_3^3 – masivni i bankoviti krečnjaci; J_3^{1+2} – masivni i bankoviti krečnjaci; J_3 – krečnjaci malma); ■ pukotinski tip izdani ($4K_2^3$ – laporci, peščari, pesk.krečnjaci, vulkanoklastične stene; K_1^4 – pesk.krečnjaci, peščari i glinci; J_2 – peščari, peskoviti krečnjaci, dolomiti); ■ hidrogeološki kompleks (Pl – peskovi, šljunkovi, peskovite gline; M_2 – konglomerati, peščari, gline, laporci, ugalj, ugljevite gline; Pg_1 – konglomerati, peščari, bituminozni krečnjaci, vulkanoklastiti, bituminozni glinci); ■ uslovno bezvodne stene (D – slabometamorfisani peščari i glinci); - - - - - rased

Krečnjaci su zahvaćeni savremenim procesom karstifikacije, na šta ukazuju površinski karstni morfološki oblici (skaršćene i fosilne rečne doline, vrtače) i podzemni oblici kao što su pećinski kanali, kaverne.

U ovako karstifikovanim krečnjacima, formirane su značajne rezerve podzemnih voda, koje se dreniraju preko snažnih karstnih vrela. Najznačajnije je svakako vrelo Moravice, koje se javlja u neposrednoj blizini rudnika uglja "Soko". Dubina baze karstifikacije u zoni vrela Moravice, bila je predmet posebnih geofizičkih ispitivanja, odnosno geoelektričnog sondiranja. Sa relativno malim dubinskim zahvatom, konstatovana je intenzivna karstifikacija krečnjaka do dubine 30-50 m (Nastić 1981). Rezultati ovih ispitivanja, potvrđeni su i istražnim bušenjem.



Slika 93. Hidrogeološki profil terena u području ležišta uglja „Soko“

al – aluvijum; M₂ – ugljonosna miocenska serija (gline, laporovite i ugljevite gline, konglomerati, ugali); K₁³⁺⁴ – krečnjaci; - - - - - rased; o - rudarska prostorija

Za potrebe otvaranja „zapadnog polja“ ležišta uglja „Soko“, izvedeno je tokom 1992. godine, više istražnih hidrogeoloških bušotina. U zoni vrela Moravice, izvedena je istražna bušotina KL-92, a najznačajnija karstifikovanost urgonskih krečnjaka je dokazana do dubine 99 m.

Istražna bušotina LE-105, izvedena je u blizini bivše direkcije rudnika „Soko“. Do 158 m dubine, utvrđena je tramsibilnost donjo krednih krečnjaka od $T = 4,89 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ (Dragišić i Miladinović 1993).

Duž južnog oboda „zapadnog ugljonosnog polja“, na desnoj obali reke Izgare, izbušena je istražna bušotina KL-115, dubine 790 m. Njome su probušeni tercijarni sedimenti sokobanjskog basena i na dubini od 604,3 m se ušlo u laporovite krečnjake paleoreljefa. Hidrodinamičkim ispitivanjima, utvrđeno je da su krečnjaci slabo vodoprovodni, sa koeficijentom tramsibilnosti od $T = 1,33 \times 10^{-7} - 1,9 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ (Dragišić i Miladinović 1993).

Slaba vodonosnost donjo krednih krečnjaka južnog oboda ležišta uglja „centralnog polja“, potvrđena je i brojnim istražnim jamskim bušotinama, kao i opitima trasiranja izdanskih tokova koji su vršeni u tom području.

Bez obzira na ove rezultate, tokom izrade niskopa GTN-1 i GTN-2 kroz krečnjake i to za potrebe otvaranja „istočnog polja“ za eksploataciju (slika 92.), bili su uslovljeni prilivi rudničkih voda koji su iznosili i preko 6 l/s (mart 2004.).

Do najznačajnijih priliva iz krečnjaka paleoreljefa, došlo je ipak u otkopnom polju OP-4 („zapadno polje“), kada su rudarske prostorije počele da se izvode kroz krečnjake ispod k.35, odnosno oko 350 m hipsometrijski ispod lokalnog erozionog bazisa reke Izgare (slika 93). U jednom delu karstne sredine, prilivi su se javili i pod pritisko, a zbirno su iznosili i preko 25 l/s.

Ove pojave ukazuju na značajnu skaršćenost donjo krednih krečnjaka i to duboko u odnosu na lokalni erozioni bazis, tako da karstna izdan ima značajnu uticaj na ovodnjenost ležišta uglja „Soko“.

U području ležištu uglja „Štavalj“- centralno polje, paleoreljef ugljonosnoj seriji, izgađuju krečnjaci srednjeg i gornjeg trijasa ($T_{2,3}$). U ovim krečnjacima je formiran karstni tip izdani (slika 94.).

Pored paleoreljefa, navedeni krečnjaci izgrađuju i neposredni severni obod ugljonosnog basena (šire područje sela Stup), kao i jugozapadni i južni obod od sela Brnjica do zaseoka Gradac (slika 94.).

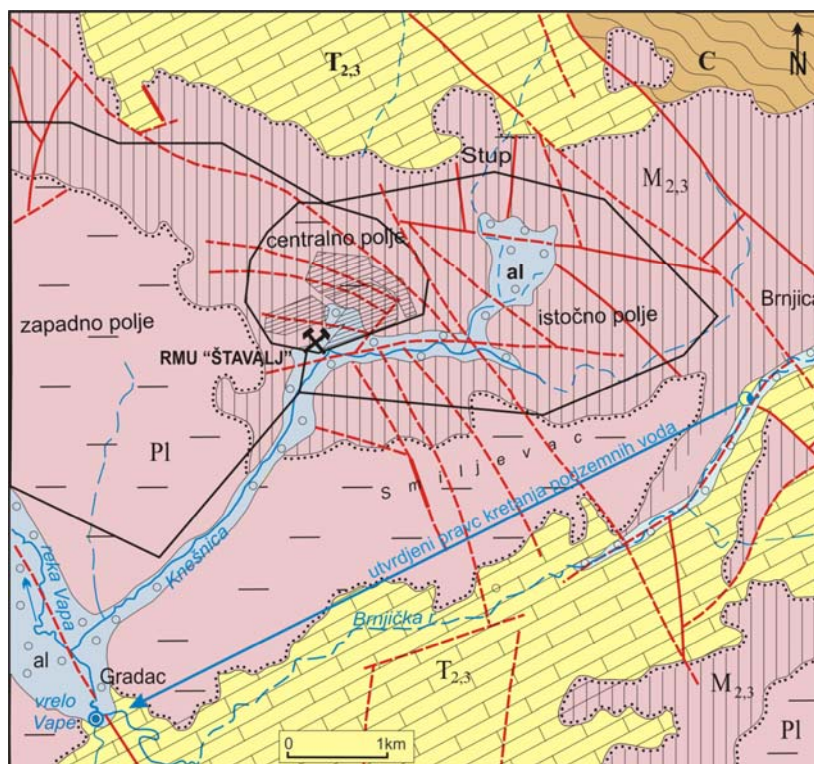
U dosadašnjem periodu, najveća pažnja mnogih istraživača koji su istraživali uslove ovodnjenosti ležišta uglja, bila je posvećena upravo jugoistočnom karstnom obodu basena, odnosno delu toka Brnjičke reke koji je formiran po karstnoj podlozi (slika 94.).

Značaj Brnjičke reke kao reke ponornice na prilive rudničkih voda u jami „Štavalj“, pridavao je najpre Luković 1970, obzirom da je konstatovao značajnu skaršćenost trijaskih krečnjaka duž toka ove reke.

U cilju sagledavanja uticaja karstne izdani na prilive rudničkih voda u jami „Štavalj“, jako značajan podatak pružaju i rezultati opita „trasiranja“ karstnog izdanskog toka, koji je izveo Luković 1974. godine. Njime je utvrđena hidraulička veza ponora Brnjičke reke (slika 95.) i vrela Vape, na pravolinijskom rastojanju od oko 7 km. Na osnovu toga, sračunata je i fiktivna brzina karstnog izdanskog toka od $V = 0,0058$ m/s.

Gubitke na proticaju Brnjičke reke i uzvodnije od ovog ponora (od Sulaževe ćuprije do sela Brnjice), utvrdila je Vulović 1986, na osnovu simultanih

hidrometrijskih merenja. Na opitnoj deonici toka od 2,5 km , utvrđeni su gubici na proticaju Brnjičke reke od 88 l/s. Iz tog razloga je ekipa stručnjaka „Geinstituta“ iz Beograda, izvršila u novembru 1986. godine, novi opit „bojenja“ ponora u koritu Brnjičke reke.



Slika 94. Hidrogeološka karta šireg područja ležišta uglja "Štavalj" u sjeničkom basenu

zbijeni tip izdani (al – aluvijum);
 karstni tip izdani (T_{2,3} – krečnjaci srednjeg i gornjeg trijasa;
 hidrogeološki kompleks (M_{2,3} – konglomerati, peščari, tufovi, laporci, uglj, glina; Pl – peščari sa sočivima šljunkovitih glina, peskovi, šljunkovi);
 bezvodne stene (C – karbonske kristalaste stene);
 - - - - - resed

Na osnovu podataka stručnjaka geološke službe rudnika, obeleživač je bio primećen u rudničkoj vodi i par izvora u stupskom polju, tek u februaru 1987. god., odnosno četiri meseca nakon izvedenog opita. U koliko bi se prihvatili navedeni podaci, objašnjenje ove pojave treba tražiti u tome da je pri nižim vodostajima karstne izdani, kada izdanski tokovi prelaze u laminarni režim kretanja, došlo do taloženja obeliživača iz vodenog rastvora u karstifikovanu karstnu sredinu.

Pri visokim vodostajima, kada se u karstnom akviferu uspostavljaju veći hidraulički gradijenti i kada dolazi do povećanja brzine izdanskih tokova, a

time i uspostavljanje turbulentnog režima kretanja, istaloženi obeleživač biva pokrenut iz karstnih kanala i iznet iz podzemlja.



Slika 95. Izgled ponora Brnjičke reke
sep.2012. god. (foto B.Miladinović)

Ovi podaci trasiranja izdanskog toka, svakako su jako značajni za sagledavanje uslova formiranja priliva rudničkih voda, pa su zato stručnjaci iz Instituta za hidrogeologiju, RGF-a iz Beograda, izveli novi opit „bojenja“ na ponoru u koritu Brnjičke reke. Opit je izveden 15.03.1994. godine i to upotrebom natrijum-fluoresceina ($C_{20}H_{10}O_5Na_2$). Tog dana, Brnjička reka je imala proticaj uzvodnije od ponora $Q=775,94$ l/s uz napomenu da u trenutku „bojenja“, u ponor nije uvirala celokupna količina vode reke.

Bez obzira na velikoj detaljnosti u praćenju pojave obeleživača, on se nije pojavio na osmatračkim punktovima, kao ni u rudničkim vodama jame „Štavalj“. Ovako dobijeni podaci, ukazuju u izvesnoj meri na veoma složene uslove funkcionisanja karstnog akvifera, pri čemu se to svakako odražava i na ovodnjenost ležišta uglja „Štavalj“.

3.1.4.2. Hidrogeološke karakteristike ugljnosne serije

Ugljnosnu seriju basena kamenih i mrkih ugljeva Srbije, kao što je već istaknuto, čine: bazalna serija, sedimenti podinske serije, ugljnosni horizont i povlatna serija ugljnosnog horizonta. Uzevši u celini, ovi sedimenti na osnovu strukturnog tipa poroznosti, imaju složenu hidrogeološku funkciju i predstavlja **kompleks vodopropusnih i vodonepropusnih tvorevina**.

Gotovo u svim slučajevima, bazalne sedimente ugljnosne serije, karakteriše pukotinska poroznost i u njima je formiran **pukotinski tip izdani**. Zavisno od hidrogeoloških karakteristika stena paleoreljefa, pukotinska izdan bazalne serije, najčešće čini jedinstvenu hidrogeološku strukturu sa pukotinskom izdani paleoreljefa ugljnosnih basena, o čemu je već bilo reči.

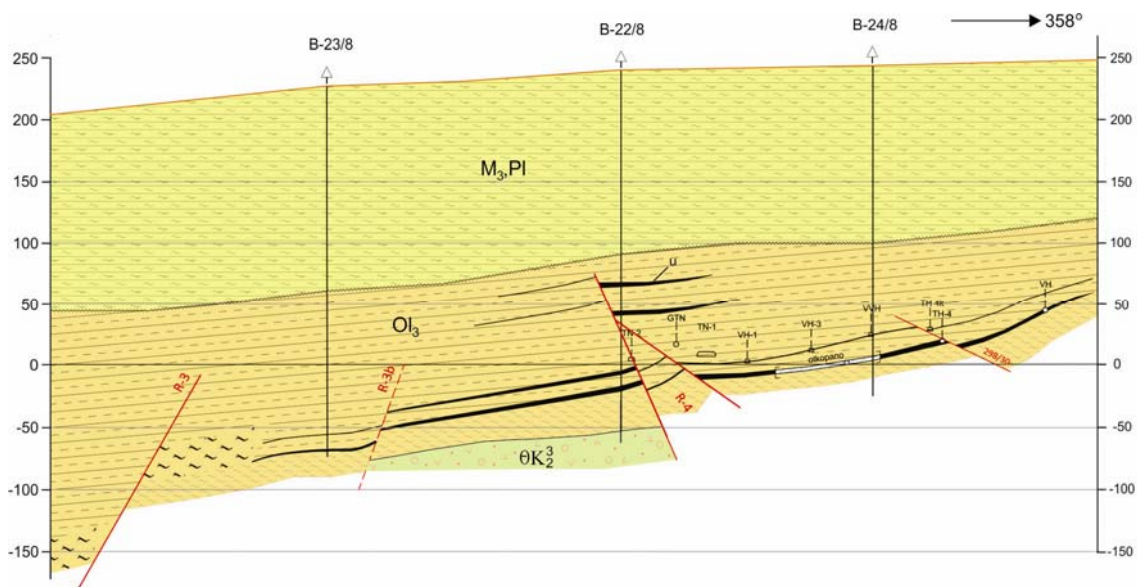
Podinski sedimenti ugljnosnih horizonata imaju heterogen litološki sastav. Sa hidrogeološkog aspekta, karakteriše ih zato složena hidrogeološka funkcija, sa vodopropusnim tvorevinama koje su predstavljene najčešće pešćarima,

konglomeratima, brečama, tufovima, laporcima, šljunkovima, krečnjacima i vodonepropusnim tvorevinama (gline, glinci, alevriti i njima slične stene).

U vodopropusnim tvorevina (peščarima, konglomeratima, brečama, tufovima, laporcima i njima sličnim stenama), formiran je pukotinski tip izdani, u šljunkovima je formiran zbijeni tip izdani, a u krečnjacima karstni tip izdani. Ipak, vodopropusne tvorevine podinske serije, nemaju veći hidrogeološki značaj na odvodnjenu ležišta uglja. Odras ovome daje često slaba kolektorska svojstva, odnosno slabe filtracione karakteristike ovuh stena, male debljine, česta raslojavanja i smena sa vodonepropusnim tvorevinama, kao i složena tektonska građa ugljonosnih basena.

Na osnovu dosadašnjih iskustava izrade rudarskih prostorija kroz podinsku seriju, prilivi rudničkih voda se javljaju uglavnom u vidu manjih procurivanja i vlaženja. Njihova pojava je najčešće vezana za rasede ili lokalne pukotinske sisteme koji se sreću u ugljonosnoj seriji.

U „**bogovinskom**“ basenu, karakteristična je visoka hidroskopnost podinskih glina. Lako upijaju vodu i bubre, tako da predstavljaju dobar hidrogeološki izolator u pogledu zaštite ležišta uglja od uticaja podzemnih voda iz stena paleoreljefa (slika 96.).



Slika 96. Geološki profil terena u području ležišta uglja „Bogovina“ - istočno polje (Ratković 2011)

$M_{3,PI}$ – konglomerati, aglomerati, pesak, šljunak, gline; OI_3 – ugljonosna serija (konglomerati, peščari, ugalj, gline, peskovite i laporovite gline, laporci); ΘK_2^3 – vulkanogeno-sedimentna serija;
 ----- - rased; o - rudarska prostorija

U području ležišta uglja „Štavalj”- centralno polje, pored pukotinske izdani, u podinskim tvorevinama ugljonosne serije, zastupljena je i karstni tip izdani u bankovitim krečnjacima. Ovi krečnjaci pripadaju srednjem delu podinske serije. Porozni su i u njima je formirana karstna izdan. Značaj ove izdani na ovodnjenost ležišta uglja može biti izražen duž markantnih raseda i rasednih zona koji presecaju ugljonosnu seriju.

U ovom basenu je veoma karakteristična i istražna bušotina B-47/85, kojom su na dubini od 273 m, konstatovani krupnozrni peščari podinske serije. U peščarima je formirana pukotinska izdan sa subarteskim nivoom.

Ugljonosni horizont je najčešće predstavljen vodonepropusnim i slabovodopropusnim tvorevinama. Time u dosadašnjoj praksi rudarenja, nije ispoljen njegov veći hidrogeološki značaj i uticaj na ovodnjenost samih ležišta uglja.

Ugljonosni horizont čine slojevi uglja koji se najčešće rasčlanjuju na više delova i tvorevine koji se javljaju kao jalovi proslojci u samom ugljenom sloju ili kao međuslojevi. Posmatrano u celini, ugljonosni horizonti na osnovu strukturnog tipa poroznosti sedimenata koji ih izgrađuju, predstavljaju **slabo vodopropusne i vodonepropusne tvorevine**.

Slabo vodopropusne stene ugljonosnog horizonta, čine obično peščari, glinoviti peščari ili tufozni peščari, laporci, ugljeviti i peskoviti laporci. Karakteriše ih pukotinska poroznost sa slabim kolektorskim svojstvima, tako da pukotinska izdan koja je formirana u njima, nema veći značaj na ovodnjenost ležišta uglja.

Vodopropusnom kompleksu, pripadaju i laporoviti krečnjaci, koji se javljaju u ugljonosnom horizontu ležišta uglja „Tadenje-Progorelica” i u ležištu uglja „Lubnica”. U njima je formiran pukotinski tip izdani, ali usled male debljine i pojave u vidu proslojaka ili sočiva kao u lubničkom basenu, karakteriše ih slaba vodoobilnost. Radi se dakle o zatvorenoj hidrogeološkoj strukturi, koja može vremenski ograničeno usloviti izvesne prilive u rudarske prostorije, ali relativno brzo pošto se izdreniraju, gubi hidrogeološki značaj.

Vodopropusni član ugljonosnog horizonta, čine i slojevi uglja. Ugljeve u principu karakteriše **pukotinska poroznost**. Prsline u uglju nastaju dvojako. Kao prvo, prsline nastaju unutrašnjim naprežanjem ugljonosne mase tokom procesa karbonizacije ugljeva (endoklivaž) i one su upravne na slojevitost (Đorđević 1965). Druga vrsta prslina u ugljevima je izazvana uticajem tektonike, a posebno plikativne tektonike, odnosno procesima ubiranja, kojima mogu biti zahvaćeni

ugljeni slojevi (egzoklivaž). Sistem prslina nastao na ovaj način u ugljevima, stoji pod izvesnim kosim uglom u odnosu na slojevitost.

Ako su slojevi uglja bili izlagani jačim jednoaksijalnim bočnim pritiscima, onda ugalj obično prelazi u neku vrstu milonitske breče ili dolazi do njegovog nagomilanja, kao u ležištu uglja „Senjski Rudnik“ i „Vrška Čuka“. U takvim slučajevima, ugalj ima izraženu pukotinsku poroznost i u njemu je formiran pukotinski tip izdani. Značaj ove izdani se najčešće ogleda u prisustvu slobodne ili gravitacione vode (rudne vode), koja pri otkopu uglja, uslovljava određene prilive u rudarske radove.

Uzevši ipak u celini, pukotinska izdani u uglju nema veći hidrogeološki značaj, jer je karakterišu male rezerve podzemnih voda i to ne samo zbog slabo izražene poroznosti uglja, već i zbog slabih kolektorskih svojstava tvorevina neposredne podine i povlate slojeva uglja ili u celini posmatrano tvorevina ugljonosnog horizonta.

Povlatni sedimenti ugljonosnih horizonata čine završni, odnosno krovinski odeljak ugljonosne serije. Imaju relativno heterogen litološki sastav i promenljivu debljinu, koja nije samo vezana za uslove koji su vladali tokom sedimentacionog ciklusa nastanka ugljonosne serije, već i kao posledica naknadnih tektonskih procesa koji su vladali u ugljonosnom basenu.

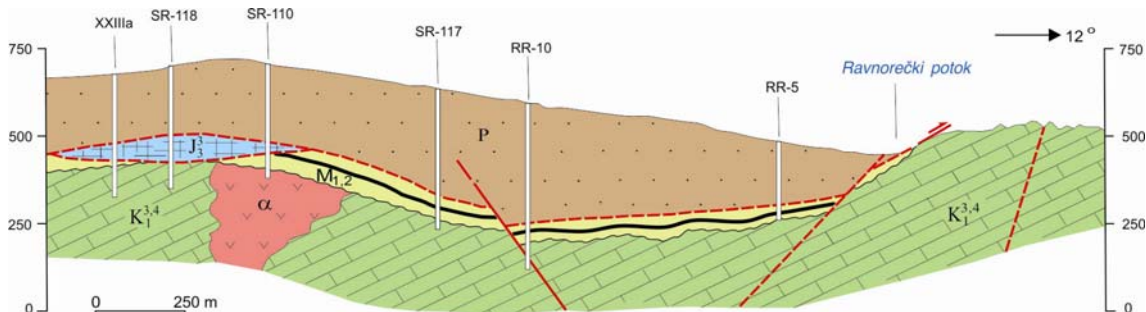
U resavsko-moravskom i krepoljinskom basenu, povlata je delimično tektonski redukovana, a u pojedinim delovima i potpuno odneta usled dejstva navlake. Zato se u pojedinim delovima ležišta uglja („Jasenovac“, „Senjski Rudnik“-„Ravna Reka“, slika 97.), navučene alohtone tvorevine, nalaze u direktnom tektonskom kontaktu sa slojem uglja.

U pogledu litološkog sastava, povlata ugljonosnih horizonata je izgrađena od raznorodnih sedimenata kao što su: gline, ugljevite gline, glinci, laporci, krečnjaci, alevroliti, tufovi, raznorodni peščari. U hidrogeološkom pogledu, ove tvorevine imaju složenu hidrogeološku funkciju.

Vodopropusnom delu hidrogeološkog kompleksa pripadaju peščari, tufovi i laporci u kojima je formiran pukotinski tip izdani, kao i krečnjaci, laporoviti i dolomitični krečnjaci u kojima je formiran karstni tip izdani.

Vodonepropusnom kompleksu tvorevina povlate ugljonosnom horizontu, pripadaju: gline, ugljevite gline, glinci, glinoviti laporci, alevroliti. Sa hidrogeološkog aspekta, kompleks vodonepropusnih tvorevina u povlati

ugljonosnog horizonta, imaju značajnu ulogu kada je u pitanju ovodnjenost ležišta uglja.



Slika 97. Geološki profil terena kroz ležište uglja „Senjski Rudnik“- „Ravna Reka“
u resavsko-moravskom basenu
(Miladinović 2000)

$M_{1,2}$ – ugljonosna miocenska serija (konglomerati, peščari, gline, ugalj, laporci); α – dacito-andeziti;
 $K_{1,3,4}$ – krečnjaci „istočnog krečnjačkog pojasa“ - autohton; J_3 – „ravanički krečnjaci“ - alohton;
 P – crveni peščari - alohton; - - - - - rased ; - - - - - površ navlake

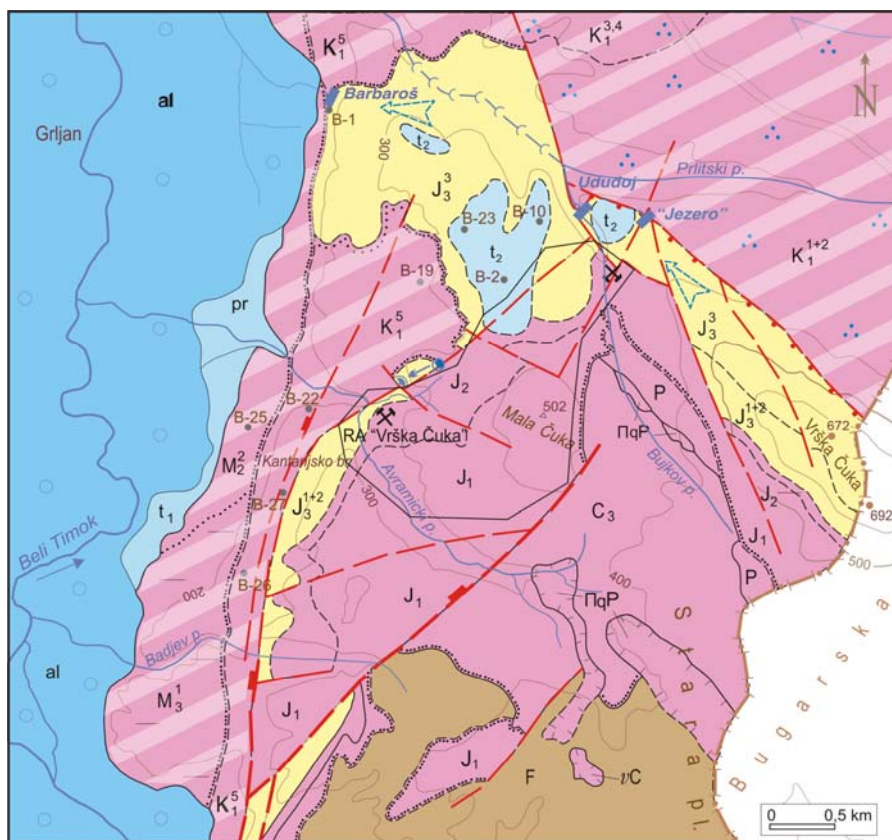
U području ugljonosnog reona „Mala Čuka“, vodopropusni kompleks povlate ugljonosnog horizonta lijasa, karakteriše prisustvo pukotinske izdani, koja ima najznačajniji uticaj na ovodnjenost ležišta antracita (slika 98.). Ova izdan nema međutim kontinualno rasprostranjenje i karakteriše je relativno slaba vodonosnost, tako da uslovljava prilive u rudarske radove koji se u proseku kreću oko 0,3 l/s.

Duž raseda i izraženijih pukotinskih sistema, mogu se međutim formirati izdanske zone koje mogu vremenski ograničeno da uslove prilive u rudarske radove i do 5 l/s. Kada se potpuno izdreniraju ovi prostori, onda gube hidrogeološki značaj.

Na relativno ograničene rezerve podzemnih voda koje se formiraju u povlatnim peščarima ugljonosnog horizonta, svakako da značajnu ulogu imaju slabovodopropusni alevroliti (tzv. „tonšifer“), kao i glinci koji se takođe sreću sa peščarima.

U području ležišta uglja „Jarando“ u ibarskom basenu, formirana je pukotinska izdan u povlatim tvorevinama ugljonosnog horizonta. Usled prisustva i vodonepropusnih tvorevina, kao što su ugljevite gline, glinci, glinoviti laporci, pukotinska izdan je pod pritiskom, odnosno predstavljaju arteskku izdan. Na to ukazuju i rezultati istražnog geološkog bušenja, južno od

otkopnog polja OP-3 („spušteni deo“, slika 73.), obzirom da su iz povlatnih peščara ugljonošnjog horizonta, dobijeni samoizlivni podzemnih voda.



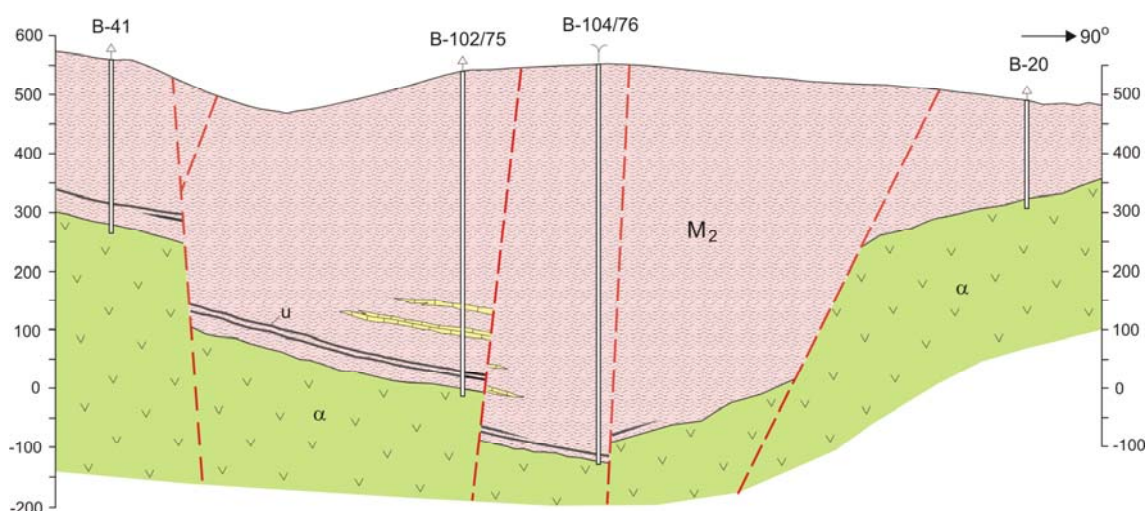
Slika 98. Hidrogeološka karta šireg područja ležišta antracita „Vrška Čuka“
(geološka podloga: OGK 1:100.000 list Zaječar)

zbijeni tip izdani (al - aluvijum; pr - proluvijum; t_1, t_2 - rečne terase); karstni tip izdani (J_3^3 - krečnjaci titona; J_1^{1+2} - krečnjaci sa rožnacima i dolom.krečnjaci, oksforda i kimeridža);
 bezvodni delovi terena (F - filitoidi i zelene stene paleozoika); hidrogeološki kompleks I.- (M_3^1 - konglomerati, peskovi, gline i šljunak sarmata; $M_{2,3}$ - peščari, peskovite gline, laporci i konglomerati tortona i sarmata; M_2^2 - konglom. peščari, laporci i gline tortona; K_1^5 - konglom., peščari i glinci alba; $K_1^{3,4}$ - fliš: peščari, laporci i kreč., barem, apta; K_1^{1+2} - fliš: krečnjaci, laporci i glinci, valendin i otriv); 2. - (J_2 - peščari, pesk.krečnjaci i dolomiti dogera; J_1 - konglom., kvarcni peščari, glinci, ugalj, glinoviti škriljci lijasa; nqP - kvarcporfiri paleozoika; P - crveni peščari perma; C_3 - konglom., peščari i glinci sa proslojcima uglja gornjeg karbona); — - rased; - - - - relativno spuštenu blok; - - - - - - čelo navlake

Tokom bušenja istražne bušotine B-104/76, pojava samoizliva je registrovana iz sitnozrnih do srednjozrnih peščara koji su zastupljeni u intervalu od 145,0 – 204,0 m dubine (slika 99.).

Iz bušotine B-105/77, pojava samoizliva je registrovana iz peščara sa dubine od 370 m (Đalović 1994).

Bušotina B-106/77, imala je samoizliv od $Q=3$ l/s i on je vezan za peščare i konglomerate, koji su zastupljeni na dubini od 269 m.



Slika 99. Hidrogeološki profil terena duž južnog oboda ležišta uglja „Jarando“

M₂ – ugljonošna miocenska serija – konglomerati, peščari, tufovi, laporci, glinci, ugljevite gline, krečnjaci; u – ugljonošni horizont (hg kompleks); α – andeziti (pukotinski tip izdani); - - - - - rased

Po podacima Đalovića 1994, samoizliv podzemnih voda je postojao i pri bušenju istražnih bušotina B-131/90.

Nakon ovih početnih rasterećenja pritisaka koji su vladali u pukotinskoj izdani povlate serije sedimenata ugljonošnog horizonta, samoizlivi su se kasnije značajno smanjili i to u ugranicama 0,2-0,5 l/s, a na nekima je i prestao.

Istražnim geološkim bušenjem u otkopnom polju OP-2, nema evidentnih podataka o pojavama podzemnih voda u bušotinama, osim saznanja, da je pri istražnom bušenju iz jame, dolazilo do priliva podzemnih voda i to iz kontakta koji su činile tvorevine ugljonošne serije miocena i andenzita.

Karbonatni litološki članovi jarandolske ugljonošne serije, imaju ograničeno rasprostranjenje, obzirom da se radi o sočivastim pojavama, relativno male debljine. Konstatovane su istražnim bušotinama u otkopnom polju OP-2 (bušotine B-4, B-4a, B-22, B-102/75), ali iz njih nije bilo priliva podzemnih voda (Đalović 1994).

Mnogo značajnije hidrogeološko obeležje ugljonošnoj seriji jarandolskog basena u celini, daju međutim rasedi i rasedne zone. Ovodnjenost rasednih zona je potvrđena rudarskim radovima pri otvaranju severoistočnih delova ležišta u otkopnom polju OP-1. Do najznačajnijih prodora podzemnih voda u rudarske radove, došlo je 1982. godine, kada se radovima prišlo rasedu R-2 (slika 73.). „Skok“ raseda je bio relativno mali za tektonske uslove jarandolskog basena i iznosio je 30 m. Prilivi su u prvom trenutku iznosili $Q = 1100$ l/s, a nakon 2

meseca intezivnog dreniranja ove ovodnjene rasedne zone, značajno su se smanjili.

U ležištu uglja „**Progorelica**“, pukotinski tip izdani je formiran u povlatnim pešćarima. Obzirom da su jednim delom tufozni i zaglinjeni, u njima nema uslova za formiranje značajnijih rezervi podzemnih voda (Đalović i Keranović 1986).



Slika 100. Prilivi iz povlatnih pešćara na kontaktu sa ugljem na površinskom kopu „Progorelica“ (foto S.Bošković)

Kako se međutim ležište kamenog uglja „Progorelica“, otkopava površinskim kopom, povlatni pešćari ugljenog horizonta, otkriveni su na značajnoj površini i time je stvorena mogućnost za lakše prihranjivanje pukotinske izdani u njima. Nakon obimnijih padavina, dreniranje pukotinske izdani na etaži površinskog kopa, iznose do 1-1,5 l/s, ali se posle par dana, značajno smanje (slika 100.). Tokom dužih sušnih letnjih perioda, povlatni

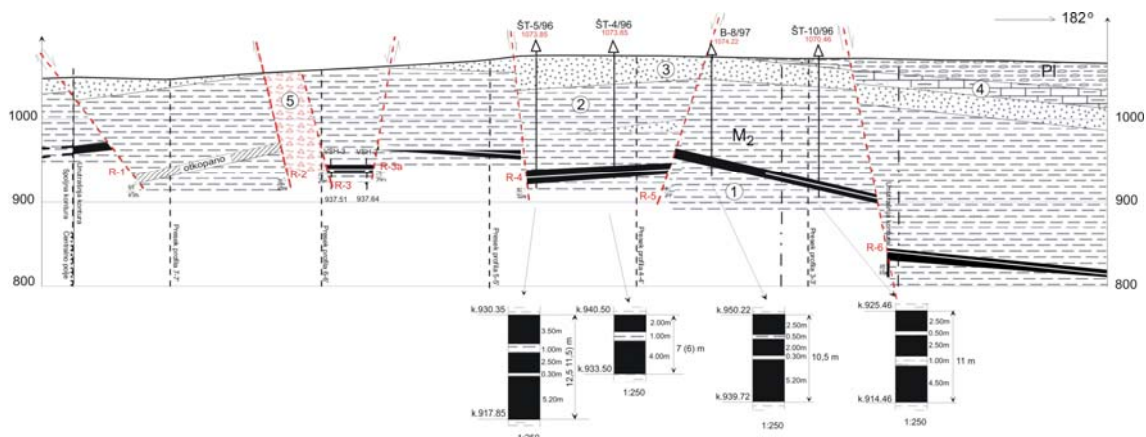
pešćari ostanu bez izdanske zone.

Karakteristično je da u **krepoljinskom basenu**, povlatu ugljonosnog horizonta, izgrađuju u pojedinim delovima vodonepropusne laporovite gline, debljine i do 48 m (bušotina J-90), slika 69.

Povlatni sedimenti ugljonosnog horizonta bogovinskog, sokobanjskog i lubničkog basena, najvećim delom su predstavljeni vodonepropusnim tvorevinama kao što su gline, peskovite i laporovite gline i glinci. U zastupljenim partijama pešćara i laporaca, u kojima je formiran pukotinski tip izdani, nema uslova za postojanje značajnijih rezervi podzemnih voda, obzirom da ih karakteriše mala poroznost i činjenice da su u stalnoj smeni sa vodonepropusnim tvorevinama.

Dreniranje pukotinske izdani se manifestuje najčešće u vidu manjih procurivanja i to isključivo duž raseda ili pukotina koje presecaju pešćare i laporce.

Povlatni sedimenti ugljunosnog horizonta u području ležišta uglja „Štavalj“- centralno polje, imaju debljinu od 80 do preko 240 m. Razvijeni su u dva horizonta i karakteriše ih jako složena hidrogeološka funkcija (slika 101.).



Slika 101. Geološki profil terena kroz „centralno polje“ ležišta uglja „Štavalj“ (Lojanica 2009)

M₂ – ugljunosna miocenska serija (1. podinski laporci uglj.horizonta, 2. povlatni laporci uglj.horizonta, 3. tufozni peščari, 4. bigroviti krečnjaci); *Pl* – pliocenski glinoviti peskovi i šljunkovi; 5. rasedna zona; *R* - rased

Neposrednu povlatu ugljunosnom horizontu ili tzv. *tufogeno-laporoviti horizont*, izgrađuju laporci u kojima je formiran pukotinski tip izdani. U višim nivoima ovog horizonta, javlja se stalna smena uslojenih laporaca i mekih krečnjaka sa brojnim sočivima tufova, a u najvišim nivoima su zastupljeni samo beli „meki“ krečnjaci. U ovim krečnjacima je formiran karstni tip izdani.

U višem povlatnom horizontu ili tzv. *karbonatno-pelitskom horizontu*, javljaju se tanko uslojeni laporci sa proslojcima „mekanih“ krečnjaka i porozni bigroviti krečnjaka u kojima je formiran karstni tip izdani.

Laporci u sjeničkom basenu, čine litološki član sa jako specifičnom hidrogeološkom funkcijom. Na osnovu rezultata sedimentoloških analiza i petrografskih analiza, sadržaj CaCO₃ u laporcima, varira od 45 do preko 90 % (Radošević 1966). Prema sedimentološkoj klasifikaciji, na velikom delu prostora sjeničkog basena, ovi sedimenti bi trebalo izdvojiti u krečnjake koji su slabo dijagenetski očvrslili. Ipak zbog svog izgleda, slabe tvrdoće i tankoslojevitosti, više liče na laporce, pa su tako i svrstavani.

U hidrogeološkom pogledu, u laporcima je formiran pukotinski tip izdani. Značajan uticaj na vodonosnost laporaca ima i veoma izražena tektonska

aktivnost sjeničkog basena. Tektonska oštećenost laporaca, a time i njegova vodonosnost, dolazi posebno do izražaja u delovima miocenskog kompleksa gde su laporci u čestoj smeni sa tankim proslojcima mekanih belih krečnjaka. Ovi krečnjaci se javljaju unutar laoraca kao tanja ili deblja sočiva, pa ceo paket tvorevina predstavlja vodopropusni kompleks.

Treba međutim istaći i veoma često prisustvo sočiva tufa u laporcima, čija debljina može iznositi od 4 do čak 80 m. Njih takođe karakteriše pukotinska poroznost, ali nešto slabija filtraciona svojstva u odnosu na laporce.

Dreniranje pukotinske izdani iz povlatnih sedimenata ugljonosnog horizonta, vrši se duž raseda, rasednim zonama i pukotina, koje su presečene rudarskim prostorijama.

U pojedinim periodima eksploatacije ležišta uglja, prilivi su se kretali i do 200 l/s (Lukovića 1970).

Poseban značaj u hidrogeološkom pogledu, pridaje se bigrovitim, bankovitim ili belim mekanim krečnjacima i to zbog njihove izražene poroznosti.

Veoma interesantan podatak o vodonosnosti povlatnih tvorevina ugljonosnog horizonta, iznosi i Zeremski 1965, o eksploataciji uglja iz 1956. godine, kada se ona odvijala površinskim kopom u stupskom polju: *„Dužina otvora rudnika je 150, a dubina 4-5 m. S dna ovog otvora silazi prostrani bunar iz koga se kopa ugalj, čiji je sloj debeo 12 m. Ali kopanje uglja je jako otežano zbog veoma brzog nadolaženja vode. Zato se voda neprekidno izbacuje motornom crpkom. Nadolaženje vode u otvor rudnika se vidi i po ivici njegovog dna, gde izbijaju izvori u klobucima, što znači da su pod ascedentnim pritiskom“*.

U hidrogeološkom pogledu, posebno obeležje povlatnim tvorevinama ugljonosnog horizonta „centralnog polja“, daju dakle rasedi i rasedne dislokacije, duž kojih su formirane veoma značajne rezerve podzemnih voda. U sadašnjim uslovima eksploatacije uglja, uslovljeni su prilivi koji se kreću do 77 l/s.

U istočnom ugljonosnom polju, krečnjaci završne povlatne serije ugljonosnog horizonta, detaljnije su istraženi. Poznato je da u širem području sela Sušice, leže direktno preko podinske serije ugljenog sloja i da ugljonosni horizont i povlatni tufogeno-laporoviti horizont, izostaju u ovom delu sjeničkog basena. Ovo takođe ukazuje da donji i srednji deo debelog paketa poroznih bigrovitih krečnjaka, predstavlja sinhroničnu bočnu faciju sedimentima ugljenog i povlatnog tufogeno-laporovitog horizonta.

Debljina povlatnih krečnjaka u području sela Sušice, na osnovu podataka istražnog bušenja (bušotina OS-10/65), iznosi 170 m, s tim da im debljina na ostalim lokalnostima istočnog dela sjeničkog basena, varira od 5 do 40 m.

U području sela Vesković, istražnom bušotinom Š-37a/75, konstatovan je artenska izdan u navedenim bigrovitim krečnjacima. U selu Stup, istražnom bušotinom Bh-1/86, dubine 95,5 m, ovi krečnjaci su nabušeni u intervalu od 38,5-



Slika 102. Samoizliv bušotine Bh-1/86 u Stupu istočno ugljunosno polje sjeničkog basena (foto B.Miladinović)

47,0 m i tom prilikom je dobijen samoizliv podzemnih voda (slika 102.). Merenjima koja su izvršena 19.11.2004. godine, samoizliv je iznosio $Q= 0,2 \text{ l/s}$ ($T= 8,4^{\circ}\text{C}$).

Samoizliv podzemnih voda od 3 l/s je dobijen i pri bušenju istražne bušotine B-20/81 i to kada su nabušeni beličasti krečnjaci na dubini od 40 m (Vuković 1982).

Konstatovana artenska i subartenska izdan u bigrovitim krečnjacima istočnog ugljunosnog polja, ukazuje dakle da se u podini i povlati ovih krečnjaka, nalaze vodonepropusne tvorevine. Samoizlivi iz navedenih bušotina, ukazuju da se prilivi rudničkih voda koji se javljaju u rudarskim radovima rudnika "Štavalj", ne formiraju na račun arteske izdani iz bigrovitih krečnjaka.

Posebno u tom pogledu su interesantni podaci istražnog bušenja, koji ukazuju na prisustvu vodonepropusnih slojeva gline u litološkom stubu tog dela miocenske serije. Navešće se samo neke od bušotina:

- St-1/86, interval 160,0-163,0 m (masne svetlozelene gline);
- S-1/86, interval 3,0-12,2 m (laporovita glina, siva i svetložuta);
- S-2/86, intervali 51,6 -63,0; 67,5- 71,0; 73,5-77,0; 82,0-89,0 m (gline);
- Bh-1/86, interval 56,0-88,0 m (zelene masne gline, u nižim partijama crne boje).

3.1.4.3. Hidrogeološke karakteristike stena u povlati ugljnosne serije

Od svih analiziranih ugljnosnih basena u kojima se trenutno odvija eksploatacija kamenih i mrkih ugljeva, jedino u područjima ležišta uglja ibarskih rudnika i ležišta antracita u reonu "Mala Čuka", ugljnosna serija, nije prekrivena mlađim geološkim tvorevinama. U ostalim ugljnosnim basenima Srbije, slučaj je drugačiji.

U lubničkom basenu, ugljnosna serija je potpuno prekrivena mlađim tvorevinama, a delimično je prekrivena u resavsko-moravskom, krepoljinskom, bogovinskom i ugljnosnom basenu "Soko". Hidrogeološke karakteristike ovih povlatnih tvorevina ugljnosne serije, imaju svakako značaj na ovodnjenost razmatranih ležišta uglja.

U **resavsko-moravskom basenu**, konkordantnu preko ugljnosne miocense serije, leže pliocenski sedimenti i to na jednom manjem prostoru u području brda Đula (severno od rudarskog naselja Resavica), slika 15.

Usled dejstva navlake, tektonsku povlatu ugljnosne miocense serije na najvećem delu prostora basena, čine alohtone stene predstavljene permskim pešćarima, jurskim krečnjacima i dacito-andezitima (slika 16.).

U navedenim povlatnim sedimentima ugljnosne miocenske serije resavsko-moravskog basena, formiran je pukotinski i kartni tip izdani. Njihov uticaj na ovodnjenost zastupljenih ležišta uglja je različit.

Pukotinski tip izdani u crvenim permskim pešćarima ima najznačajnije rasprostranjenje, ali u ovim tvorevinama nema uslova za formiranje značajnijih rezervi izdanskih voda. Prilivi koji se javljaju iz pešćara, uslovljavaju samo manja procurivanja i kapanja u rudarskim prostorijama i to najčešće duž raseda i pukotinskih sistema.

Pukotinski tip izdani u dacito-andezitima ima relativno ograničeno rasprostranjenje. Dacitoandeziti se javljaju u obliku većih ili manjih alohtonih masa, koje su bile zahvaćene navlakom i na pojedinim lokalnostima navučene preko ugljnosne miocenske serije. Najznačajnija alohtona masa ovih stena čini brdo Orlovica, kod sela Dutova. Istražnim bušenjem, ispod dacitoandezita, utvrđeno je prisustvo ugljnosne miocenske serije (slika 85.).

Na osnovu dosadašnjih saznanja, u dacitoandezitima resavsko-moravskog basena, nema uslova za formiranje značajnijih rezervi izdanskih voda.

Pukotinski tip izdani je formiran i u pliocenskim konglomeratima, koji izgrađuju terene u području brda Đule, Bare, pa sve do Resavice na jugu, a u

pravcu zapada do Makvišta i Židiljskog potoka. Debljina pliocenskih konglomerata iznosi preko 200 m. Najvećim delom leže preko slabije vodopropusnih laporaca i vodonepropusnih glinaca povlate miocenske serije. Kada se svojevremeno kroz konglomerate probijao niskop N-2 (k.360-370) i hodnik OH-1 (k.391) stare jame „Resava“, došlo je do dreniranja pukotinske izdani. Prilivi rudničkih voda u N-2 su iznosili tada oko 1 l/s, a u hodniku OH-1 od 0,8 do 3 l/s (1974-1975.). Maksimalni prilivi od 5 l/s su registrovani 10.08.1975. godine (Vuković 1976). Ovim prilivima u jamu „Resava“ se vršilo dreniranje statičkih rezervi podzemnih voda iz pliocenskih konglomerata, pa su zato i bili nešto povećani u odnosu na izvore kojima se inače na površini terena vršilo dreniranje pukotinske izdani.

Jurski krečnjaci u povlati ugljonosne miocenske serije resavsko-moravskog basena, predstavljaju alohtone mase, koje su bile zahvaćene navlakom crvenih permskih pešćara i odvojene od „ravaničkih krečnjaka“. Sa hidrogeološkog aspekta, prisustvo jurskih krečnjaka preko navlake permskih pešćara u obliku tektonskih klipa, ne zaslužuje posebnu pažnju, obzirom da se radi o manjim masama u kojima dolazi samo periodično do formiranja karstne izdani. Pored toga, kako permski pešćari kao slabije vodopropusne tvorevine, čine tektonsku podinu jurskim krečnjacima, to isključuje onda mogućnost većeg uticaja karstne izdani iz krečnjaka na ovodnjenost ležišta uglja.

Mnogo značajniji uticaj imaju međutim jurski krečnjaci koji se u obliku podvojenih i raskomadanih masa, javljaju ispod navlake crvenih permskih pešćara i to u direktnoj tektonskoj povlati miocenskih sedimenata. Takav slučaj se sreće u području ležišta uglja „Senjski Rudnik“-„Ravna Reka“ (slika 97.), kao i ležišta „Sisevac“ (napuštena jama „Stubica“) i ležišta „Grza“.

Pored navedenog, jurski krečnjaci se javljaju i u samim crvenim permskim pešćarima u obliku tektonskih sočiva sa veoma promenljivom debljinom i položajem prema ugljonosnim miocenskim sedimentima (slika 16. c).

Najznačajnija masa jurskih krečnjaka u području ležišta uglja „Senjski Rudnik“, je masiv Stenke, koja se javlja u obliku tektonskog prozora i to u samom naselju Senjski Rudnik (slika 103.). Krečnjaci Stenke, javljaju se na površini terena na približno 0,18 km². Ipak, najznačajnije rasprostranjenje, ovi krečnjaci imaju ispod crvenih permskih pešćara, gde leže direktno preko ugljonosne miocenske serije.

Od Senjskog Rudnika, ovi jurski krečnjaci se pružaju u pravcu severo-istoka, odnosno prema ležištu uglja „Ravna Reka“. Debljina im je jako promenljiva i kreće se u pojedinim delovima i do 50 m, a u području Stenke i



Slika 103. Krečnjaci Stenke u tektonskoj povlati ugljonosne serije kod Senjskog Rudnika (foto B.Miladinović)

nešto više od toga. Tektonski su jako polomljeni i karstifikovani, pa je u njima formirana karstna izdan.

Ova masa jurskih krečnjaka u povlati ugljonosne serije, uslovljava prilive u rudarske radove jame „Senjski Rudnik“. Najobimnije se ispoljava u rudarskoj prostoriji „krovnog galerija“ (k.439), gde prema podacima Vukovića 1976, može da iznosi i preko 40 l/s. Na ovaj

način, vrši se dreniranje dinamičkih i delom statičkih rezervi karstne izdani iz jurskim krečnjacima, a u odnosu na kotu isticanja u „krovnoj galeriji“ (k.439). Međutim, kako ovi krečnjaci imaju svoje rasprostranjenje i prema dubljim delovima ležišta do k.380 (hipsometrijski niže od zone dreniranja 59 m), onda se može govoriti i o postojanju statičkim rezervama karstnih izdanskih voda u dubljim delovima karstne sredine.

Pored jurskih krečnjaka Stenke, već je naglašeno da se jedan deo ovih tvorevina nalazi u samim permskim pešćarima u obliku sočiva. U takvim uslovima, one predstavljaju zatvorenu karstnu hidrogeološku strukturu u kojoj se mogu naći veoma značajne statičke rezerve karstnih izdanskih voda.

Od kakve važnosti za ovodnjenost ležišta uglja one mogu biti, najbolje ukazuje podatak od 13.04.1980. godine, kada je karstna izdan iz jedne takve mase jurskih krečnjaka, uslovlila potapanju jame „Senjski Rudnik“ - Lipov Deo.

U području ležišta uglja „Sisevac“, koje je zatvoreno za eksploataciju početkom pedesetih godina XX veka, na osnovu malo pisanih podataka se saznaje da su prilivi iz jurskih krečnjaka ometali rudarske radove u jami „Stubica“.

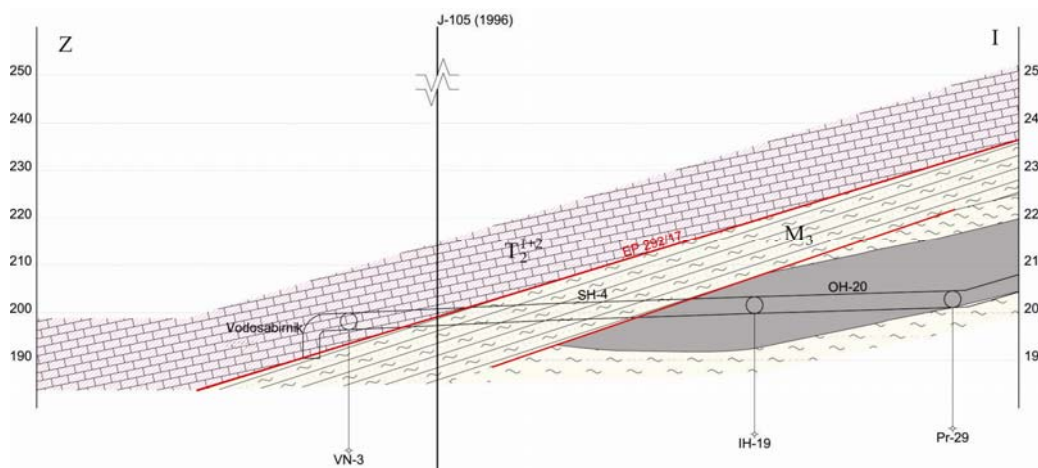
Da u masama jurskih krečnjaka (uklopljenih u crvenim permskim pešćarima), ponekada nije formirana izdan, pokazuje i primer pri izradi jednog dela rudarskih prostorija kroz ove tvorevine u jami „Pasuljanske livade“.

Zapravo, pri izradi glavnog vetrenog niskopa GVN i to 243 m kroz jurske krečnjake (k.456,5-526), kao i od k.542,5 do k.564,5 (na dužini od 71 m), nisu konstatovani prilivi iz ovih krečnjaka.

Slične okolnosti su pratile i radove na izradi TU-3 kroz jurske krečnjake od 30 m (k.445-455). Do neznatnih priliva od 0,01 l/s, došlo je jedino pri izradi glavnog vetrenog hodnika GVH i to na dužini od 190 m kroz jurske krečnjake (k.543-471). Izvedenim rudarskim radovima, konstatovana je slaba skaršćenost jurskih krečnjaka, što može poslužiti kao objašnjenje zašto nije došlo do formiranja izdanskih zona u njima.

U **krepoljinskom basenu**, tektonsku povlatu ugljonoj miocenskoj seriji čine alohtone mezozojske stene, sa maksimalnom debljinom koja je utvrđena u zapadnom delu basena od 334 m.

Radi se pretežno o karbonatnim tvorevinama, ali sa jako heterogenim litološkim primesama u karbonatnoj osnovi. Čitava ova serija koja po starosti odgovara srednjem trijasu (T_2^{1+2} , slika 104.), dogeru (J_2) i malmu (J_3^{1+2} , J_3^3), ima složenu hidrogeološku funkciju. Osim slabovodopropusnih crnih alevrolita koji se javljaju u gornjim nivoima srednjeg trijasa, svi ostali zastupljeni litološki članovi, čine vodopropusni deo ovog hidrogeološkog kompleksa.



Slika 104. Geološki profil terena duž rudarske prostorije OH-20 u ležišta uglja „Jasenovac“ (Petrović i Ratković 2010)

M_3 – ugljonoj serija (gline, ugalj, glinci); T_2^{1+2} – bituminozni krečnjaci i glinci (alohton);
 ----- - površ navlačenja; O - rudarska prostorija

U tvorevinama srednjeg trijasa, dogera J_2 i oksford-kimeridža J_3^{1+2} (peskovitim, laporovito-peskovitim, mestimično brečastim, milonitiziranim i

bituminoznim krečnjacima, zatim u uslojenim i masivnih krečnjaka, kao i u peščarima i laporcima), formiran je najvećim delom pukotinski tip izdan, a jednim delom u karbonatim tvorevinama i karstni tip izdani.

Malm (J_3) je predstavljen karstifikovanim krečnjacima i u njima je formiran karstni tip izdani.

Uticaj navedenih izdani na ovodnjenost ležišta uglja je jako izražen i to se manifestovalo tokom dosadašnjeg otkopa uglja. Usled znatnih priliva podzemnih voda iz mezozojskih krečnjaka, uslovili su 1958. godine zatvaranje jame „Padina Mare”. Na osnovu malo pisanih podataka, saznaje se da su prilivi iz alohtonih mezozojskih stena, ometali i eksploataciju u ugljonosnom polje „Stari Jasenovac”.

U „centralnom polju” u kome se trenutno odvija eksploatacija uglja, alohtoni krečnjaci iz povlate ugljonosne miocenske serije, uslovljavali su najveće prilive u rudarske prostorije. Kada se rudarskim radovima prilazilo zapadnom obodu ležišta, odnosno alohtonim krečnjacima iz navlake, dolazilo je do priliva koji su u pojedinim periodima dostizali i do 20 l/s.

Posebno se u tom pogledu pridaje važnost pravcima pružanja rasednih struktura i drugim dislokacionim zonama, kao privilegovanim pravcima filtracije podzemnih voda. Njihova vodonosnost se više puta odrazila na prilive u rudarske radove. Do naglog dreniranja podzemnih voda iz raseda R-9 (slika 77.), došlo je usled njegovog presecanja pri izradi etažnog hodnika EH-2 u otkopnom polju OP-5. Prilivi su tada iznosili nešto preko $Q = 9$ l/s, a potom su se smanjili na 2-3 l/s.

U centralnom i istočnom delu **bogovinskog basena**, povlatu ugljonosnoj oligocenskoj seriji čine miopliocenski sedimenti (M_3, Pl), slika 96. U hidrogeološkom pogledu, predstavljaju kompleks vodopropusnih i vodonepropusnih tvorevina, ali najveći značaj se pridaje litološkim članovima izgrađenih od peskova i slabovezanih grubozrnih konglomerata koji mestimično prelaze u šljunkove. U ovim sedimentima je formiran zbijeni tip izdani, s tim da u delovima gde se javljaju konglomerati, onda je u njima formiran pukotinski tip izdani.

Vodonepropusne tvorevine u ovom kompleksu, čine peskovite i laporovite gline.

Slabo vezana konglomeratična serija, ima jako promenljivu debljinu koja varira obično 1-10 m, ali ona može iznositi i 66 m (bušotina B-34/8) ili 65 m (bušotina B-45/8), Filipović i dr. 1988.

Mestimično, ova serija prelazi u šljunkove gde zajedno sa peskovima i zaglinjenim peskovima, čine jedinstvenu hidrogeološku strukturu u kojoj je formiran zbijeni tip izdani. Posmatrano u profilu, ova izdan je zastupljena u više peskovito-šljunkovitih horizonata, koji su razdvojeni vodonepropusnim slojevima peskovitih i laporovitih glina.

Filtracione karakteristike ovih horizonata su određene metodom kompresiranja pijezometrima B-3/87 dubine 157,5 m i B-4/87 dubine 176 m (Filipović i dr. 1988). Sračunati koeficijenti transmisibilnosti koji se kreću u granicama $T=2,03-2,3 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, ukazuju na relativno slabu vodopropusnost sredine, ali ovo treba uslovno prihvatiti obzirom na primenjeni metod hidrodinamičkog testiranja sredine.

Na vodonosnost mioplIOCenskih sedimenata, mnogo bolje su ukazali podaci koji su dobijeni tokom izrade rudarskih prostorija za otvaranje ležišta za eksploataciju. Izradom najpre ventilacionog okna već na dubini od 30,5 m, došlo je do priliva rudničkih voda, a oni su se manifestovali i pri izradi ventilacionog niskopa GVN i transportnog niskopa GTN-1. Maksimalni prilivi su tada iznosili 8 l/s.

U **sokobanjskom basenu**, klastični sedimenti donjeg pliocena (Pl_1), transgresivno leže preko ugljonosne serije. Ovi sedimenti debljine 50-270 m, čine hidrogeološki kompleks. U peskovitim i šljunkovitim sedimentima, formiran je zbijeni tip izdani, a šljunkovite i šljunkovito-peskovite gline, čine vodonepropusni deo kompleksa.

Pliocenski sedimenti u povlati ugljonosne miocenske serije su nabušeni brojnim istražnim bušotinama koje su izvedene za potrebe definisanja rezervi uglja (bušotine KL-115, LE-105 i dr.). Bez obzira što je tokom 1992. godine vršeno kompresiranje jednog broja ovih bušotina radi orjentacionog sagledavanja filtracionih karakteristika miocenske serije, nije pri tome testirana vodonosnost pliocenskih sedimenata.

Sa hidrogeološkog aspekta je karakterističan litološki stub istražne bušotine LE-105, obzirom da je konstatovana 3 peskovita horizonta:

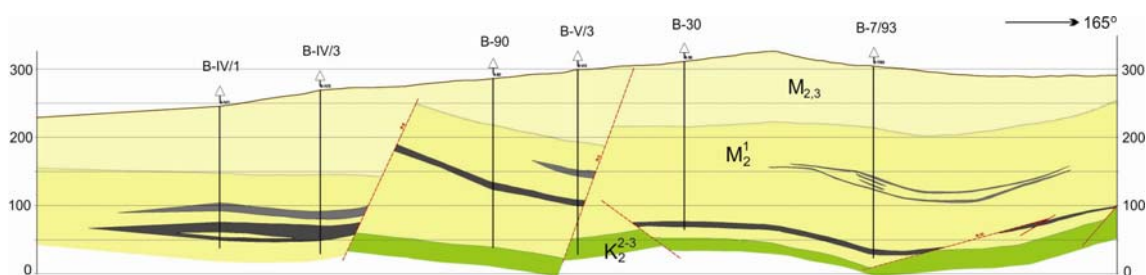
- o 9,0 - 13,6 m (pesak, sitnozrn, delimično glinovit, ukupna debljina sloja je $m= 4,6 \text{ m}$);

- 17,3 – 38,8 m (pesak, sitnozrn sa tanjim proslojcima laporovite gline, ukupna debljina sloja je $m= 21,5$ m);
- 46,3 – 52,6 m (pesak, delom zaglinjen, ukupna debljina sloja je $m= 6,3$ m).

U ovim slojevima peska, svakako da prisustvo glinovitih komponenti umanjuju filtraciona svojstva i uopšte vodonosnost. Situacija je donekle drugačija kod šljunkovitih horizonata, mada nema pouzdanih podataka o tome. Ipak u postojećim okolnostima, prilivi rudničkih voda koji se javljaju u servisnom oknu rudnika "Soko" u količini od oko 2 l/s, upućuju na mogućnost da se na ovaj način vrši delimično dreniraje zbijene izdani iz navedenih pliocenskih vodnosnih horizonata.

Uzevši u celini, izdanske voda iz pliocenskih sedimenata, nemaju ipak značajniji uticaj na ovodnjenost samog ležišta uglja, obzirom da povlatu ugljonosnom horizontu, izgrađuju najvećim delom vodonepropusne miocenske tvorevine kao što su gline, peskovite i laporovite gline.

U području ležišta uglja "Lubnica", preko ugljonosne serije (M_2^1), leže sedimenti torton–donjeg sarmata ($M_{2,3}$), slika 105. Obzirom na heterogen litološki sastav, ovi sedimenti čine hidrogeološki kompleks.



Slika 105. Geološki profil terena kroz ležišta uglja „Lubnica“
(Petrović 2009)

$M_{2,3}$ – peskovi, alevriti, gline, konglomerati, šljunkovi, glinoviti peščari; M_2^1 – ugljonosna serija (konglomerati, glinoviti peščari, laporoviti alevriti, ugalj, gline); K_2^{2-3} – andezitsko-vulkanogeno-sedimentne stene

U hidrogeološkom pogledu, vodonosne horizonte karakterišu slaba filtraciona svojstva, pa se u njima ne mogu formirati značajnije rezerve izdanskih voda. Radi se zapravo o slabim kolektorskim svojstvima glinovito-liskunovitih peščara, liskunovitih i trošnih peščara i peskovima, koji sa

slabovodopropusnim proslojcima laminiranih alevrita, imaju ukrštenu slojevitost.

Navedeni paket sedimenata je u smeni sa slojevima i proslojcima gruboklastičnih sedimenata drobine i šljunkova, koji imaju nešto bolje filtracione karakteristike. Ipak, usled male debljine i proslojavanja, ne predstavljaju značajniji kolektor podzemnih voda.

Uzevši u celini, u rudarskim radovima rudnika „Lubnica“, javljaju se jako mali prilivi rudničkih voda, bez obzira na veliku dužinu izvedenih rudarskih prostorija i sa položajem ispod lokalnog erozionog bazisa Lubničke reke.

3.1.5. Uticaj gasonosnosti uglja na ovodnjenost ležišta

U slojevima uglja, redovno se sreću gasovi, bilo da su oni biogenog ili metamorfnog porekla. Zastupljeni su u prslinama, porama i raznim šupljinama u slojevima uglja, a sreću se i u poroznim stenama njegove neposredne podine ili povlate. Radi se o gasovima kao što su: metan (CH_4), ugljendioksid (CO_2), ugljenmonoksid (CO), sumporvodonič (H_2S), azotmonoksid (NO), azotdioksid (NO_2) i dr. (Pantić i Nikolić 1973).

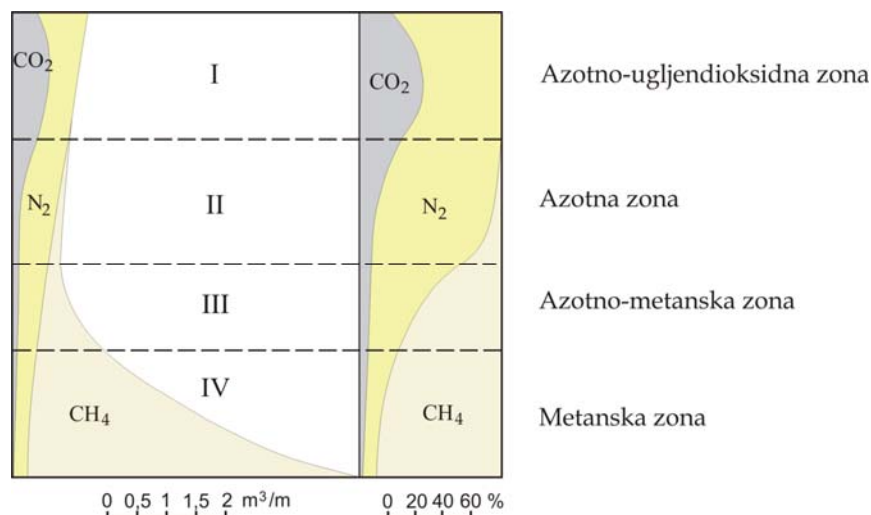
Navedeni gasovi najčešće su razmešteni po zonama u ugljonosnom horizontu ili u okviru ugljenog sloja. U najvišim nivou, nalazi se zona u kojoj je zastupljen *azot* i *ugljendioksid*. Azot je atmosferskog ili mnogo češće biohemijskog porekla, a ugljendioksid predstavlja produkt oksidacije organske materije.

Ispod ove zone, izdvaja se zona sa preovlađujućim sadržajem *azota*, a dalje prema dubini, ona prelazi u *azotno-metansku* i u najdubljim delovima ugljenog sloja je zastupljena *metanska* zona (slika 106.).

U ugljenim slojevima, od gasova najzastupljeniji je metan, a naročito u dubljim horizontima. To je gas koji nije otrovan, bez boje je, mirisa i ukusa. Lakši je od vazduha, jer mu specifična težina iznosi 0,555. Usled toga, u ugljenom sloju dolazi do njegovog premeštaja i to odozdo naviše i taj proces je mnogo brži ukoliko je sloj sa strmijim padom. U koliko je sloj uglja otkriven na površini terena, u tom slučaju metan se izdvaja u atmosferu i time se vrši prirodna degazacija uglja.

Kod horizontalnih slojeva uglja ili sa jako malim padom, metana ima svuda po sloju. U rudnicima mu se pridaje velika pažnja jer sa vazduhom gradi

eksplozivnu smešu pri sadržaju već od 5,5-16 % (Kravcov i Trofimov 1977). Pri većim pritiscima i temperaturi, metan je eksplozivan i ispod 5,5 %. Treba posebno istaći, da eksplozivnost u rudnicima pored metana, ispoljava i sumporvodoniak u smeši sa vazduhom. Pored toga, jako je otrovan kao i ugljenmonoksid (CO) ili azotovi oksidi (NO, NO₂), koji se takođe sreću u rudarskim prostorijama.



Slika 106. Gasna zonalnost ugljenih slojeva po Ludinu
(Kokerić, 2009.)

Sumporvodoniak je vezan za stare rudarske radove, gde nastaje obično u procesu truljenja organske materije (drvene podgrade i dr.).

Tokom izrade rudarske prostorije kroz ugljonosni horizont, metan se izdvaja iz porozne strukture uglja i ispunjava rudarske prostorije i to najpre njegove najviše delove. Metan se nalazi pod pritiskom u poroznom prostoru uglja, kao i u poroznim stenama njegove neposredne podine i povlate ili jalovim međuslojevima uglja (ugljonosni horizont). Njegovo oslobađanje tokom otkopavanja uglja može biti ravnomerno u obliku strujanja ili naglo u vidu provale ako se rudarskim radovima priđe jako blizu takozvanom „metanskom žarištu“ u kome je metan pod jako velikim pritiskom. U takvim slučajevima, provala metana je praćena pokretanjem velike mase ugljene prašine što je velika opasnost u rudnicima zbog mogućnosti izazivanja eksplozije.

Za koncentraciju i formiranje pritiska metana u poroznom prostoru ugljonosnog horizonta, najvažniji uslov je postojanje geološke barijere u povlati, odnosno izolatora koji sprečava premeštanje metana u pliće delove geološke sredine. Usled toga, ugljonosni horizonti predstavljaju potpuno suhu sredinu,

tako da pri prodoru metana iz takvih „metanskih žarišta“, dolazi do pokretanja veoma opasne suve ugljene prašine.

U slučajevima kada je povlatna serija sedimenata ugljonosnog horizonta porozna ili je sam ugljeni sloj otkriven na površini terena, metan se premešta naviše i oslobađa u atmosferu. Takva ležišta su obično slabo gasonosna, a porozni prostor u ugljonosnom horizontu, popunjavaju podzemne vode.

Postoje i takvi slučajevi u praksi da pri stubnoj metodi otkopavanja uglja kada se izaziva zarušavanje krovinskih naslada, upravo tada dođe do prodora metana u rudarske prostorije. Ovakav slučaj je postojao u rudniku „Soko“ i on ukazuje da su krovinske naslage bile porozne, odnosno da je migracijom naviše, metan popunio ovaj porozni prostor (Kokerić 2009).

Obzirom da metan u rudnicima uglja predstavlja najopasniji gas i da ga pri tome ima obično najviše, njegovo prisustvo se izražava na više načina. Količina metana kao gasa koji u datim prirodnim uslovima sadrži jedinica mase-zapremine metanonosne stene, predstavlja **metanonosnost** ležišta. Metanonosnost ležišta se kao parametar iskazuje u m^3CH_4 (računato na normalne uslove $p = 1033$ mbara i $t = 0^\circ C$) i svodi se na 1 tonu mase, odnosno 1 m^3 zapremine stenskog masiva u prirodnom stanju. Zato se izražava masena metanonosnost $V_{CH_4}^m$ (m^3CH_4/t) i zapreminska metanonosnost $V_{CH_4}^m$ (m^3CH_4/m^3).

Metanoobilnost podzemnih rudarskih prostorija, predstavlja meru izdvajanja – emisija metana usled kojih se vrši zaplinjavanje određenog dela ili podzemnih rudarskih prostorija u celini. U primeni su dva vida metanoobilnosti: **apsolutna** i **relativna metanoobilnost**.

Apsolutna metanoobilnosti predstavlja emisiju metana u jedinici vremena, $q_{CH_4}^m$ (m^3CH_4/min), a relativna metanoobilnost predstavlja odgovarajući odnos izdvajanja-emisija metana prema jedinici mase iskopane mineralne sirovine, $q_{CH_4}^r$ (m^3CH_4/min).

Gasonosnost ležišta kamenih i mrkih ugljeva Srbije je izražena. Rudnik antracita „Vrška Čuka“, spada u rad metanskih jama sa stalnom pojavom metana pri otkopa antracita. Bez obzira na značajnu tektonsku oštećenost ležišta, degazacija slojeva uglja nije izvršena podjednako u celom ležištu i to zbog karaktera pratećih pelitskih naslaga povlate koje su nepropustljive, tako da zadržavaju metan unutar sloja. Pri otkopu antracita u severozapadnom i

centralnom delu ležišta, pojave metana su znatne. Pored toga, u jamskim prostorijama se javlja i ugljendioksid, mada se radi o koncentracijama koje su zanemarljive u odnosu na metan.

U jugozapadnom delu ležišta, pojave metana su veoma male zbog manje dubine zaleganja ugljenih slojeva, a i zbog izraženijih rupturnih tektonskih deformacija, što je uslovalo prirodnu degazaciju uglja.

U jami rudnika "**Jarando**"- spuštenu deo, ispitivanja gasonosnosti su ukazala da relativna, kao i apsolutna gasoobilnost ležišta nije visoka. Relativna gasoobilnost se kreće od 0,77 do 4,639 m³/t r.u., a apsolutna gasoobilnost od 0,248 do 1,121 m³/t r.u. (Janić 2005).

Relativni sadržaj metana se kreću u granicama 0,025 - 0,245 m³/t r.u., a apsolutni 0,008 - 0,079 m³/t r.u., odnosno za maksimalni sadržaj metana od 31,82 % koliko je registrovano u ispitivanom uzorku uglja, ukupni gasni kapacitet prema metanu se kreće 0,140 - 0,600 m³/t r.u. (Janić 2005).

Obzirom da se kategorisanje ležišta mora vršiti po najoštrijim kriterijumima, na osnovu iznetog relativnog sadržaja metana, ležište „Jarando“ pripada azotmetanskom delu metanske zone.

Sadržaji metana od 0,245 m³/t r.u., u uzorku iz podine rudarske prostorije TN-2 (sa dubine 44,40 - 46,10 m), ukazuje da će metanski karakter ležišta dolaziti do izražaja kako se eksploatacija bude spustala prema njegovim dubljim delovima.

U **tadenjskom basenu**, rezultati ispitivanja gasonosnosti ležišta ukazuje da relativna i apsolutna gasoobilnost nije visoka i iznosi 3,204 - 9,234 m³/t r.u. ili 2,723 - 3,629 m³/t r.u. Pretežne gasonosnosti čine koncentracije azota sa vrednošću od 0,492 do 0,707 m³/t r.u. zatim, ugljendioksid sa vrednostima od 0,025 do 0,081 m³/t r.u. i metan sa vrednosti od 0,000 do 0,019 m³/t r.u. (Janić 2005).

Maksimalna gasonosnost je registrovana kod uglja od 0,743 m³/t r.u., a najmanja kod laporca sa 0,492 m³/t r.u.

Kod uglja, maksimalna koncentracija metana iznosi 0,743 m³/t r.u., dok je minimalna registrovana kod laporca i peščara 0,207 m³/t r.u. - 0,000 m³/t r.u. (Janić 2005).

Sprovedenim ispitivanjima gasonosnosti ležišta uglja „Tadenje“, potvrđeno je da je relativna metanoobilnost ležišta u granicama 0,000 - 0,062 m³/t r.u., a apsolutna 0,002 - 0,024 m³/t r.u. Ukupni gasni kapacitet za

maksimalni sadržaj metana od 2,61%, iznosio bi 0,068 – 0,280 m³/t r.u. (Janić 2005).

Kategorisanje ležišta prema sadržaju metana, izvršeno je u I kategoriju metanske zone, sa azotno-metanskim karakterom. Ova izdvojena zona gasonosnosti ležišta, upućuje na mogućnost postojanja područja u ležištu sa višom metanonosnošću.

U resavsko-moravskom basenu, ispitivanjima gasonosnosti ležišta uglja „**Strmosten**“, utvrđeno je da jama „Strmosten“ kojom se vrši eksploatacija ovog ležišta, pripada kategoriji metanskih jama (Glišić 2006). Gasnu smešu čine: azot (74,77-92,82 %), ugljendioksid (2,99-36,72 %), vodonik (0,0-7,74%) i metan (0,0-0,63 %). Gasonosnost ležišta je dakle relativno visoka i iznosi 3,393 m³/t rovnog uglja. Ležište pripada azotno-ugljendioksidnoj zoni. Obzirom da je ugalj u ležištu „Strmosten“, sklon samozapaljenju i obzirom na izraženu eksplozivnost ugljene prašine tokom otkopa uglja, u jami je uveden metanski režim rada.

Ispitivanjima gasonosnosti ležišta uglja „**Jelovac**“, potvrđen je njegov metanski karakter (Glišić 2006). Gasnu smešu čine: azot (32,09-68,84 %), metan (15,17-58,91 %), kiseonik (4,70-16,95 %) i ugljendioksid (0,40-0,70 %).

Jamu „**Senjski Rudnik**“ u ranijim fazama rada, karakterisale su povremene pojave metana sa koncentracijom koje su se kretale od 0,3 %, zbog čega je 1973. godine, kategorisana u kategoriju metanskih jama.

Kasnijom kategorizacijom koja je izvedena 1992. god., ova jama je prema stepenu opasnosti od metana, razvrstana u kategoriju nemetanskih jama (Petrović 2008).

Jama rudnika „**Jasenovac**“ je prema kategorizaciji i razvrstavanju rudarskih prostorija po stepenu opasnosti od metana, svrstana u nemetansku jamu (Milenković 2005).

Kategoriju nemetanske jame ima i jama rudnika „**Bogovina**“ - istočno polje (Milenković i Ramović 2004).

Osnovne karakteristike gasonosnosti ležišta uglja „**Soko**“, ogleđa se u prisustvu gasova u slabo vezanim peščarima i peskovitim glinama, koje se nalaze u povlati ugljonosnog horizonta, na rastojanju od 12-35 m (Bralić 1976).

Gasovi su pod visokim pritiskom koji može da iznosi i do 22 bara. U Bogdincu 1992. god., tokom istražnog bušenja za potrebe istraživanja zapadnog polja ležišta uglja, došlo je do erupcije i samozapaljenja metana iz bušotine KM-208, kao što se može videti na slici 107.

U sloju uglja koji se eksploatiše, nije do sada konstatovano prisustvo gasa pod pritiskom, osim u tektonski poremećenim zonama (Loos 2004). Gasna smeša je sastavljena od sledećih gasova: ugljendioksid (4,75 - 55,14%), metan (0,8 - 70,60%) i azot (22,54 - 93,89%).



Slika 107. Erupcija metana iz bušotine KM-208 kod Bogdinca u sokobanjskom basenu (foto S.Bačić-Vlahović)

Gasonosnost ležišta uglja „Lubnica“ je relativno mala i kreće se od 0,411 do 0,988 m³/t r.u., izraženo kroz sadržaj svih gasova (CO₂, N₂ i CH₄). U pogledu samo metanonosnosti, vrednosti se kreću od 0,00 do 0,003 m³/t r.u.

Na osnovu ispitivanja sastava gasne smeše u „Staroj jami“ rudnika „Lubnica“, utvrđena je pripadnost I kategoriji azotno-metanske zone, a dublji delovi jame, pripadaju II kategoriji metanske zone.

Jama „Štavalj“ prema važećoj kategorizaciji i razvrstavanju rudarskih prostorija po stepenu opasnosti od metana, svrstana je u nemetanske jame. Ovo je jedna od najovodnjenijih jama u Srbiji, tako da

porozne stene koje se nalaze u povlati ugljonosnog horizonta „centralnog polja“, omogućavaju prirodnu degazaciju uglja.

Na osnovu izvršenog prikaza gasonosnosti ležišta kamenih i mrkih ugljeva koji su trenutno u eksploataciji u Srbiji, zapažena je određena zavisnost u nekim ležištima uglja između gasonosnosti i njegove ovodnjenosti. Ona nije uvek stalna i striktno definisana jer je uslovljena uticajem brojnih prirodnih faktora koji definišu ležište u morfološkom, geološkom, tektonskom, hidrogeološkom i dr. pogledu, kao i uticajem faktora koji su uslovljeni načinom otvaranja ležišta za eksploataciju, metode otkopavanja uglja i dr.

Zapaženo je u nekim slučajevima da u delu ležišta gde se rudarski radovi izvedu kroz ugljonosnu seriju, javljaju relativno mali prilivi rudničkih voda i

pritom jama ima metanski režim eksploatacije (najdublji delovi jame „Strmosten“, „Jelovac“, „Soko“, „Lubnica“).

Kod ležišta koja u povlati ugljonosnog horizonta imaju porozne stene kao u slučaju severnog dela jarandolskog basena (područje „stare jame“), „krovne galerije“ u „Senjskom Rudniku“ i jame „Štavalj“, dolazi do prirodne degazacije uglja. Ove jame karakteriše nemetaski režim eksploatacije, ali zato imaju povećane prilive rudničkih voda.

3.1.6. Veštački uslovi ovodnjenosti ležišta uglja

Organizovana eksploatacija kamenih i mrkih uglja u Srbiji, odvija se više od 160 godina. Za ovo vreme, pored uglja, otkopani su i milioni tona rudne jalovine, tako da pored ogromnih deficita masa koje su stvorene u geološkoj sredini, odlaganje rudne i separacijske jalovine na površini terena, ostavilo je značajne posledice (Jevremović i dr. 1996).

Uzevši u celni, veštački uslovi ovodnjenosti analiziranih ležišta kamenih i mrkih uglja, ispoljeni su:

1. uticajem eksploatacije uglja iz geološke sredine;
2. uticajem odlaganja rudne i separacijske jalovine na površini terena.

3.1.6.1. Uticaj eksploatacije uglja na ovodnjenost ležišta

Tokom otvaranja, razrade i eksploatacije ležišta uglja, stvaraju se tehnogeni procesi koji zajedno sa prirodnim uslovima, uslovljavaju ovodnjenost ležišta uglja. Najznačajniji veštački faktori koji uslovljavaju ovodnjenost ležišta uglja su:

- a) izrada rudarskih prostorija kroz vodonosne sredine;
- b) stare rudarske prostorije;
- c) primenjena metoda otkopavanja uglja.

a) Zbog potrebe primene određene metode jamskog otkopavanja uglja, veoma često se rudarskim radovima vrši presecanje kompleksa stena sa različitim hidrogeološkim funkcijama, čime se pospešuje dodatno dreniranje izdanskih voda u rudarske radove. Kao reprezentativni primer, može se uzeti deo rudarskih radova u jamama ležišta uglja „Strmosten“, „Jelovac“, „Senjski Rudnik“, „Jasenovac“, „Soko“, koji su izgrađeni kroz mezozojske krečnjake i ako u neposrednoj blizini, po istim krečnjacima protiču stalni površinski tokovi.

Prilivi rudničkih voda su često bili uslovljeni i kada se tokom eksploatacije uglja u pojedinim fazama, presecale rasedne zona u ležištu. Usled njihove značajne ovodnjenosti, dolazilo je do potapanja jamskih prostorija i obustave eksploatacije uglja.

U području ležište uglja „Strmosten“, rudarske prostorije su značajnim delom izvedene kroz urgonske krečnjake. Ležište je otvoreno „strmostenskim potkopom“ (k.286,65) i to sa trasom koja je prolazila hipsometrijski ispod korita Vodničkog potoka oko 30 m. Iz tog razloga, ovaj vodotok uslovljava stalne prilive rudničkih voda u potkopu. Ekstremno visoki vodostaj potoka 1969. godine, uslovio je i potapanje jednog dela rudarskih prostorija.

U jami „Jelovac“, zbog potrebe deblokiranja rezervi uglja koje su postojale u zaštitnom stubu „jelovačkog potkopa“, sprovedeni su 2002. godine, radovi na zatvaranju ovog potkopa i izradi novih alternativnih transportnih rudarskih prostorija i to kroz urgonske krečnjake. Probijanjem trase glavnog transportnog niskopa GTN-1 kroz urgonske krečnjake Belog Brda i to iz jelovačkog potkopa sa k.289,3 u pravcu zapada, uzrokovano je njegovo potapanje. U prvom trenutku, iznenadni prilivi su iznosili 130 l/s.

Izradom dakle GTN-1 i drugih rudarskih prostorija kroz urgonske krečnjake kao što su GTN-2, OH-1 i dr., uslovljeni su relativno značajni prilivi rudničkih voda i ako se u ranijim fazama eksploatacije, smatrano da je ležište uglja „Jelovac“, relativno slabo ovodnjeno ležište.

Slične okolnosti se sreću i u starom delu jame „Senjski Rudnik“, gde su rudarskim radovima u području „krovne galerije“, zahvaćeni karstifikovani krečnjaci Stenke. Rudarske prostorije u ovom delu jame, nalaze se oko 200 m ispod površine terena i korita Ravanice. Na ovaj način, prouzrokovano je konstantno dreniranje karstne izdani, koje je u pojedinim periodima iznosilo i do 47,0 l/s (1975. god.).

U ležištu uglja „Jasenovac“ - centralno polje, mezozojski krečnjaci koji se nalaze u tektonskoj povlati ugljonosne serije, zahvaćeni su izradom jednog broja rudarskih prostorija, čime je uslovljeno delimično dreniranje karstne izdani duboko ispod lokalnog erozionog bazisa. Najznačajniji prilivi u jami su se javili 2006. godine, kada je iz IH-4a (k.300), urađena otkopna prostorija u pravcu raseda R-8, odnosno povlatnih trijaskih krečnjaka. Time su bili uzrokovani prilivi rudničkih voda iz karstne izdani, koji su u prvom trenutku iznosili $Q= 15$ l/s.

Ležište uglja „Soko“ je važno za relativno slabo odvodnjeno ležište međutim, sa otvaranjem otkopnog polja OP-4, krenulo se sa izvođenjem glavnih transportnih prostorija (TN-1z, k.55), kroz dolomitične krečnjake paleoreljefa. Prilivi rudničkih voda iz karstne izdani su bili manifestovani u rudarskim prostorijama ETH-12, VN-1z, PVU-4, kao i iz jamske bušotine B-1/30. U prvom trenutku, prilivi su iznosili i preko 30 l/s (juli 2006. god.).

Za potrebe I-faze otvaranja „istočnog polja“ ležišta uglja „Soko“, sa površine terena je izrađen niskop GTN-1 i u njegovom nastavku GTN-2, u ukupnoj dužini od 1219,5 m (slika 92.). Najvećim delom, niskopi su izrađeni kroz urgonske krečnjake Device, tako da je u ovim radovima ispod lokalnog erozionog bazisa reke Izgare, došlo do priliva rudničkih voda iz karstne izdani. U martu 2004. godine, iznosili su do 6,5 l/s.

U ležištu kamenog uglja „Jarando“, zbog potrebe eksploatacije dubljih delova ležišta tzv. „spušteni deo“, bili su izazvani 1982. godine u otkopnom polju OP-1, iznenadni prilivi rudničkih voda. Do priliva je došlo kada se glavnim transportnim hodnikom GTH-2, prišlo jako odvodjenom rasedu R-2 (k.211,8). U prvom trenutku su bili izazvani prilivi od $Q = 1100$ l/s, što je dovelo do potapanje jame.

b) Stare rudarske prostorije koje se ne odvodnjavaju, imaju izraženi uticaj na formiranje priliva rudničkih voda. U našoj praksi, starim rudarskim prostorijama se najčešće ne poklanja adekvatna pažnja, tako da su to često slobodni prostori duboko ispod lokalnih erozionih bazisa u kojima se obično akumuliraju jako značajne rezerve rudničkih voda.

Njihovo odvodnjavanje se najčešće ne vrši na adekvatan način, mada i samo održavanje rudarskih prostorija, prate ponekada brojni problemi.

Podzemne vode u krovinskim naslagama, imaju najčešće dvojaku ulogu. U jednom slučaju kada su u geološkoj sredini prisutne podzemne vode, tada dolazi do smanjenja trenja među pokrenutim blokovima i komada stena, tako da poboljšavaju klizanje, a samim tim pospešuju deformacije i zarušavanje rudarskih prostorija.

U drugom slučaju kada su podzemne vode u dodir sa jako plastičnim glinama, uslovljavaju njihovo bubrenje, često u toj meri da se stvaraju tako jaki pritisci, koji deformišu podgradu i prodiru u unutrašnjost rudarskih prostorija.

Ovi procesi su jako izraženi u jami rudnika „Bogovina“-istočno polje, rudniku „Soko“, „Lubnici“ i u drugim jamama (slika 108.).



Slika 108. Deformacije krovine u potopljenoj rudarskoj prostoriji ON-1 rudnika „Lubnica“- Osojno jug (foto B.Miladinović)

Zarušene stare rudarske prostorije, najčešće se zatvaraju za dalje korišćenje i to izgradnjom blendi ili takozvanih naboja na ulazima. Bez obzira na ispusne cevi koje se pritom postavljaju na blendi u cilju dreniranja zatvorenih starih prostorija, usled zarušavanja i zamuljivanja, često se ono otežano vrši, pa dolazi do akumuliranja značajnih rezervi rudničkih voda.

Uticao rudničkih voda iz starih rudarskih prostorija u formiranju priliva, izražen je u svim jamama rudnika kamenih i mrkih ugljeva Srbije. Na ovom mestu, biće istaknuti neki od njih.

U jami rudnika antracita „Vrška Čuka“, stari rudarski radovi iz 1992. godine, uslovljavaju prilive rudničkih voda koji se javljaju u transportnom hodniku TH-1 na raskršću sa hodnikom H-12 (k.212), kao i iz „avramičkog okna“, gde rudničke vode ističu u vidu samoizliva i time dreniraju potopljene stare rudarske radove na nivou spojnog hodnika TH-2 (k.121,6).

U jami „Jarando“, u rudarskoj prostoriji VNP-1, nalazi se slepo vetreno okno koje je bilo vezano za stare rudarske radove, tako da se u tom delu sada stvaraju jednim delom prilivi rudničkih voda.

U jami „Strmosten“, ovodnjeni stari rudarski radovi se nalaze na k.150, a jednim delom i u nivou „strmostenskog potkopa“ (k.287). Jedan deo ovih rudarskih radova, zatvoren je blendom (k.290,41) kod ventilacionog okna na niskopu N-5 (u produžetku PH-2). Na ispusnoj cevi ove blende, ističe samo jedan deo rudničkih voda i to u količini od 0,1 l/s (1994-2000. god.). Na ovaj način, stvorena je mogućnost uticaja rudničkih voda iz starih radova na prilive koji se javljaju u dubljim delovima jame (k.45).

U ležištu uglja „Jelovac“, najdublje rudarske prostorije su izrađene do k.190 (raskršće GTN-2 i OH-1) i u tom delu se nalazi glavni vodosabirnik. Kako se stari rudarski radovi u pravcu istoka, odnosno „jelovačkog potkopa“, nalaze na višim kotama, njihovo dreniranje jednim delom uslovljava prilive koji se javljaju u aktivne rudarske prostorije.

U jami rudnika „Jasenovac“, rudničkim voda iz starih rudarskih radova, ne poklanja se adekvatna pažnja, tako da one stalno ometaju eksploataciju uglja. Tokom otkopa uglja 2001-2002. godine u području rudarskih radova koji su činili niskopi IH-4, IH-4a i IH-5, prilive u ovim i pratećim otkopnim prostorijama, uslovljavale su rudničke vode iz starih radova kojima je devedesetih godina prošlog veka otkopavan ugalj.

Nakon završetka radova 2002. godine u tom otkopnom bloku, niskopi IH-4, IH-4a i IH-5 i prateće otkopne prostorije nisu odvodnjavane, tako da je IH-5 koji je najdublje izveden do k.236, bio potopljen do približno k.280.

U jami rudnika „Lubnica“, rudničke vode iz starih radova, potopili su u decembru 2008. godine, rudarske prostorije ON-1 i VH-1 do k.75. Do iznenadnih priliva je došlo kada se niskopom ON-1 iz ventilacionog hodnika VN-1, prišlo na 2 m od starih rudarskih radova (k.60,5). Odvodnjavanje potopljenih prostorija je trajalo oko mesec dana, a onda je došlo do znatnog smanjenja priliva.

U „istočnom polju“ ležišta uglja „Bogovina“, iz starih rudarskih radova TN-24 i TN-25 duž kojih se dreniraju zatvoreni stari rudarski radovi u severnom delu ležišta, uslovljavaju prilive rudničkih voda u niskop TN-2, tako da je on potopljen ispod k.-15,18.

U jami rudnika „Soko“, priliva rudničkih voda iz starih rudarskih radova, počeli su značajnije da se manifestuju u otkopnom polju OP-4 od avgusta 2007. godine. Najpre su se javili pri otkopu hodnika EH-12, a nešto kasnije i na izolacionim pregradama starih rudarskih radova EH-30 (k.30) i EH-39 (k.39). Krajem novembra 2007. godine, iznosili su i do 15 l/s.

Prilivi rudničkih voda iz starih rudarskih radova, prvenstveno su bili uslovljeni slabom vododržljivošću glavnog vodosabirnika kod izvoznog okna (k.170), koji je izrađen u staroj rudarskoj prostoriji i to u samom sloju uglja.

U jami rudnika „Štavalj“, rudničke vode iz starih rudarskih radova, imaju jako veliko učešće u formiranju ukupnih priliva. Najvećim delom se javljaju u transportnom niskopu TN-1 i to na ispustima blendi zatvorenih rudarskih prostorija: SH-1, VP-1, OH-810 (slika 109.), OH-20 i brojnih drugih.



Slika 109. Isticanje rudničke vode iz zatvorenog otkopnog hodnika OH-810
jame rudnika „Štavalj“ (foro B.Miladinović)

c) Primenjeni metod otkopavanja uglja ima takođe jako veliki značaj na ovodnjenost ležišta (Torbica 2011). U Srbiji, ležišta kamenog i mrkog uglja se otkopavaju podzemnim (jamskim) načinom. U pojedinim fazama međutim, kada su geološki uslovi i kvalitet uglja u izdanačkim delovima ležišta to dozvoljavali, eksploatacija uglja je vršena i površinskim načinom. Obično zbog ograničenosti rezervi, u dosadašnjim slučajevima, površinska eksploatacija je vremenski relativno kratko trajala.

Uticao jamske eksploatacije na ovodnjenost ležišta uglja se ogleda u tome da tokom otkopa, dolazi do deformacija okolnog prostora i čitava sredina postaje znatno vodopropustljivija u odnosu na predhodno prirodno stanje. Kakve će se deformacije okolnih stena usloviti pri otkopu uglja, najvećim delom zavisi od primenjene metode otkopa.

Za jamsku eksploataciju uglja u našim ležištima, primenjuju se stubne metode otkopa (najčešće „G“ metoda sa obaranjem krovnog uglja i zarušavanjem krovine). Ova metoda otkopavanja se primenjuje ili je bila u primeni gotovo u svim ležištima uglja (Milećević i dr. 2007).

Kod stubne „G“ metode otkopavanja, primenjuju se sledeće faze rada: 1) osnovna priprema (ili priprema pružnih-„nagnutih stubova“); 2) otkopna priprema; 3) otkopavanje; 4) zarušavanje krovine.

U rudniku „Jasenovac“, ova metoda otkopa uglja je po tehničko-tehnološkim karakteristikama, davala dobre rezultate, međutim pri otkopu slojeva uglja debljine preko 15 m, rezultati nisu bili zadovoljavajući. Zato se

2005. godine, prešlo na primenu *stubne etažno-prečne „V“ metode otkopavanja*. Probno otkopavanje po ovoj metodi, izvršeno je u otkopnom polju OP-4. Između ove dve navedene metode otkopavanja uglja, razlika postoji u rastojanju osnovnih hodnika i nagibu otkopnih uskopa.

Stubna "V" metoda otkopavanja, daje zadovoljavajuće rezultate otkopavanja i u „istočnom polju“ ležišta uglja „Bogovina“.

Za otkop uglja u „zapadnom polju“ rudnika „Soko“, u primeni je od 1985 godine *DRP Stubno-komorna metoda sa prečnim otkopima, obaranjem krovnog uglja i zarušavanjem krovine*.

Ova metoda otkopa daje dobre rezultate sa aspekta kapaciteta otkopavanja na jednoj pod-etaži, međutim dvostadijalno miniranje, pri čemu se drugi stadijum vrši iz nepodgrađenog prostora, rizično je u pogledu sigurnosti rada rudara u njemu.

Za primenu prikazanih metoda otkopavanja uglja i izradu rudarskih prostorija, važnu ulogu imaju i minerski radovi (slika 110.). Oni stvaraju stalne



Slika 110. Radovi na bušenju minskih bušotina u jami
(foto M.Petrović)

potrese koji se prenose na okolne stene. Najčešće to ima za posledicu stvaranje delimičnog oštećenja okolnih stena u vidu nastanka pukotina i fraktura.

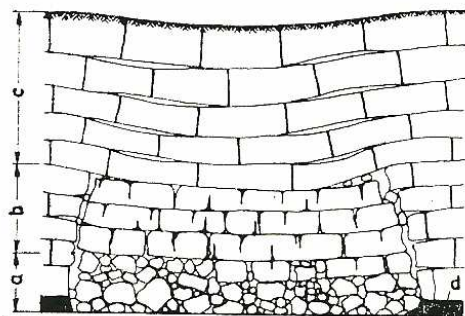
Pored ove vrste deformacija koje se stvaraju, sa hirogeološkog aspekta, zarušavanje krovine pri otkopu sloja uglja, ima takođe veliki značaj. Time se ruši struktura stena i tla u krovini, a deformacije često prenose do

površine terena. Na taj način sredina postaje poroznija i povoljnija za infiltraciju površinskih voda.

Po Mironenku i dr. 1976, pri obrušavanju krovine, značajna zapremina stena u toj zoni se deformiše. U tom delu se izdvajaju tri zone: zona obrušavanja, zona pukotina i razloma, zona ravnomernog sleganja (slika 111.).

U zoni obrušavanja, isti istraživač navodi da postoji praktično neograničena vodopropusnost, a u zoni pukotina i razloma, nekoliko puta veća od prirodne.

Zarušavanje povlatnih naslaga, ne odvija se uvek pravilno, tako da se zavisno od fizičko-mehaničkih svojstava stena i visine otkopa, različito



Slika 111. Šema zarušavanja krovinskih naslaga (Mironenko i dr. 1976)

a) zona obrušavanja; b) zona pukotina i razloma; c) zona ravnomernog sleganja; d) ležište mineralnih sirovina

manifestuje po širini i visini. Kako najčešće litološki stub povlate, izgrađuju raznorodne stene, onda se obično u zoni zarušavanja razlikuje *direktna* i *indirektna* povlata ili po Farmeru 1985, *superkritična* i *subkritična* zona.

Direktnu povlatu čine krovne naslage koje se nalaze neposredno iznad sloja uglja i njena debljina zavisi od istovetnosti fizičko-mehaničkih svojstava stena koje se nalaze iznad njih.

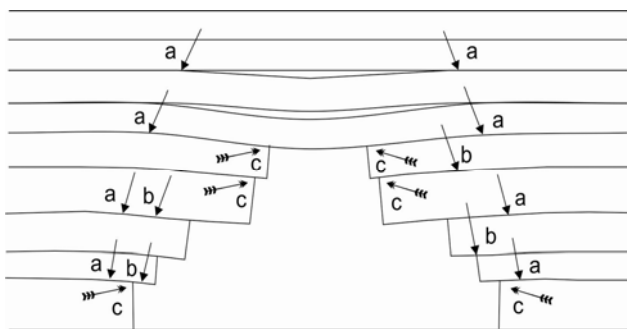
Iznad direktne povlate, nalazi se indirektna povlata, ali nju karakterišu fizičko-mehanička svojstva koja su različita od naslaga direktne povlate.

Prilikom zarušavanja krovine nakon otkopa sloja uglja, zarušava se direktna povlata (Gupta i Farmer 1983). Ako indirektnu povlatu izgrađuju stene sa boljim fizičko-mehaničkim svojstvima (većom čvrstoćom), njeno zarušavanje se ne ostvaruje onda istovremeno sa direktnom povlatom.

Zarušavanjem direktne povlate, formira se svod prema indirektnoj povlati, koji je u najvišim delovima često prazan (šupalj), usled deformacija stena krovine i uslovljene zapune otkopanog sloja uglja. Nakon ovog zarušavanja, ako dođe do poremećaja indirektna povlate i stvore se uslovi za njeno zarušavanje usled dejstva pritiska od viših litoloških članova, onda se ono prenosi u vidu formiranja novog svoda zarušavanja nad obimom postojeće šupljine i manifestuje se kao posledica pritiska koji je sada stvoren od svoda u indirektnoj povlati. Na taj način, dolazi do prolamanja jezgra svoda indirektna povlate i zarušavanja naslaga indirektna povlate.

Jedan način formiranja svoda zarušavanja, može se videti na slici 112., kojom je Kegel dao svoju teoriju svoda i ploča. Sa nastavkom eksploatacije ležišta, zarušavanje povlate se nastavlja sa vremenom do površine terena.

U izvesnim slučajevima kada stene povlate jako čvrste ili se u pojedinim delovima otkopnih polja prestane sa otkopom uglja, zasvodnjene praznine (šupljine) u indirektnoj povlati, mogu ostati privremeno ne zapunjene, ali sa vremenom naknadnim procesima usled proširenja svoda, odvaljeni komadi i blokovi krovine, ispunjavaju ovaj prostor.



Slika 112. Primer formiranog svoda zarušavanja krovinskih naslaga po teoriji svoda i ploča Kegela (Petrović 1963)

U tom smislu i podzemne vode sa svojim mineralnim rastvorom i suspendovanim česticama koje sa sobom nose, doprinose jednim delom ovom procesu.

Bez obzira na sve okolnosti, deformacije stena krovine uslovljene postupkom zarušavanja, imaju izuzetno veliki hidrogeološki značaj, jer je

u povlati otkopanog dela ležišta uglja, formiran jedan dodatan i po veličini značajan porozni prostor. Njime, ne samo da se mogu povezati vodonosni horizonti iz viših delova povlate ugljeva, već se stvaraju uslovi za dodatnu infiltraciju površinskih voda, ako su se deformacije odrazile do površine terena.

Ovim veštačkim načinom, u deformisanim i zarušenim krovinskim stenama slojeva uglja, formiraju se često značajne rezerve podemnih voda, koje u određenim fazama izvođenja rudarskih radova, uslovljavaju ododnjenost ležišta kamenih i mrkih ugljeva Srbije.

U ležištima uglja „Rembas“-a i „Jasenovac“, postoje mogućnosti za svodno zarušavanje do indirektno povlate. Kao prvo, ova ležišta se otkopavaju stubnom metodom sa obaranjem krovnog uglja i zarušavanjem krovine, a kao drugo, neposrednu (direktnu) krovinu slojevima uglja, čine miocenske naslage koje imaju znatno drugačija fizičko-mehanička svojstva od čvrstih alohtonih krečnjaka ili permskih pešćara koji su zastupljeni u višim delovima povlate (indirektnu povlatu).

Pored zarušavanja direktne krovine, u području starih rudarskih radova u severnom delu jame „Senjski Rudnik“, zatim u severozapadnim delovima jame „Strmosten“ i na drugim lokacijama u resavsko-moravskom basenu,

postoje pojave zarušavanja koje su se manifestovale do površine terena (slika 113.).



*Slika 113. Deformacije površine terena uslovljene zarušavanjem krovine u jami „Senjski Rudnik“
(foto B.Miladinović)*

Takvih pojava ima i u području ležišta uglja „Jasenovac“, uz napomenu da je ovim bila zahvaćena i indirektna povlata koju izgrađuju crveni permski peščari, odnosno mezozojski krečnjaci.

Deo jame „Strmosten“ u kome je vršena eksploatacija uglja u periodu 1979-1990. godine, uslovlila je deformacije površine terena u području sela Sladaja. Zbog oštećenja na objektima i pojave klizišta na padinama, jedan deo sela je bio iseljen. Ove pojave su registrovane na manjoj površini eksploatacionog područja, a sam proces sleganja terena je trajao oko 4 godine i kasnije je došlo do njegove stabilizacije.

Na prostoru rudnika „Soko“, eksploatacija uglja u zapadnom polju, uslovlila je proces sleganja terena od 5-10 m. Kod mnogih građevinskih objekata je došlo do oštećenja, kao i na saobraćajnicama u zoni uticaja podzemnog otkopa uglja (slika 114.).

U sadašnjim uslovima, rezultati merenja deformacija površine terena na određenim profilskim linijama, ne pokazuju bitno odstupanje u dužem vremenskom periodu.

U području rudnika „Štavalj“, usled zarušavanja krovine pri otkopu uglja, dolazi do sleganja površine terena i ono se vrši sukcesivno kako radovi na otkopavanju napreduju. Postoje i pojave „provaljivanja“ krovine, pa se na površini terena formiraju udubljenja nalik pingama (slika 115.).



Slika 114. Deformacije na objektima i saobraćajnicama izazovane sleganjem terena u području zapadnog polja rudnika „Soko“ (foto S.Kokerić)
slika levo: zgrada rudnika; slika desno: lokalni put Soko Banja-Čitluk

Na osnovu podataka Lojanice 2009, direktna krovina uglja koju izgrađuju laporci, najčešće se dobro zarušava pri većoj otvorenoj površini,



Slika 115. Izgled lokalno „provaljene“ površine terena u selu Tešanovići usled zarušavanja krovine u rudniku „Štavalj“ (foto V.Lojanica)

mada u nekim delovima i pri manjim površinama dolazi do spontanog zarušavanja.

Deformacije koje se javljaju na površini terena usled ovog zarušavanja krovine, manifestuje se u početnim fazama, pojavom prslina i pukotina na objektima i ožiljcima na površini terena. Njihov prostorni položaj se poklapa sa geometrijom otkopanog dela sloja uglja u eksploatacionom polju rudnika „Štavalj“.

Uzevši u celini, prikazane pojave ukazuju na masivnosti zarušenog prostora, a time i na zanatan uticaja ove vrste tehnogenih procesa na ovodnjenost ležišta uglja.

Uticaj površinske eksploatacije uglja na ovodnjenost ležišta, ogleda se u primeni paralelne metode otkopavanja uglja, odnosno tokom trajanja jamske eksploatacije, istovremeno odvijanje radova na površinskom otkopu uglja. Na taj način se u izdanačkim delovima slojeva uglja, otkrivaju vodopropusni litološki članovi miocenske serije i time se izlažu direktnom uticaju atmosferskih padavina i

površinskim vodama. Njihovom infiltracijom se vršiti dodatno prihranjivanje izdani koje su formirane u vodonosnim horizontima, a to može imati reperkusije na ovodnjenost ležišta uglja u celini.

Površinska eksploatacija kamenih i mrkih uglja Srbije u dosadašnjem periodu, vršena je u manjem obimu i u relativno kraćim vremenskim periodima. Tako se može spomenuti površinski kop u ležištu uglja „Tadenje-Progorelica“, Makvište u Rembas-u, Bare u ležištu uglja „Lubnica“, zatim u stupskom polju u okviru sjeničko-štavaljskog basena, a u perspektivi je otvaranje površinskog kopa „Biljkina Struga“ u istočnom delu sokobanjskog ležišta uglja.

U području ležišta uglja „Tadenje“, tokom 2001. godine, izvršen je manji obim zemljanih radova na raskrivci i istovremeno je vršena eksploatacija samog uglja. Zbog male produktivnosti, radovi na površinskom kopu su prekinuti (slika 116.).



Slika 116. Deo izvršene raskrivke prvog ugljenog sloja u ležištu uglja „Tadenje“
(foto S.Bošković)

Od svih navedenih površinskih kopova, trenutno je jedino aktivan površinski kop kamenog uglja u ležištu „Progorelica“ u ibarskom basenu. Obzirom da u ovom ležištu trenutno nema podzemne eksploatacije uglja, na taj način se ne može ni govoriti o ovoj vrsti tehnogenih procesa na ovodnjenost ležišta.

Površinski kop u stupskom polju kod Štavlja, imao je svoju

kratku funkciju dok je eksploatacija uglja vršena u staroj jami tzv. „stupska jama“ kod sela Stup (1954-1968. god.). Zbog velikih priliva rudničkih voda, površinski otkop uglja je zatvoren, ali formirana depresija u terenu, u sadašnjim uslovima predstavlja prostor u kome se vrši intenzivna infiltracija atmosferskih padavina. Posebno do izražaja dolaze prolećni meseci kada dolazi do topljenja obilnog snežnog pokrivača koji je karakterističan za peštarsku visoravan. Ovaj proces je veoma izražen jer krovinu ugljonosnom horizontu, izgrađuju vodopropusni laporci, čija tektonska oštećenost i dobra vodoprovodnost ima najveće reperkusije na ovodnjenost ležišta uglja „centralno polje“.

Trenutno, depresija površinskog kopa se koristi za odlaganje separacijske jalovine i ispuštanje separacijske otpadne vode (slika 117.). Ove vode zajedno sa padavinama, svakako da uslovljavaju povećane prilive rudničkih voda u rudarske radove „centralnog polja“.



Slika 117. Deo starog površinskog kopa rudnika „Štavalj“ u kome se sada odlaže separacijska jalovina i otpadna separacijska voda (foto B.Miladinović)

Površinski kop uglja u Makvištu (Resavsko-moravski basen), bio je u radu od 1992-1996. godine i njime su otkopavane zaostale rezerve uglja „stare jame“ ležišta uglja „Makvište“. Obzirom da su u ovom delu Rembas-a, zatvorene za eksploataciju sve nekadašnje rudarske jame („Makvište“, „Bučar“, „Orlovica“, „Crveni Breg“ i dr.), uticaj napuštenog površinskog kopa na ovodnjenost ležišta uglja sada nema značaja.

Površinski kop „Bare“ u lubničkom ležištu uglja, bio je otvoren 1994. godine i njime je otkopavan uglj u krajnjem zapadnom obodu eksploatacionog polja „Osojno“ (slika 118.). Radovi na raskrivci i otkopu uglju je vršen na relativno malom prostoru do 1995. godine, a obziro na malu rentabilnost, kop je zatvoren 1996. godine.

Obzirom na slaba kolektorska svojstva sedimenata ugljonosne serije i male prilive rudničkih voda koji se javljaju u jamu rudnika „Lubnica“, depresija ovog površinskog kopa (koji je u međuvremenu i vegetacijski dobrim delom prekrivena), nema značajniji uticaj na ovodnjenost ležišta uglja.



*Slika 118. Napšteni površinski kop uglja „Bare“ u području ležišta uglja „Lubnica“
(foto B.Miladinović)*

Površinskim kopom „Biljkina Struga“ RMU „Soko“, treba u narednom periodu da se otkopava zaostali deo izdanačkog dela ugljenog sloja „Stare jame“ u bloku B-5. Površina terena na kome će se vršiti otkop je brdovit. Površinski kop će biti brdskog tipa sa nadmorskom visinom površine terena od k.480-520, a dubinski od nivoa k.480, do završne dubine na k.445.

Za otkrivanje uglja i početak proizvodnje, potrebno je otkopati 116.832 m³ jalovine (Petrović 2011). Sa hidrogeološkog aspekta, posebno će biti značajan deo otkopa kada se od k.480, radovi budu izvodili ispod kota okolnog terena. U takvim uslovima, odvodnjavanje kopa će se bazirati na izradi etažnih kanala i glavnog vodosabirnika na najnižoj koti kopa. Bez obzira na činjenicu da ugljonosnu miocensku seriju izrgađuju najvećim delom glonovite i glinovitolaporovite tvorevine, ne isključuje se mogućnost da jedan deo rudničkih voda sa kopa, putem infiltracije duž manjih rasednih struktura i markantnih raseda kao što su R-8 i R-12 (slika 79.), ima uticaj na dodatne prilive u stare rudarske radove „stare jame“, a time i na aktivne rudarske prostorije rudnika „Soko“.

3.1.6.2. Uticaj rudne i separacijske jalovine na ovodnjenost ležišta uglja

Otkopom uglja i radom prerađivačkih postrojenja, stvaraju se u području rudnika uglja, velike deponije rudne i separacijske jalovine. Odlaganje ove jalovine se najčešće u našoj praksi, vrši u duboko usečenim rečnim koritima.

U Resavici, rudna i separacijska jalovina se odlaže u klisuri Dubokog potoka, južno od ovog naselja. Samo jalovište je formirano tako što je najpre od rudne jalovine podignuta nasuta brana sa ispustom površinskih voda na k. 439,8 (slika 119.). Sa visinom brane od 20 m i širine oko 80 m, formirano je manje



Slika 119. Nasuta brana od jalovine uglja u koritu
Dubokog potoka kod naselja Resavica
(foto B.Miladinović)

akumulaciono jezero i to na podlozi koju najvećim delom čine daciti, a jednim delom i krečnjaci donje krede. Obzirom na blizinu buduće jame u ležištu uglja „Ravna Reka“ – IV blok (čije se otvaranje uskoro očekuje), pridaje se ovome značaj, obzirom na iskustva iz stare jame „Ravna Reka“. Zapravo, podzemne vode iz rasednih zona u krečnjacima, uslovile su 1973. godine, iznenadno potapanje jame.

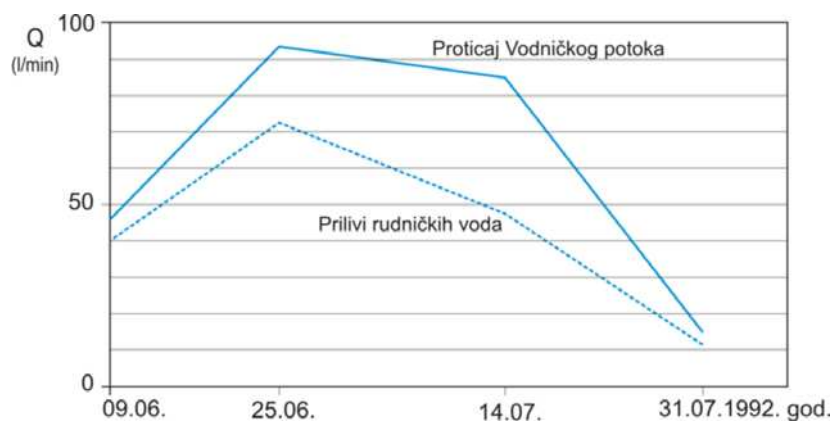
U području rudnika „Jasenovac“, rudna i separacijska jalovina se odlaže u koritu Jasenovačkog potoka. Akumulacionim jezerom koje formirano, stvoren je uspor Jasenovačkog potoka do k.379 (slika 120.). Sa ovim položajem, stvoreni su uslovi za intenzivnije prihranjivanje izdani u vodopropusnom kompleksu stena ugljonosne miocenske serije (slika 18.).

Ovaj vid uticaj na prilive rudničkih voda u jamama rudnika uglja, detaljnije je istraživano na primeru jame „Strmosten“. Zapravo, u neposrednom području ove jame, izgrađene su kaskadne brane u koritu Vodničkog potoka, radi sprečavanja njegovog povremenog buičnog proticaja i velike erozije terena koja se pritom stvara. Ovim branama su stvoreni uslovi za duže zadržavanje površinskih voda u slivu, čime je podspešena infiltracija, odnosno intenzivnije prihranjivanje podzemnih voda.



Slika 120. Akumulaciono jezero (slika levo) i izgled nasute brane (slika desno) u Jasenovačkom potoku kod rudnika „Jasenovac“ (foto B.Miladinović)

Kao primer se može navesti niskop GN-1 jame „Strmosten“ (slika 53.), u kome je konstatovana direktna zavisnost priliva rudničkih voda od veličine proticaja Vodničkog potoka (slika 121.).



Slika 121. Uporedni dijagram veličine proticaja Vodničkog potoka i priliva rudničkih voda u niskopu GN-1 jame „Strmosten“ (Miladinović 1995)

Treba takođe istaći da pri visokim vodostajima, Vodnički potok dostiže proticaje i preko $1 \text{ m}^3/\text{s}$. U tim slučajevima, prilivi u GN-1 iznose i do 30 l/s , kao što je to konstatovano tokom obilnih kiša koje su padale 25.05.2012. godine.

Ovaj vid uticaja na prilive rudničkih voda je ispoljen i u „Senjskom Rudniku“, jer su u koritu Ravanice izgrađene manje kaskadne brane, a takav slučaj je i sa Jarandolskim potokom u području jame „Jarando“ (ibarski rudnici).

Ovim svakako nisu obuhvaćeni svi veštački uslovi ovodnjenosti ležišta uglja sa podzemnom eksploatacijom u Srbiji, obzirom na brojnost i složenost

njihovih uticaja, ali su istaknuti najznačajniji.

3.2. Formiranje i veličina priliva rudničkih voda u rudarske radove

Prikazani prirodni i veštački uslovi ovodnjenosti ležišta kamenih i mrkih ugljeva, ukazuju na složemost i čestu međusobnu uslovljenost brojnih faktora koji dovode do formiranja priliva rudničkih voda. Svakako da geološka građa i hidrogeološke karakteristike sa geomorfološkim i hidrometeorološkim uslovima analiziranih područja, predstavljaju osnovu za njihovo formiranje. Rezultati sprovedenih hidrogeoloških istraživanja ukazuju takođe da gotovo u svim razmatranim ležištima uglja, postoji i izraženi uticaj tehnogenih procesa koji su nastali tokom dugotrajne eksploatacije uglja. Ispoljeni su kroz primenjenu metode otkopavanja uglja, prisustvu starih rudarskih radova, načina i dužine izvedenih rudarskih prostorija i zahvaćenu površinu geološke sredine u planu i dubini, kombinovanu primenu podzemne i površinske eksploatacije, vremenski period otkopavanja ležišta, primenjeni način odvodnjavanja rudarskih radova ili ležišta u celini i dr.

Slučajevi potapanja rudarskih prostorija ili jame u celosti, pratilo je tokom dosadašnje eksploatacije gotovo sve naše danas aktivne rudnike kamenog i mrkog uglja. Ipak, zapaženo je da su se najizraženija potapanja manifestovala u rudnicima uglja zapadne Srbije. Prilivima rudničkih voda od $Q=233$ l/s, bila je potopljena jama rudnika „Štavalj“ (24.11.1979. god.), a mnogo izraženije potapanje je imala jama „Jarando“ (ibarski basen) i to 21.04.1982. godine, kada su prilivi iznosili $Q=1100$ l/s.

3.2.1. Formiranje i veličina priliva rudničkih voda u rudnike kamenih ugljeva

U formiranju priliva rudničkih voda u rudnicima kamenih ugljeva „Vrška Čuka“, „Jarando“, „Tadenje“ i „Progorelica“, najznačajniji uticaj imaju akviferi koji su formirani u samim ugljonosnim serijama. Heterogen litološki sastav ovih serija, tektonske karakteristike basena u celini i tehnogeni procesi koji su uslovljeni eksploatacijom uglja, odrazili su se u značajnoj meri na ovodnjenosti ležišta.

a) Rudnik antracita “Vrška Čuka”

Rudnikom “Vrška Čuka” se trenutno vrši eksploatacija antracita u istočnom i severoistočnom delu eksploatacionog polja “Mala Čuka”. U ovom polju, eksploatacija antracita se odvija u hipsometrijski višem delu ležišta i to do k.330.

Najznačajniji uticaj u formiranju priliva rudničkih voda ovog ležišta, ima pukotinska izdan iz povlatnih peščara koji čine vodopropusni deo hidrogeološkog kompleksa lijaskе ugljonošne serije. Pored toga što uslovljavaju prilive u aktivne rudarske prostorije, pukotinska izdan se delom drenira putem podzemnog isticanja i u stare rudarske radove. Obzirom da imaju jako veliku prostornu zastupljenost, starim radovima se ne poklanja adekvatna pažnja u pogledu odvodnjavanja, tako da se to odražava na formiranje ukupnih priliva u jami.

Rudarskim radovima kroz lijasku ugljonošnu seriju u nivou potkopa TH-1 kojim je otvoren rudnik (slika 122.) i u hipsometrijski višim delovima ležišta u pravcu istoka i severoistoka gde je lijaska serija otkrivena na površini terena, javljaju se relativno ujednačeni prilivi rudničkih voda.

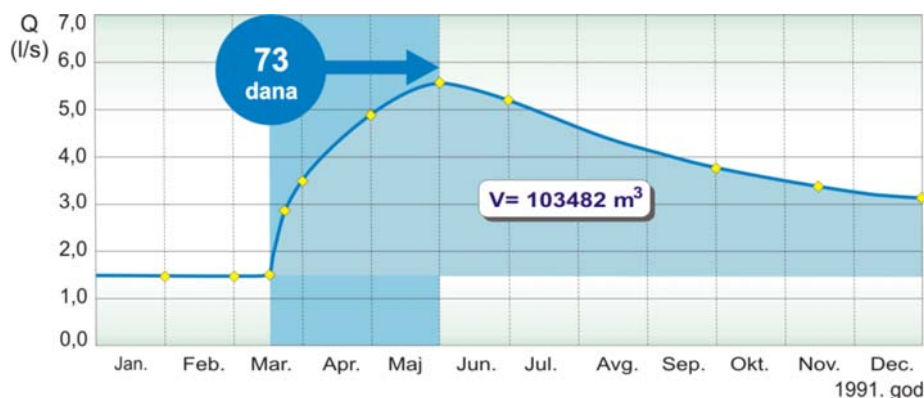


Slika 122. Ulaz u jamu rudnika „Vrška Čuka”
(transportni hodnik TH-1, k.205), foto B.Stakić

Zapaženo je da se bez obzira na stalni otkop novog prostora u okviru ležišta i pritom zatvaranja jednog dela rudarskih prostorija koji su izgubili svoju funkciju u zaleđu aktivnih rudarskih radova, veličina priliva rudničkih voda ostaju praktično ne promenjena tokom vremena. Izuzetak u tom pogledu je činila 1991. godina, kada su prilivi bili povećani, ali nakon toga došlo je do njihove stabilizacije na pređašnje stanje i oni se i danas održavaju na tom nivou.

Do marta 1991. godine, ukupni prilivi rudničkih voda u rudarske radove rudnika "Vrška Čuka", kretali su se do 1,5 l/s. Nakon toga, intenzivnijim radovima na izradi novih rudarskih prostorija u jami, došlo je 19.03.1991. godine, najpre do povećanja priliva na 2 l/s i to usled dreniranja podzemnih voda iz raseda ($E_p=332/50$), koje je bio zahvaćen rudarskim radovima u hodnika H-27 i H-33.

Istovremeno, izradom uskopa U-22, došlo je do priliva rudničkih voda od 0,6 l/s, a na čelu hodnika H-50 i H-52, prilivi su se povećali od 0,3 na 0,6 l/s. Tako su krajem marta 1991. godine, ukupni prilivi rudničkih voda u jami iznosili 3,5 l/s (slika 123.).



Slika 123. Dijagram priliva rudničkih voda u rudarske radove rudnika "Vrška Čuka" u toku 1991. godine (po podacima: Keranović 1992)

U tom periodu, uticaj u formiranju ukupnih priliva su imale i rudničke vode iz starih rudarskih radova i to od 2 l/s, koji su se javili u uskoku U-50 i hodniku H-50. Tako su krajem maja 1991. godine, zbirni prilivi rudničkih voda u jami "Vrška Čuka", iznosili 5,5 l/s (Keranović 1992).

Nakon ovog perioda intenzivnog dreniranja tektonski oštećene zone lijaskih peščara, došlo je do smanjenja priliva rudničkih voda, pa su u decembru 1991. godine iznosili 3,15 l/s (slika 123.).

Za analizirani period 19.03.1991. - 31.12.1991. godine, prilivi rudničkih voda su dakle bili skoro 3 puta veći od uobičajenih za ovu jamu, odnosno od očekivanih 37195 m³, u jamu je doteklo 103482 m³ rudničkih voda (slika 123.). Ove okolnosti su uslovile potapanje jednog dela uskopa U-22.

Zapaženo je takođe da su se prilivi rudničkih voda od trenutka pojave u martu 1991. godine, vremenski dugo povećavali da bi dostigli svoj maksimum od $Q=5,5$ l/s i da je taj period trajao čak 73 dana (slika 123.).

Obzirom da je sprovedenom korelacionom analizom (poglavlje 3.1.1.2.), nije potvrđeno postojanje korelacije zavisnosti između padavina i veličine priliva rudničkih voda, to u izvesnoj meri daje zanačaj koji imaju i stari rudarski radovi u formiranju priliva. Zapravo, tokom povećanih priliva do kojih je došlo u jami 1991. godine, značajnu količinu vodu su primili u prvom trenutku i stari rudarski radovi zastupljeni na različitim hipsometrijskim nivoima. U kasnijem periodu kada su se prilivi iz krovinskih stena ugljunosnog horizonta smanjili, u aktivne rudarske radove je bilo dominatno dreniranja rudničkih voda iz starih rudarskih radova. Zato je primenjena statistička analiza potvrdila da režim padavina nema direktan odraz na prilive rudničkih voda koji se javljaju u jami (slika 42.).

Za potrebe ovih istraživanja, prilivi rudničkih voda u jamu "Vrška Čuka" su vršena povremeno u periodu 1997.-2012. godine (tabela 19).

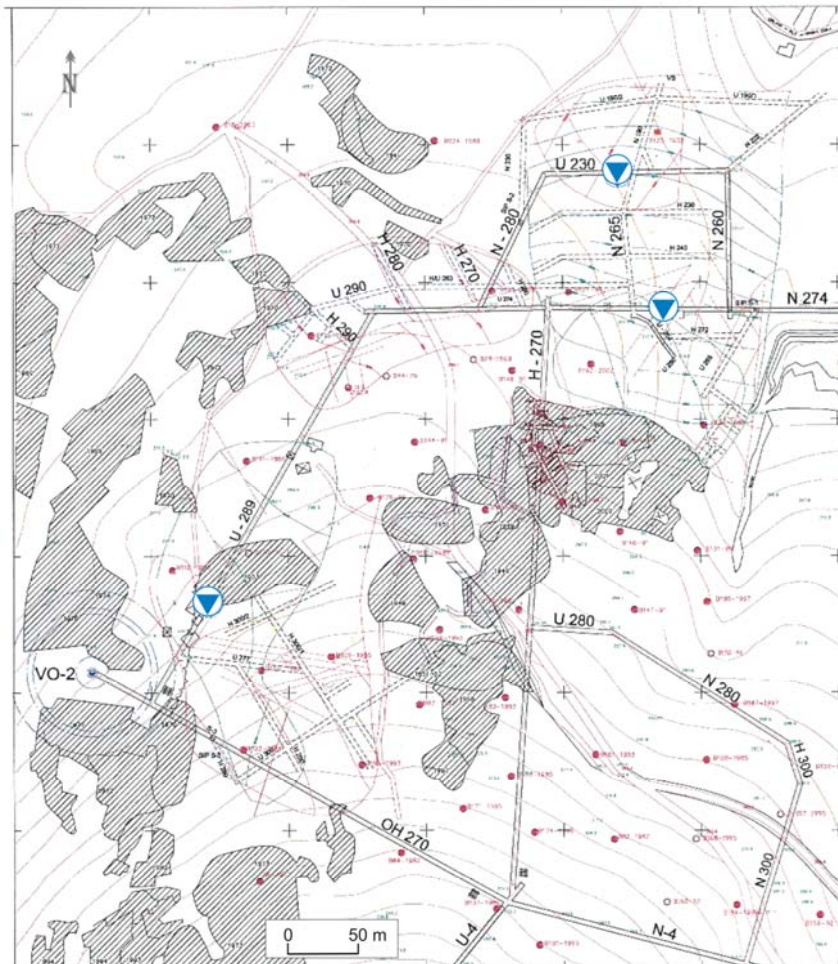
Tabela 19. Jednokratni registrovani prilivi rudničkih voda u jamu rudnika antracita „Vrška Čuka“

Datum	Q (l/s)
10.12.1997.	1,23
19.03.2001.	1,31
14.07.2008.	1,26
28.09.2011.	1,30
21.05.2012.	1,30

Na početku ovog ciklusa (10.12.1997. godine), merenja su vršena na sledećim vodnim punktovima:

- u transportnom hodniku TH-3 ($Q=0,67$ l/s)
[Najvećim delom uslovljeni prilivima iz hodnika H-12 (k.215). Uskopi U-22 i U-50, povezuju hodnik H-12 i rudarske prostorije na k.243, a prilivi rudničkih voda u uskopima se javljaju iz zarušenog uskopa U-42 na k.236,7. Manji prilivi su konstatovani i na raskršću hodnika H-270 i U-280 (k.276,7), zatim iz starog rudarskog rada koji je presečen hodnikom H-150 (k.258,3) i kod komore koja se koristi za bušenje (hodnik H-150, k.257)];
- u transportnom hodniku TH-1 ($Q= 0,28$ l/s), prilivi se javljaju iz zarušenih rudarskih radova (iznad k.214) u pravcu vetrenog okna VO-2 (slika 124.);

- u transportnom hodniku TH-1 kod izvoznog okna "Avramica" (k.205,4) i to od $Q= 0,28$ l/s. Ovim oknom, ističu rudničke vode samoizlivom iz starih rudarskih prostorija sa nivoa k.121,6.



Slika 124. Lokacije priliva rudničkih voda u severoistočnom delu jame „Vrška Čuka“

▼ - mesto pojave rudničkih voda; VO-2 vetreno okno
(podloga: plan jame Stakić 2006)

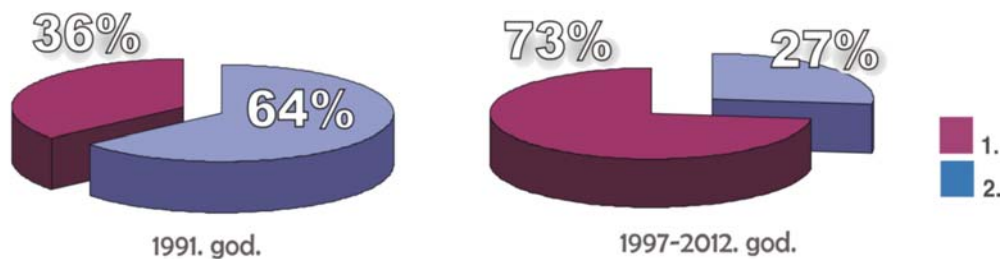
Sve navedene pojave u jami, uslovljavale su sumarni priliv od $Q= 1,23$ l/s, pri čemu su prilivi iz starih rudarskih radova imali učešće od oko 1 l/s.

Prilivi rudničkih voda u maju 2012. god., iznosili su $Q= 1,3$ l/s (tabela 19.) i registrovani su u:

- niskopu N-274 na približnoj k.262 (iz starih rudarskih radova);
- uskopu U-230 na približnoj k.245 (iz krovinskih pešćara koji su zastupljeni između drugog i trećeg ugljenog sloja);

- hodniku H-270 (uslovljeni od površinskih voda koje se niskopom N-4 gravitaciono spustaju prema jamskim prostorijama);
- uskopu U-289 (iz jamske bušotine kojom su u krovini nabušeni peščari $Q \approx 1-2 \text{ l/min.}$);
- hodniku OH-270 (kapanja iz raseda koji je presečen otkopom);
- hodniku TH-1 (raskršće sa H-12 na k.212);
- hodniku TH-1 na k.205,4 (iz starog rudarskog okna „Avramica“).

Sprovedena analiza priliva rudničkih voda u jamu za period 1997.-2012. godine, ukazala je dakle da su rudničke vode iz starih radova, učestvovala sa 73% od ukupnih priliva, što je duplo više nego u periodu iz 1991. godine (slika 125.).



Slika 125. Odnos učešća rudničkih voda iz starih rudarskih radova (1) i podzemnih voda iz litološke sredine (2) u formiranju priliva u jamu rudnika "Vrška Čuka"

Posledica ovog stanja, ogleda se prvenstveno u višegodišnjem otkopu antracita u eksploatacionom polju „Mala Čuka“, odnosno stvaranju sve većeg broja rudarskih prostorija koje sa vremenom gube svoju funkciju i to na različitim hipsometrijskim nivoima u jami, a adekvatna pažnja njihovom odvodnjavanju se ne posvećuje.

b) Jama kamenog uglja "Jarando" (ibarski rudnici)

Početna eksploatacija u ležištu kamenog uglja "Jarando", vršena je u njegovom severnom, odnosno hipsometrijski najvišem delu. Ovaj deo ležišta je bio otvoren potkopom „Baljevac“ (k.404), a eksploatacija je vršena u okviru ugljonosnog horizonta koji je imao debljinu i do 180 m i sadržao šest eksploataibilnih slojeva kamenog uglja.

Rudarski radovi kroz ovaj deo ležišta su se izvodili uz relativno male prilive rudničkih voda. Njihovo formiranje se vršilo na račun dreniranja

pukotinske izdani iz međuslojnih ili krovinskih sedimentima, kao i delom na račun dreniranja zbijene izdani iz peskovitih sedimentata povlatne serije ugljonosnog horizonta.

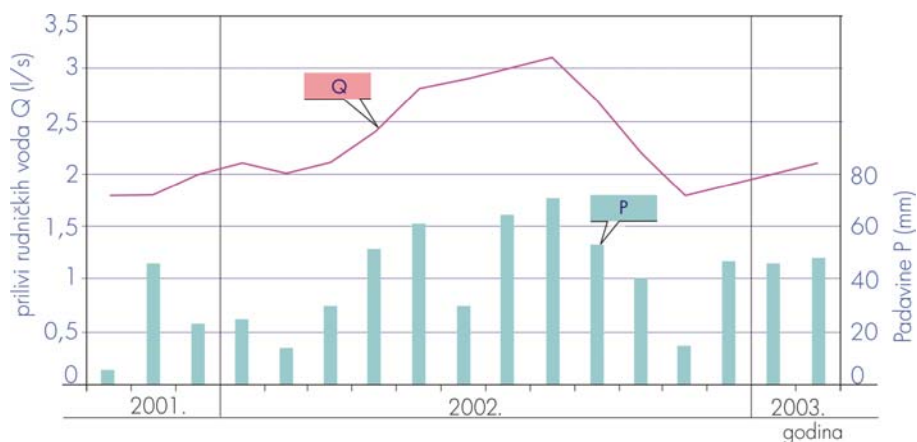
Usted male debljine i česte smene u profilu sa vodonepropusnim tvorevinama kao što su glinci, laporoviti glinci, glinoviti laporci i druge njima slične tvorevine, navedene izdani zato nisu imale značajniji uticaj na ovodnjenost ležišta.

Jama je zatvorena za eksploataciju 1988. godine i sada je to tzv. „stara jama“, iz koje ističu relativno male količine rudničkih voda. Za potrebe ovih istraživanja, merenja proticaja ovih voda su vršena u kanalu potkopa „Baljevac“, u periodu od oktobra 2001., do februara 2003. godine (slika 126.).



Slika 126. Rudničke vode iz stare jame „Jarando“ na izlazu iz potkopa „Baljevac“
(foto B.Miladinović)

Rezultati merenja su ukazala na relativno ujednačeni režim isticanja rudničkih voda iz „stare jame“ i to u granicama 1,8 – 3,1 l/s (slika 127.).



Slika 127. Uporedni dijagram srednjemesečnih priliva rudničkih voda u staru jamu „Jarando“ i sume mesečnih padavina na kiš. stanici „Ušće“ za period X.2001.-II.2003. godine

Na osnovu njihovog svođenja na srednjemesečni nivo i na osnovu sume mesečnih padavina koje su registrovane na kišomernoj stanici "Ušće" (144 m nv), izvršena je korelaciona analiza ovih promenljivih. Ovim je potvrđeno da padavine koje se izluče na širem području ležišta uglja, ima uticaj na prilive u „staroj jami“ rudnika „Jarando“.

Novom jamom „Jarando“, otkopavanje uglja se vrši u delovima ležišta koji su hipsometrijski niži, odnosno tektonski spuštenu u odnosu „staru jamu“. Otkopna polja OP-1, OP-2 i OP-3, otvorena su za eksploataciju glavnim izvoznim niskopom (GIN) sa k.404,3 (slika 128.). Niskop je dugačak 829 m, a u njegovom produžetku sa k.212, izrađen je transportni hodnik GTH-1 u dužini od 350 m i nadalje brojne jamske prostorije, koje su najdublje izvedene do k.60., u otkopnom polju OP-3.



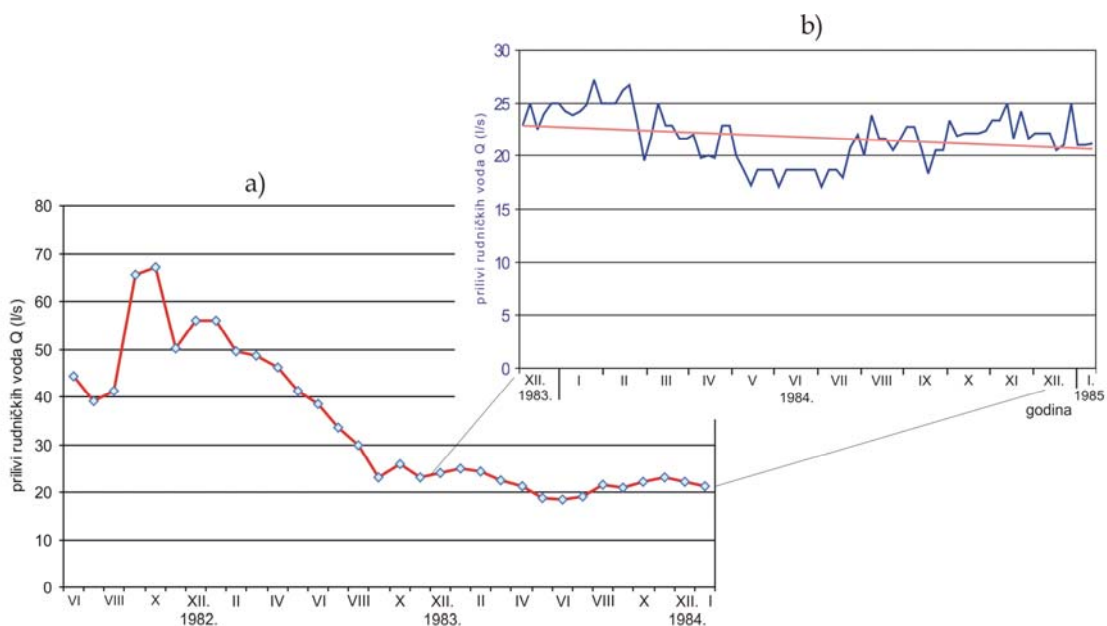
*Slika 128. Ulaz u glavni izvozni niskop (GIN) jame „Jarando“
(foto rudarski časopis „Rudar“-Resavica)*

Formiranje priliva rudničkih voda u „spušenom delu“ ležišta je mnogo složeniji u odnosu na „staru jamu“. Prilive uslovljavaju pukotinska izdan koja je formirana u pojedinim litološkim članovima miocenske ugljonosne serije, zatim duž raseda koji su znatno izrasedali ležište uglja, a uticaj imaju i stari rudarski radovi sa zonama zarušavanja koje su se odrazile sve do površine terena.

Tokom otvaranja ležišta u „spušenom delu“ (OP-2) početkom osamdesetih godina prošlog veka, najznačajniji prilivi rudničkih voda u jami, uslovljavale su jamske istražne bušotine koje su imale samoizliv podzemnih voda. O ovome ima malo pisanih podataka, ali se može spomenuti jamska bušotina u hodniku GTH-1 na k.213, koja je urađena kroz podinu ugljenog horizonta. Bušotina je imala samoizliv na početku oko 3 l/s, a kasnije se smanjio

na 0,1 l/s. U tom delu hodnika GTH-1, konstatovana je rasedna zona širine oko 10 m, iz koje je bilo manjih priliva.

U tom periodu ili tačnije 21.04.1982. godine, do najznačajnijih priliva rudničkih voda je došlo u hodniku GTH-2 (k.211,8) i to iz ovodnjenog raseda R-2 (slika 73.) u vidu iznenadnog priliva. U prvom trenutku, prodor rudničkih voda je iznosio 1100 l/s i uslovio je potapanje rudarske prostorije GTH-2, GTH-1 i druge okolne prostorije. Nakon dva meseca, prilivi su se drastično smanjili i iznosili su $Q = 44,37$ l/s (Đalović 1985). Merenja priliva rudničkih voda u jami su vršena do januara 1985. godine i njihov prikaz je dat dijagramom (slika 129.).



Slika 129. Dijagram srednjemesečnih priliva rudničkih voda u jamu „Jarando“ (k.211,8) u periodu VI.1982.-I.1985. (a) i dijagram petodnevnih osmatranja u periodu XII.1983.-I.1985. (b) (po podacima: Đalović 1985)

Na osnovu ovih podataka, prilivi u jamu su se značajno smanjili do septembra 1983. godine (slika 129., dijagram a). Nakon ovog perioda, trend njihovog daljeg smanjenja je bio znatno blaži (slika 129., dijagram b).

Za analizirani period (21.04.1982.-31.01.1985. godine), ukupni prilivi rudničkih voda u rudarske radove su iznosili $Q = 6,28 \times 10^6$ m³, odnosno $Q^* = 5,36 \times 10^6$ m³ ako se izuzmu prilivi od 10,5 l/s koji su postojali u jami pre potapanja. Korelacionom analizom je potvrđeno da na ove prilive, registrovane u periodu IX.1983.-I.1985. god., nisu bili u funkcionalnoj zavisnosti od padavina (poglavlje 3.1.1.2.).

Tokom vremena, prilivi rudničkih voda u jamu su se stabilizovali i ako su se rudarski radovi od k.211,8 u međuvremenu spustili do k.60 (tabeli 20.).

Tabela 20. Jednokratno registrovani ukupni prilivi rudničkih voda u jamu "Jarando" (Ibarski basen)

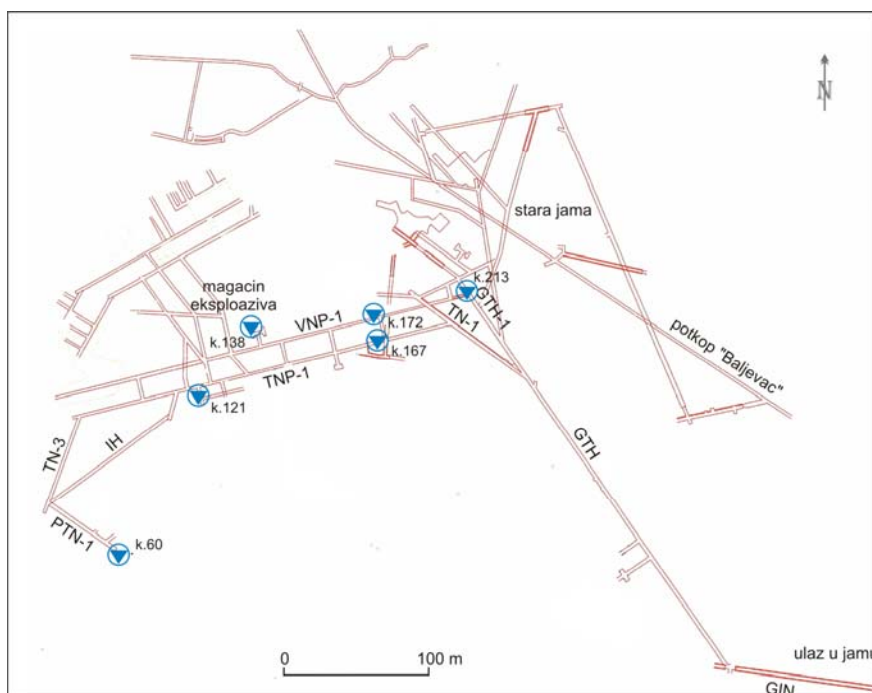
Datum	Q (l/s)	Izvor podataka
1991.	10,3	P.Đalović-Geozavod
1994.	10,8	P.Đalović-Geozavod
05.10.2001.	11,5	B.Miladinović
11.11.2003.	13,3	M.Popović-Ibarski rudnici
24.12.2009.	12,9	M.Vilimonović-Ibarski rudnici
20.12.2011.	11,2	B.Miladinović

Trenutno, najznačajniji prilivi se javljaju na više horizonata:

- na k.213 u hodniku GTH-1 i to iz jamske bušotine koja je izrađena u podini ($Q \cong 0,1$ l/s uz pojavu metana), zatim iz rasedne zone u vidu kapanja, a toliki prilivi su i sa tavanice na raskršću prostorija GTH-2 i TU-1;
- na k.172 u vetrenom niskopu VNP-1 (slika 130.) iz raseda [$Q = 4,5$ l/s (05.10.2001.)]. U međuvremenu su se prilivi približno duplo smanjili. Na mestu isticanja, izražen je miris koji potiče od prisustva H_2S u rudničkoj vodi;
- na k.167 u niskopu TNP-1, prilivi se na javljaju iz raseda ($Q = 0,4$ l/s) uz takođe miris H_2S iz rudničke vode;
- na k.138 u niskopu VNP-1, prilivi su najpre bili uslovljeni pri radovima na izradi magacina eksploziva, a radi odvodnjavanja ovog prostora 1999. godine, urađena je iz VNp-1, kosa jamska bušotina ($\alpha = +10^\circ$), dužine 25 m i iz nje je došlo do samoizliva od $Q = 5$ l/s;
- na k.121, u niskopu TNP-1 prilivi se javljaju iz jamske bušotine ($Q < 0,1$ l/s), a manja procurivanja se javljaju i u TUP-2 (šahta za pretovar uglja).

Niskop TNP-1 je na k.112,4 izašao iz ugljonosnu miocensku seriju i u produžetku je izrađen kroz andezite paleoreljefa. Na kontaktu ovih litoloških jedinica, kao i kasnijim rudarskim radovima kroz same andezite, nisu konstatovani značajniji prilivi rudničkih voda. Pored niskopa TNP-1, izrađen je

niskop TN-3 i PTN-1. Sa prostorijom PTN-1 se izašlo iz andezita na k.63,45 i ponovo ušlo u miocensku ugljunosnu seriju.



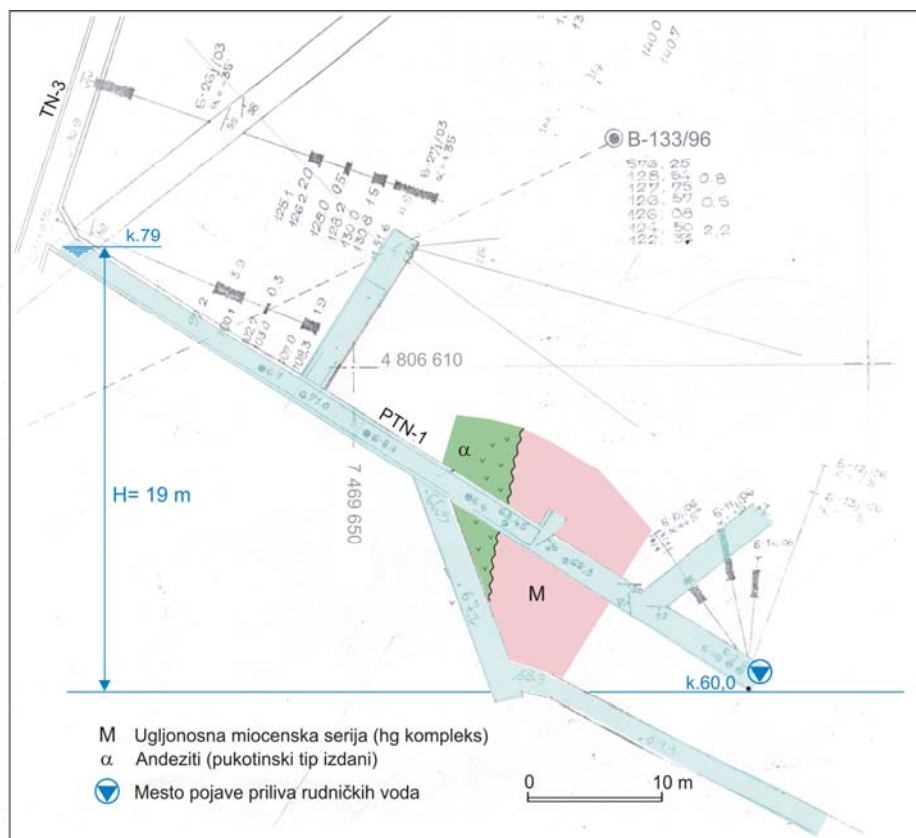
Slika 130. Lokacije pojave rudničkih voda u jamu „Jarando“- Ibarski basen
(podloga: plan rudarskih prostorija S.Bošković - Ibarski rudnici)

▼ - mesto pojave rudničkih voda

Do priliva rudničkih voda u niskopu PTN-1, došlo je međutim tek na k.60 i to iz vodonosnih horizonata miocena. Prilivi se nisu naglo ispoljili, ali usled privremenog prekida radova u ovom niskopu 2009. godine, rudničke vode su potopile PTN-1 i bočne rudarske prostorije (slika 131.).

Trenutno uspostavljenim sistemom za odvodnjavanje rudarskih prostorija, održava se nivo rudničkih voda u PTN-1 na k.79. U tabeli 21., prikazani su prilivi rudničkih voda na najznačajnijim pojavama u jami "Jarando".

Na osnovu ovih podataka (tabela 21.), uočava se da su prilivi rudničkih voda u dubljim delovima jame ujednačeni (k.79 i 138), što može ukazati na stabilne izvore prihranjivanje izdani koje uslovljavaju prilive u rudarske radove.



Slika 131. Plan potopljenih rudarskih prostorija jame "Jarando" prilivima u PTN-1 na k.60 (podloga: geodetski plan jame S.Bošković - "Jarando")

Tabela 21. Srednjemesečni prilivi rudničkih voda u jamu "Jarando"-spušteni deo (registrovali: M.Vilimonović -Ibarski rudnici i B.Miladinović)

Datum	Srednji mesečni prilivi rudničkih voda Q (l/s)				
	PTN-1 (k.79)	VNp-1 (k.138)	VN-1 (k.172)	Ostali prilivi	Ukupni prilivi u jamu
jan. 2012.	3,2	5,0	2,1	0,4	10,7
feb. 2012.	3,3	4,9	2,2	0,5	10,9
mar. 2012.	3,4	5,1	2,7	0,6	11,8
apr. 2012.	3,2	5,0	2,7	0,6	11,5
maj 2012.	3,3	5,4	3,1	1,95	13,75
jun. 2012.	3,9	4,6	1,4	0,33	10,23
jul. 2012.	3,2	4,6	2,5	0,3	10,6
avg. 2012.	3,3	4,3	2,5	0,2	10,3
sep. 2012.	3,4	4,3	3,0	1,1	10,8
okt. 2012.	3,4	3,5	3,0	0,4	10,3
nov. 2012.	3,3	4,6	1,5	0,8	10,2
dec. 2012.	3,6	5,4	1,1	0,15	10,25

Dosadašnjim saznanjima, prilivi koji se javljaju na k.138 (područje magacina eksploziva), veoma su ujednačeni od 05.10.2001. godine, od kada se

prate u ovom delu jame. Njihovo formiranje se vrši na račun dreniranja pukotinske izdani u miocenskim pešćarima koji su zastupljeni u plićim delovima ugljonosn serije. Ovaj proces se odvija duž raseda i stvorenih zona zarušavanja.

Pošto pojava priliva rudničkih voda od 2008. godine u rudarsku prostoriju PTN-1 (k.60), nije uticala na promenu priliva koji postoje na k.138, to ukazuje u ovom momentu na odsustvu hidrailičke povezanosti ovih pojava. Međutim, smanjenje samoizliva na istražnim bušotinama južno od otkopnog polja OP-3 (B-104/76, B-105/77, B-106/77 i dr.), može ukazati da se jednim delom, pukotinska izdan rasterećuje pritiska na račun priliva koji se javljaju u niskopu PTN-1 (k.60).

c) Jama kamenog uglja "Tadenje" (Ibarski rudnici)

U ležištu uglja "Tadenje", izvedeno je u dosadašnjem periodu ukupno 2463 m' istražnog bušenja i preko 1000 m istražnih rudarskih prostorija. Ležište je otvoreno istražnim potkopom sa k.493,21 (slika 132.) i sa generalnim pravcem istok-zapad, izrađen je u dužini od 360 m.



*Slika 132. Ulaz u potkop ležišta uglja "Tadenje"
(foto B.Miladinović)*

Sa izradom većeg broja rudarskih prostorija u kombinaciji uskopa-hodnika-niskopa, ležište je istraženo najdublje do k.287,11 čime su bili zahvaćeni najdublji IV i V ugljeni sloj, a najvišim uskopom u ležištu je dostignuta k.551,5.

Ovim istražnim rudarskim prostorijama, zahvaćeni su bili praktično svi litološki članovi ugljonosne miocenske serije. Sa hidrogeološkog aspekta,

posebno su bile interesantne prostorije koje su izvedene kroz laporce i peščare, jer ih karakteriše pukotinska poroznost.

Konbinacijom hodnika i niskopa (k.494,35-483,71) zahvaćen je sloj laproca i peščara na dužini od 24 m i hipsometrijski ispod njih sloj peščare na dužini od 22 m. Na rastojanju od 198 m od ulaza u potkop, urađen je takođe kraći uskop (k.495,4-500,14) i u tom delu je konstatovano prisustvo povlatnih peščara.

U svim navedenim slučajevima, kao i kada su presećani tektonski razlomi koji postoje u ležištu, priliva rudničkih voda je bilo jako malo i manifestovali su se u vidu manjih procurivanja. Zapaženo je da u delovima godine kada postoje veće padavine, dolazi i do nešto većih priliva rudničkih voda, koji se maksimalno kreću 0,4-0,5 l/s.

Zbog male debljine povlatni sedimenata prvog (najvišeg) ugljenog sloja, tokom 2001/2003. godine, organizovana je površinska eksploatacija uglja (slika



Slika 133. Otkriveni sloj uglja na površinskom kopu ležišta uglja "Tadenje" (foto B.Miladinović)

133.). U tu svrhu su izvršeni zemljani radovi na raskrivci ugljenog sloja i sa manjim prekidima, prvi i drugi ugljeni sloj je eksploatisan na relativno malom prostoru. Usled male produktivnosti i ograničenih rezervi uglja, radovi na površinskom kopu su obustavljeni u periodu 2009./2010.

Obzirom na delimičnu otkrivenost povlatnih tvorevina ugljonosne serije, stvoreni su uslovi za intenzivniju infiltraciju voda od padavina, a samim tim i na dodatno prihranjivanje vodonosnih horizonata u ugljonosnoj seriji. Ovo se svakako odražava na prilive koji se javljaju u jami rudnika "Tadenje".

d) Površinski kop kamenog uglja "Progorelica" (Ibarski rudnici)

Ležište uglja "Progorelica" u sadašnjim uslovima se eksplatiše površinskim kopom. Radi se o brdskom tipu površinskog kopa, koji se nalazi hipsometrijski iznad lokalnog erozionog bazisa reke Raduše (slika 134.).



Slika 134. Površinski kop ležišta uglja "Progorelica" u ibarskom basenu (foto S.Bošković)

njen uticaj na odvodnjenuost ležišta, ispoljen delimično tokom vlažnog dela godine. Maksimalni prilivi na račun dreniranja pukotinske izdani, kreću se 1,3-1,7 l/s. Ovi prilivi nisu kontinualni, obzirom na povremeni karakter pukotinske izdani.

Mnogo značajniji uticaj u formiranju priliva rudničkih voda na kopu, imaju padavine. Količina vode koje na ovaj način mogu da doteknu u vodosabirnik na najnižoj etaži kopa (slika 135.), zavisi pre svega od površine gravitacionog područja kopa, pada kosina, geološkog sastava, kao i od vida, veličine i intenziteta padavina. Kiše kraćih trajanja ali jakog intenziteta, imaju jako veliki značaj za formiranje površinskog oticaja na kopu.



Slika 135. Vodosabirnik na najnižoj etaži površinskog kopa "Progorelica" (foto S.Bošković)

U formiranju priliva rudničkih voda koje se prikupljaju u vodosabirniku na najnižoj etaži kopa, uticaj imaju pukotinska izdani iz povlatnih tvorevina ugljonosnog horizonta i vode od padavina koje se izluče po površini sliva kopa.

Pukotinska izdani u peščarima, koji su delom tufozni i zaglinjeni, ima povremen karakter, tako da je

Njihovo poznavanje je od važnosti za dimenzionisanje zapremine vodosabirnika na najnižoj etaži, jer ako on nije dovoljno veliki za prijem površinskih voda, to onda može usloviti potapanje kopa. Zato je od važnosti određivanje maksimalnog površinskog oticaja sa kosina kopa, prema vodosabirniku, obzirom da su vremena koncentracije oticaja sa

kosina, najčešće mnogo kraća od 24 časa.

Na osnovu teoretskih postavki za proračun maksimalnog oticaja sa određene slivne površine, merodavna je maksimalna kiša, čije je trajanje jednako vremenu koncentracije površinskog oticaja sa sliva (Dragišić 2005).

Za potrebe definisanja merodavnih velikih voda u gravitaciono područje površinskog kopa, najčešće se u hidrološkoj praksi, primenjuje metoda izohrona (Prohaska i dr. 1994, 1998, Prohaska 2003). Površinski oticaj u trenutku t , verovatnoće P , definisan je izrazom:

$$Q_t^p = m \cdot \sum_{k=1}^{k=t} (\varphi \cdot P)_{t-k+1}^p \cdot f_k$$

gde je:

Q_t^p - vrednost površinskog oticaja u trenutku t verovatnoće p ;

P_t^p - suma padavina u intervalu od $(t-\Delta t)$ do t verovatnoće p ;

f_k - elementarna slivna površina između izohrona $(k-1)$ i k ;

φ - koeficijent površinskog oticaja;

k - redni broj izohrone;

Δt - period diskretizacije vremena;

m - koeficijent razmere.

Za potrebe proračuna merodavnih velikih voda u gravitaciono područje površinskog kopa "Progorelica", korišćeni su podaci sa pluviografske stanice "Kraljevo". Maksimalne dnevne sume padavina su analizirane za period 1946-2006. godine i na osnovu ovih podataka, stogodišnje vrednosti za područje Kraljeva, iznose $P_{max,dn,1\%} = 85$ mm.

Osnovne morfološke karakteristike kopa "Progorelica" su:

- površina sliva $F = 174700$ m² (slika 136.);

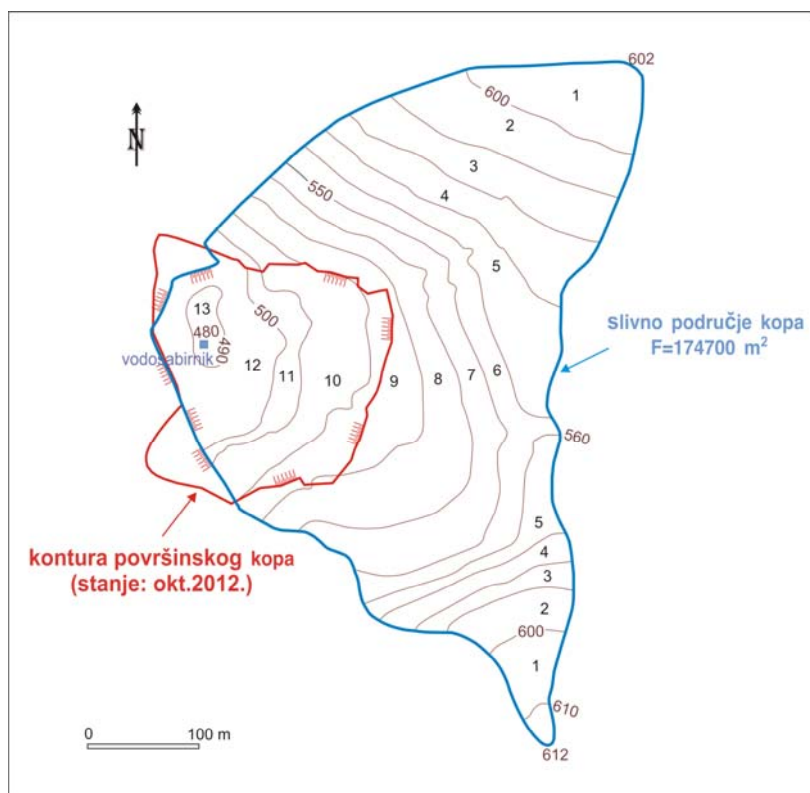
- srednja dužina sliva $l = 436,75$ m;

- pad sliva $J_p = 2,8$ %.

Prema geopedološkim karakteristikama kopa "Progorelica", usvojene su vrednosti za:

- koeficijent rapavosti $m_p = 0,40$;

- koeficijent površinskog oticaja $\varphi = 0,75$.



Slika 136. Slivno područje površinskog kopa kamenog uglja "Progorelica"

Na osnovu navedenih parametara, određen je hidromorfološki parametar Φ_{pad} , odnosno merodavno vreme doticaja po padini (τ_{pad}) i to preko sledećeg izraza:

$$\tau_{pad} = \frac{\bar{l}_{pad}^{\frac{1}{2}}}{m_p \cdot J_{pad}^{\frac{1}{4}} \cdot \left[\bar{\Psi}(\tau_{pad}) \cdot \varphi \cdot P_{dn} \right]^{\frac{1}{2}}}$$

gde je:

- \bar{l}_{pad} – srednja dužina padina (m);
- J_{pad} – srednji pad padine (‰);
- m_p – koeficijent rapavosti padina zavisno od karakteristika padina i gustine vegetacionog pokrivača;
- $P_{dn,max}$ – maksimalna dnevna suma padavina;
- φ – koeficijent površinskog oticaja;
- $\bar{\Psi}(\tau_{pad})$ – vrednost redukcione krive srednjeg intenziteta za trajanje kiše τ_{pad} .

Hidromorfološki parametar Φ_{pad} , sračunat je izrazom:

$$\Phi_{pad} = \frac{\bar{l}_{pad}^{\frac{1}{2}}}{m_p \cdot J_{pad}^{\frac{1}{4}} \cdot (\varphi \cdot P_{dn})^{\frac{1}{2}}} = 5,0$$

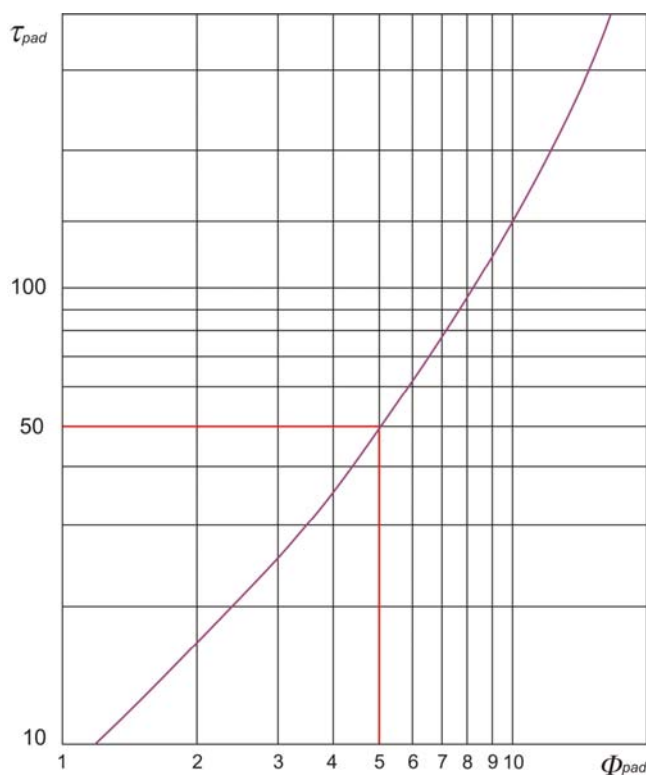
odnosno:

$$\tau_{pad} \cdot \left[\bar{\Psi}(\tau_{pad}) \right]^{\frac{1}{2}} = \Phi_{pad}$$

Merodavno vreme doticaja sa padina τ_{pad} , može se dakle odrediti poznavanjem hidromorfološkog parametra Φ_{pad} . Definisana zavisnost između Φ_{pad} i τ_{pad} je prikazan tabelom 22 i grafički slikom 137.

Tabela 22. Zavisnost vremena doticaja sa padina τ_{pad} od hidromorfološkog parametra Φ_{pad} za površinski kop "Progorelica"

τ_{pad}	$(\tau_{pad})^{SF}$	Φ_{pad}
10	0,0192	1,38
20	0,0155	2,42
30	0,0138	3,52
60	0,0098	5,93



Slika 137. Dijagram zavisnosti $\tau_{pad} = f(\Phi_{pad})$

Na osnovu ove zavisnosti, za $\Phi_{pad}= 5,0$ određeno je vreme doticaja sa padina, odnosno $\tau_{pad}= 50$ minuta.

Ukupan broj elementarnih površina genetičke formule oticaja za usvojeno vreme diskretizacije ($\Delta t= 10$ min.), određeno je po formuli:

$$n = \frac{\tau_{pad}}{\Delta t} = \frac{50}{10} = 5$$

Proračunske padavine za verovatnoću pojave $p=1\%$, unutar merodavnog vremena koncentracije, određene su preko reonskih krivih kiša.

Za definisanje merodavnog hidrograma velikih voda, korišćena je varijanta rasporeda padavina unutar merodavnog vremena koncentracije: P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 . Izvršeni proračun, prikaz je u tabeli 23.

Tabela 23. Određene merodavne padavine pomoću rejonskih krivih kiša

Parametar	Trajanje kiše u min.					$P_{max,dn,1\%}$
	10	20	30	40	50	
$\psi(\tau)$	0,19	0,31	0,41	0,48	0,54	
$P(\tau)$	16	26	35	41	46	85
P_1	16					
P_2		10				
P_3			9			
P_4				6		
P_5					5	

Proračun hidrograma za usvojenu konstantnu vrednost koeficijenta površinskog oticaja, prikazan je u tabeli 24., i grafički slika 137. Korišćena jednačina za proračun, odnosi se na diskretizaciju vremena $\Delta t= 10$ min., za kiše izražene u mm.

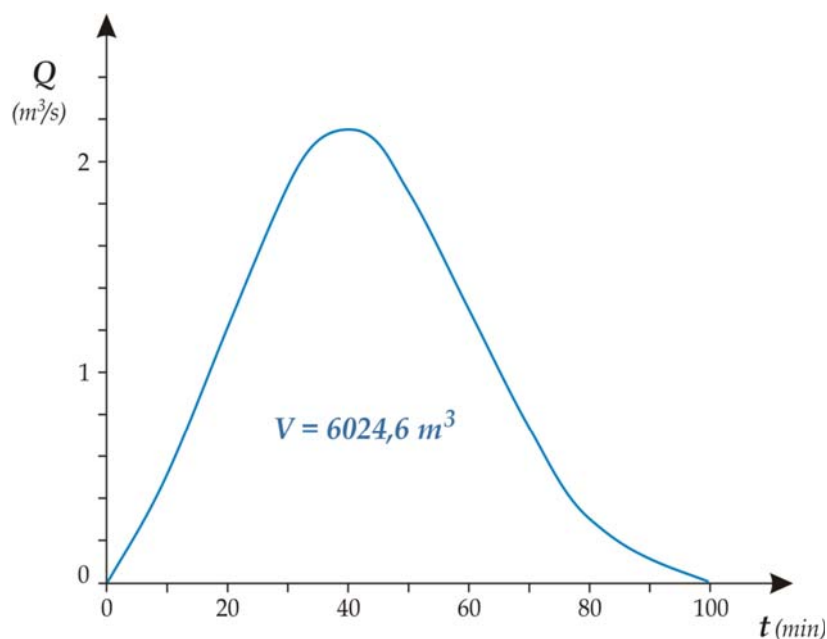
Sloj oticaja je izračunat po formuli:

$$h = \frac{V}{F} = \frac{6024,6 \text{ m}^3}{174700 \text{ m}^2} = 0,0345 \text{ m} = 34,5 \text{ mm}$$

U konkretnom slučaju kao što je prikazano, visina sloja oticaja koji bi se formirao na površinskom kopu "Progorelica", iznosio bi $h= 34,5$ mm.

Tabela 24. Proračun hidrograma velikih voda u gravitaciono područje površinskog kopa kamenog uglja „Progorelica“ (Ibarski rudnici)

$P_{(t)}$	φP ($\varphi=0,75$)	f_k (km^2)	$\varphi P_1 f_k$	$\varphi P_2 f_k$	$\varphi P_3 f_k$	$\varphi P_4 f_k$	$\varphi P_5 f_k$	$\sum_{k=t}^t (\varphi P)_{t-k+1} f_k$	t	$Q = m \cdot \sum_{k=t}^t (\varphi P)_{t-k+1} f_k$
16	12	0.0228	0.274					0.274	10	0.458
10	7.5	0.0488	0.586	0.171				0.757	20	1.211
9	6.8	0.0502	0.602	0.366	0.155			1.123	30	1.875
6	4.5	0.0411	0.493	0.377	0.332	0.103		1.305	40	2.179
5	3.8	0.0118	0.142	0.308	0.341	0.220	0.087	1.098	50	1.834
				0.088	0.279	0.226	0.185	0.778	60	1.299
					0.080	0.185	0.191	0.456	70	0.761
						0.053	0.156	0.209	80	0.349
							0.045	0.045	90	0.075
										0
46	34.6									10.041



Slika 137. Stogodišnji hidrogram površinsko oticaja na površinskom kopu kamenog uglja „Progorelica“

3.2.2. Formiranje i veličina priliva rudničkih voda u rudnike mrkih ugljeva

U formiranju priliva rudničkih voda u okviru ležišta mrkih ugljeva Srbije, uticaji pojedinih faktora ovodnjenosti, različito su se manifestovali u dosadašnjem periodu.

U rudniku "Lubnica", javljaju se već decenijama veoma mali i ujednačeni prilivi rudničkih voda ($Q \leq 0,2$ l/s), a u rudniku "Bogovina"-istočno polje, sreću se relativno konstantni prilivi od $Q = \pm 6,5$ l/s i to još od perioda otvaranja jame 1982. godine.

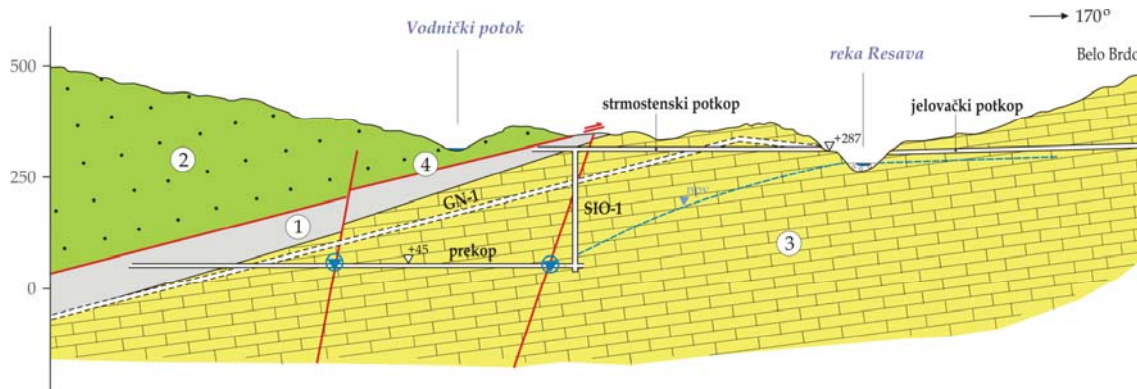
Promenljivi prilivi rudničkih voda, pratili su međutim eksploataciju uglja u ležištima uglja Rembas-a i Jasenovca. Ova ležišta su posebno specifična jer su formiranja duž regionalnih i veoma markantnih zona navlaka i rasedanja terena. To je u više navrata uslovalo potapanje rudarskih radova u ležištu: "Strmosten", "Ravna Reka"- Vlaško polje, "Senjski Rudnik"- Lipov deo, "Jelovac", "Jasenovac"- centralno polje.

Rudnik "Soko" su karakterisali jako mali prilivi rudničkih voda ($Q < 0,3$ l/s) dok je eksploatacija uglja vršena u centralnom polju. Nakon 1995. godine, kada je otvoreno zapadno polje, došlo je do znatno većih priliva rudničkih voda koji se u pojedinim fazama otkopa iznosili i preko $Q > 30$ l/s.

Pored prirodnih uslova ovodnjenosti ležišta, značajan problem u formiranju priliva rudničkih voda u rudnike mrkih ugljeva Srbije, stvaraju i stari rudarski radovi i primenjivana stubna metoda otkopavanje uglja sa zarušavanjem krovinskih naslaga. Time se stvaraju velike deformacije stena u neposrednoj povlati slojeva uglja, a često se one prenose i do same površine terena.

a) Jama mrkog uglja "Strmosten" (Rembas)

Jama "Strmosten" je optvorena 1962. godine i to "strmostenskim potkopom" iz klisure Resave kod rudarskog naselja Vodno (k.287). Njime je bio eksploatisan viši deo ležišta. Kasnije zbog otkopavanja uglja iz dubljeg dela ležišta, najpre je bilo izrađeno rudarsko okno SIO-1, a potom i glavni niskop GN-1 (slika 138.).



Slika 138. Šematski hidrogeološki profil terena kroz ležište uglja "Strmosten"

1. ugljonosna miocenska serija (lg kompleks);
2. crveni permski pešćari - alohton (pukotinski tip izdani);
3. urgonski krečnjaci (karstni tip izdani);
4. površ navlake; - - - - rased; ● - mesto priliva rud. voda

"Jelovačkim potkopom" (slika 138.), ležište "Strmosten" je povezano sa jamom "Jelovac", a dalje u pravcu juga preko "severnog potkopa", oba ležišta su u vezi sa rudarskim naseljem Resavica gde se vrši separacija rovnog uglja.

Sam početak rada jame "Strmosten", karakterisalo je najpre otkopavanje dela ležišta koji je hipsometrijski bio na višim kotama u odnosu na tok reke Resave. "Strmostenskim potkopom", ležište je u to vreme gravitaciono odvodnjavano i to direktno u tok reke Resave.

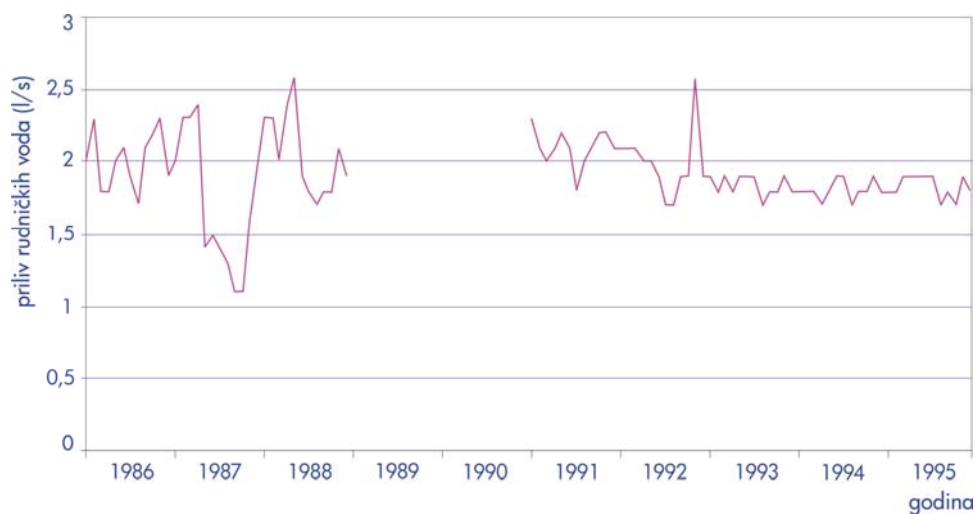
Prilike se međutim potpuno promenile sa intenziviranjem eksploatacije ležišta i izvođenjem jamskih rudarskih radova ispod nivoa korita reke Resave. Time je bilo uslovljeno formiranja priliva rudničkih voda na račun dreniranja karstne izdani i istovremeno je to podspesilo i infiltraciju površinskih voda reke Resave. Prilivi su se javili u rudarsko okno SIO-1, koje je izrađeno kroz urgonske krečnjake i to 235 m hipsometrijski ispod korita Resave (slika 138.). Pored toga, prilivi su se javili i u prekopu (k.45), koji je na dužini od 700 m kroz iste krečnjake, probijen od okna u pravcu ležišta (slika 138).

Veoma ujednačeni prilivi, koji se međutim javljaju u oknu SIO-1 i prekopu k.45 (prosečno 0,14 l/min/m', Miladinović 1997), ukazuju na veoma ograničenu vodopropusnost tog dela karstnog akvifera (slika 139.).

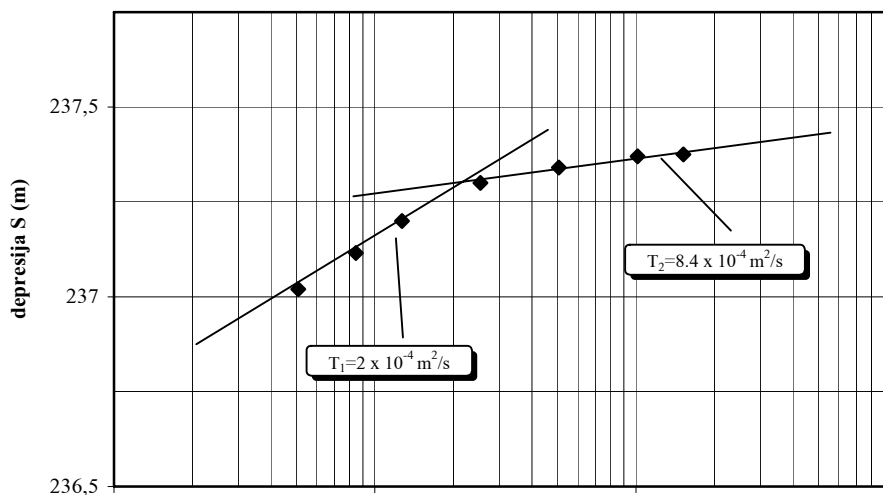
Hidrodinamičkim ispitivanjima vodoprovodnosti urgonskih krečnjaka u području rudarskog okna SIO-1 (testom crpenja), utvrđen je koeficijent transmisibilnosti krečnjaka od $T = 2,0 - 8,4 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ (slika 140.).

Ova vrednost, ukazuje na njihovu malu vodonosnost, čime se potvrđuju rezultati izvršene korelacione analize o odsustvo direktne korelacione zavisnosti

padavina i proticaja Resave, na prilive rudničkih voda u rudarske radove (slika 45.).



Slika 139. Prilivi rudničkih voda u vodosabirniku rudarskog okna SIO-1(k.45) jame "Strmosten" (Miladinović 1997)



Slika 140. Sniženje nivoa vode u rudarskom oknu SIO-1 jame "Strmosten" tokom testa crpenja

Za razliku međutim od ovog **nižeg nivoa dreniranja karstne izdani** (ispod lokalnog erozionog bazisa reke Resave, na nivou rudarskih radova k.45), **u višem nivou** koji je hipsometrijski iznad toka reke Resave (k.280), ovaj proces je znatno izraženiji kao posledica skaršćenosti urgonskih krečnjaka.

Vodnički potok u tom pogledu ima najizraženiji uticaj. U Resavu, ovaj potok se uliva kod rudarskog naselja Vodna, ali pri manjim proticajima, on ponire odmah pri stupanju na karstnu podlogu (slika 53.).

Neposredno ispod ove ponorske zone oko 25 m, nalaze se rudarske prostorije i to "strmostenski potkop" i niskop GN-1, koji su izgrađeni kroz urgonske krečnjake. Poniranje vode Vodničkog potoka je uslovalo 1969. godine, potapanje ulaznog dela "strmostenskog potkopa".

Nakon izrade međutim niskopa GN-1, čija trasa prolazi hipsometrijski iznad "strmostenskog potkopa" (slika 138.), Vodnički potok u toj situaciji, ima najznačajniju uticaj u formiranju priliva koji se javljaju u niskopu (slika 53.). Mesto pojave priliva (k.267,7) je vezano za zonu jače tektonske oštećenosti i skaršćenosti urgonskih krečnjaka. Zavisnost ovih priliva je definisan izrazom $Q = 0,3955 \ln(Q_r) + 0,9001$ (slika 54.).

U periodu trajanja neprekidnih kiše od četiri dana, u niskopu su 23.05.2012. godine, registrovani prilivi rudničkih voda od $Q \cong 30$ l/s (slika 141.).



Slika 141. Priliv rudničkih voda iz krečnjaka u niskop GN-1 jame "Strmosten" (foto B.Miladinović)

U tom periodu je proticaj Vodničkog potoka iznosio preko $1 \text{ m}^3/\text{s}$.

Nakon prestanka padavina, što uslovljava i drastičnog smanjenja proticaja Vodničkog potoka, prilivi u niskopu GN-1 se znatno smanje i tokom letnjih meseci se kreću od 1-3 l/s.

U "strmostenskom potkopu", najznačajniji prilivi

rudničkih voda se javljaju iz manjeg pećinskog kanala, koji se nalazi u njegovoj neposrednoj krovini (slika 53). Pećinski kanal je prohodan na dužini od 119 m, sa najčešćim prečnikom od 1-2 m, ali na pojedinim mestima dostiže i do 4 m.

Duž pećinskog kanala, protiče povremeno manji izdanski tok i to generalno od istoka ka zapadu. U području „strmostenskog potkopa“, izdanski tok je sproveden u odvodni kanal potkopa.

Ovako dobijeni podaci o uslovima dreniranja karstne izdani u području jame "Strmosten", upućuju na značajniju skaršćenost urgonskih krečnjaka u

delu iznad lokalnog erozionog bazisa Resave, a time i veću vodoobilnost u odnosu na dublje delove karstne sredine, gde se javljaju relativno mali i konstantni prilivi rudničkih voda (Miladinović i Dragišić 1998).

Najdublji rudarski radovi u jami, izvedeni su kroz ugljonosnu miocensku seriju u eksploatacionom polju "Sladaja". Na raskršću niskopa GN-2 i hodnika GTH-2a, dostignuta je k.-21,41. U hidrogeološkom pogledu, miocenska serija sedimentata predstavlja kompleks vodopropusnih tvorevina (bazalna konglomeratična serija, laporaci i peščari) i vodonepropusnih tvorevina (laporoviti glinci povlatne serije). U vodopropusnom kompleksu tvorevina, formiran je pukotinski tip izdani, ali sa jako ograničenim rezervama podzemnih voda. Dreniranje ove izdani u rudarske prostorije, manifestuje se u vidu manjih procurivanja i vlaženja.

Slične okolnosti se sreću i u rudarskim prostorijama koje su izvedene kroz alohtone crvene permske peščare. Pukotinska izdan koja je formirana u ovim peščarima, drenira se u vidu manjih procurivanja i to najčešće u delu gde su rudarskim prostorijama presečeni rasedi ili izraženije pukotinske zone.

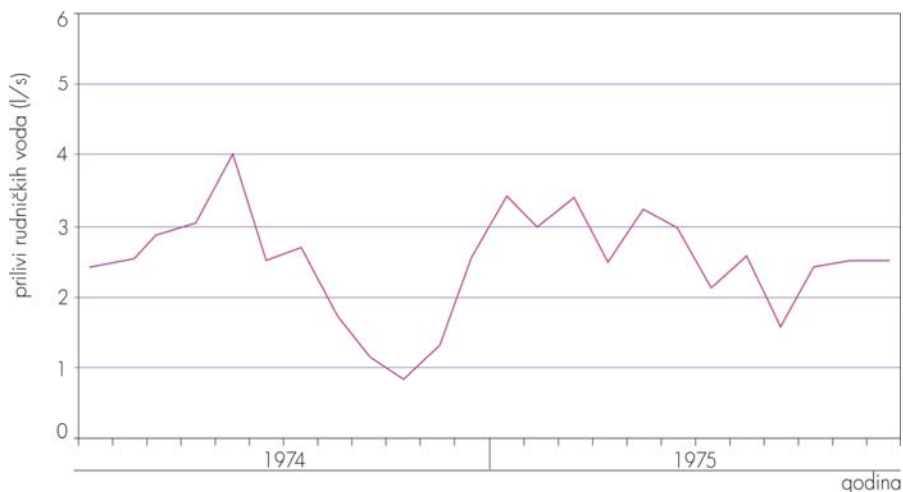
U ovom, najdubljem delu jame, ukupni prilivi rudničkih voda se kreću oko 0,1-0,2 l/s.

b) Jama mrkog uglja "Jelovac" (Rembas)

U početnim fazama razrade i eksploatacije ležište uglja "Jelovac", javljali su se nešto značajniji prilivi rudničkih voda, kada je dolazilo do dreniranja i pražnjenja nešto ovodnjenih rasednih i pukotinskih sistema (Đalović 1984). U kasnijim fazama eksploatacije, oni su se značajno smanjili i ako su odražavali režim padavina što je potvrđeno korelacionom analizom (slika 46.). Prosečni mesečni prilivi tokom 1974 - 1975. godine, prikazani su slikom 142.

U sadašnjim uslovima, najznačajniji prilivi rudničkih voda se javljaju u delu rudarskih radova koji su izvedeni kroz urgonske krečnjake, a neznatno u vidu kapanja i manjih procurivanja, kroz miocenske tvorevine samog ležišta.

Prilivi u rudarske radove koji su izvedeni kroz urgonske krečnjake, formiraju se na račun direktnog dreniranja karstne izdani, s tim da oni nisu podjednako izraženi u svim delovima jame. Obzirom na položaj rudarskih radova hipsometrijski ispod lokalnog erozionog bazisa reke Resave, ovo ukazuje na veoma izraženu anizotropiju i heterogenost karstnog akvifera.



Slika 142. Srednji mesečni prilivi rudničkih voda u izvozni potkop IP-1 (k.226) jame „Jelovac“ u periodu 1974-1975. god. (po podacima: Đalović 1984)

Manji prilivi iz karstne izdani su bili izazvani rudarskim radovima 1991. godine i to u istražnom hodniku IH-4. Nakon 70 m njegovog probijanja kroz urgonske krečnjake, došlo je na k.263, do priliva od $Q = 0,23$ l/s.

Usled bojaznosti pojave većih priliva, sa čela IH-4 na k.265, bile su urađene dve istražne bušotine u produžetku hodnika (jedna horizontalna i jedna pod uglom od 6°). Bušotina IB-1 je izvedena kroz krečnjake na dužini od 61,5 m. Istražna bušotina IB-2 je imala dužinu 92 m, stim da je bušenje prvih 89 m vršeno kroz krečnjake, a poslednjih 3 m kroz glinovite miocenske sedimente. Obe bušotine nakon izrade su imale samoizliv, a 14.04.1992., na IB-1 izmereno je 0,05 l/s, a na IB-2 oko 0,9 l/s. Tokom oktobra/novembra 1992. god., samoizlivi su se nešto povećali i zbirno su iznosili oko 1,2 l/s.

Obilaskom ove rudarske prostorije 12.05.1994., izmeren je samoizliv samo na bušotini IB-1 i to od 0,33 l/s, uz napomenu da je samoizliv na IB-2 bio zatvoren. Tom prilikom iz istih krečnjaka, neposredno kod vodosabirnika koji je izgrađen u hodniku IH-4 na k.255, konstatovana su manja procurivanja od oko 0,2 l/s. Ukupni prilivi u ovom delu rudarskih radova, iznosili su oko 0,6 l/s.

Najznačajniji prilivi rudničkih voda u jami „Jelovac“, manifestovali su se 2002. godine. Zbog potrebe oslobađanja dela rezervi ležišta uglja, koji je postojao u zaštitnom stubu „jelovačkog potkopa“, bila je isprojektovana nova trasa transportnih hodnika, tako što bi se izveli van ugljonosne miocenske serije, odnosno kroz urgonske krečnjake zapadnog oboda ležišta (slika 143.).

Za tu potrebu, iz severnog dela “jelovačkog potkopa” (k.289,3), krenuli su radovi na probijanju niskopa GTN-1, a u južnom delu jame, iz hodnika GTH-2, rađen je niskop GTN-2. Njihovim spajanjem, trebalo je obezbediti zaobilaznicu za transport rovnog uglja iz jame.



Slika 143. Lokacije pojave rudničkih voda u jami „Jelovac“ (podloga: plan jame Bačić-Vlahović 2006)
 ● - mesto priliva rudničkih voda

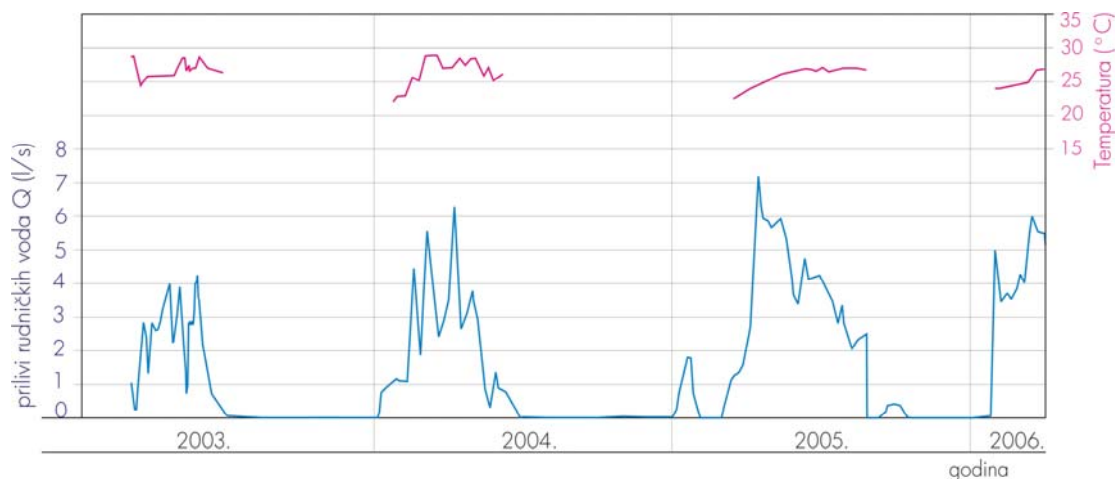
Niskop GTN-1 je probijan kroz urgonske krečnjake. Po postizanju dužini niskopa od 300 m, iz karstifikovane zone urgonskih krečnjaka, došlo do iznenadnih priliva rudničkih voda.

Prilivi su se pojavili u trenutku miniranja čela radilišta na k.209 (slika 134.). U prvom trenutku si iznosili do 130 l/s (20.11.2002.), a niskop je bio potopljen za 6^h do nivoa “jelovačkog potkopa” (od k.209 do k.289,3).

Izliv rudničkih voda iz potopljenog niskopa GTN-1 u odvodni kanal “jelovačkog potkopa” na k.289,3 iznosio je u prvom trenutku 5-7 l/s. Kasnijim monitoringom u periodu 2003.-2006. godine, utvrđeno je da postoji cikličnost u izlivu rudničkih voda iz niskopa GTN-1 (slika 144.).

Rezultati ovih merenja ukazuju da samo pri visokim nivou karstne izdani, odnosno samo kada su oni viši od apsolutne kote 289,3 (što odgovara nivou “jelovačkog potkopa”), dolazi do isticanja rudničkih voda iz niskopa GTN-1 (slika 145.). Taj period u toku godine traje okvirno od januara do jula ili avgusta meseca, a nakon toga nivo karstne izdani se spusta ispod k.289,3 što na dijagramu (slika 144.), odgovara vrednosti apscise „0”. Tokom ovih merenja, primećeno je međutim da isticanja iz niskopa GTN-1 nisu ravnomerna, već da pulsiraju. Tokom jednočasovnih merenja u toku dana, odnos između *min: max* priliva, može biti i 1:6 (tabela 25.).

Izradom niskopa GTN-2, konstatovana je takođe značajna skaršćenost urgonskih krečnjaka. Značajna kaverna je otkrivena na udaljenosti 100 m od raskršća sa hodnikom GTH-2.



Slika 144. Uporedni dijagram veličine samoizliva i temperature rudničkih voda iz niskopa GTN-1 u "jelovački potkop" za period 13.03.2003.-31.03.2006. god. (po podacima: Bačić-Vlahović 2006)

Prečnika je 0,6 m i bila je ispunjena žitkom glinovitom masom, podložna tečenju. Na hipsometrijski najnižoj tački GTN-2 (k.190-194,29 spoj sa hodnikom



Slika 145. Izliv rudničkih voda iz GTN-1 u "jelovački potkop" - 23.05.2012. (foto B.Miladinović)

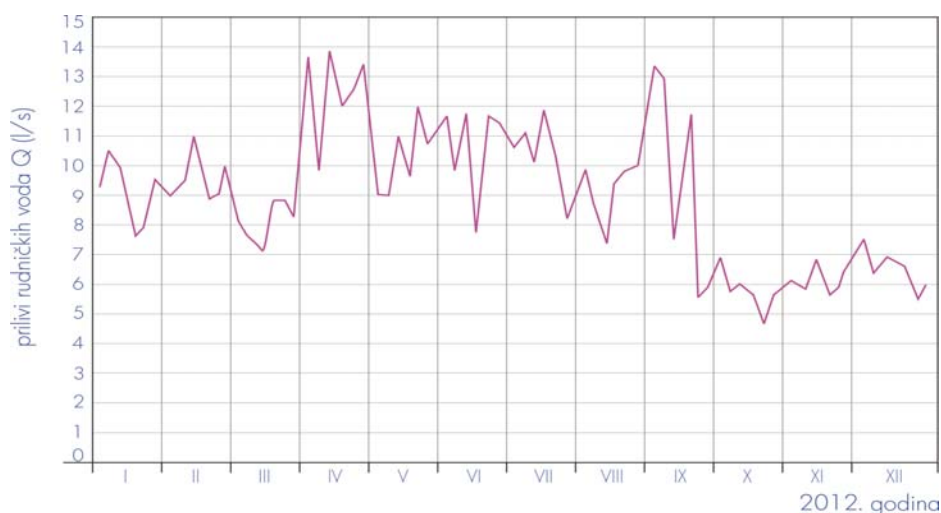
OH-1), konstatovan je kaverna prečnika oko 2 m sa delimičnom glinovito-šljunkovitom ispunom (slika 143.). U ovom najdubljem delu jame, postojali su nešto značajniji prilivi tokom izrade niskopa ($Q \cong 5 \text{ l/s}$), obzirom da je došlo do dreniranja i starih rudarskih radova, kao što je IH-4, koji je svojevremeno bio jedan od odvodjenijih hodnika.

Hodnik OH-1 je izrađen iz niskopa N-13 sa k.202,9 i u pravcu zapada, spojen je sa niskopom GTN-2 na k.194,9 (slika 143.). Ovaj hodnik je rađen delom kroz miocensku seriju i delom kroz urgonske krečnjake. Do najznačajnijih priliva rudničkih voda je došlo na delu kada je probijan kroz krečnjake. Prilivi rudničkih voda su tada iznosili približno 4,5 l/s (28.12.2004.), a kasnije su se nešto smanjili.

U ovom najdubljem delu jame (k.190), ukupni prilivi rudničkih voda koji se najvećim delom formiraju na račun dreniranja karstne izdani, kontinualno su osmatrani u toku 2012. godine (slika 146.).

Tabela 25. Odnos između min. i max. dnevnih promena priliva rudničkih voda iz karstne izdani u niskop GTN-1 jame „Jelovac“
(po podacima: Bačić-Vlahović 2006)

Datum	Registrovani prilivi (l/s)	
	min.	max.
19.05.2003.	2,03	2,86
20.05.2003.	2,26	2,89
21.05.2003.	1,57	2,80
22.05.2003.	2,05	2,93
23.05.2003.	2,09	2,79
26.05.2003.	1,80	3,20
27.05.2003.	0,96	4,02
28.05.2003.	1,00	4,09
29.05.2003.	0,97	4,22
30.05.2003.	0,58	3,52



Slika 146. Prosečni petodnevni prilivi rudničkih voda u vodosabirnik niskopa GTN-2 (k.190) jame „Jelovac“
(po podacima: Šćepanović 2012)

Prosečni prilivi u ovom vremenskom periodu su iznosili oko 9 l/s, stim da su dnevna kolebanja priliva varilala od $Q_{min}= 2,9$ l/s (21.10.2012.), do $Q_{max}= 20,0$ l/s (29.04.2012.). Period sa izraženijim prilivima se posebno ističe tokom prolećnih meseci (posembo mesec april) i on se sa većim ili manjim amplitudama, nastavlja sve do sredine septembra. Ovo je period intenzivnog dreniranja karstne izdani i on je veoma sinhron sa periodičnim isticanjem rudničkih voda iz potopljenog niskopa GTN-1 (slika 144.).

Nakon ovog perioda, dolazi do naglog smanjenja priliva, što bi odgovaralo fazi baznog isticanja podzemnih voda iz karstne izdani.

U samom "jelovačkom potkopu" (k.289), u delu koji je iz klisure Resave izgrađen kroz urgonske krečnjake na dužini oko 1300 m, prilivi se javljaju praktično iz nadizdanskej zoni karstne izdani i predstavljaju deo atmosferskog taloga koji putem infiltracije odlazi na prihranjivanje izdani. Nešto veća isticanja se javljaju na samom ulazu u potkop, a manja procurivanja se javljaju i kod ventilacionog okna. Ove pojave nemaju značajniji uticaj na ukupne prilive u jamu "Jelovac".

U delu "jelovačkog potkopa" kroz miocenske sedimente i crvene permske peščare (južni deo ležišta u pravcu Bučara), prilivi se manifestuju samo u vidu manjih kapanja i procurivanja.

c) Jama mrkog uglja "Senjski Rudnik"

Ležište uglja "Senjski Rudnik", otvoreno je za eksploataciju rudarskim oknom u samom rudarskom naselju Senjski Rudnik (slika 147.). Iz pravca severa, ležište je povezano „južnim potkopom" sa Resavicom, gde se transportuje rovni ugalj na separaciju.



*Slika 147. Servisno okno u Senjskom Rudniku
(foto B.Miladinović)*

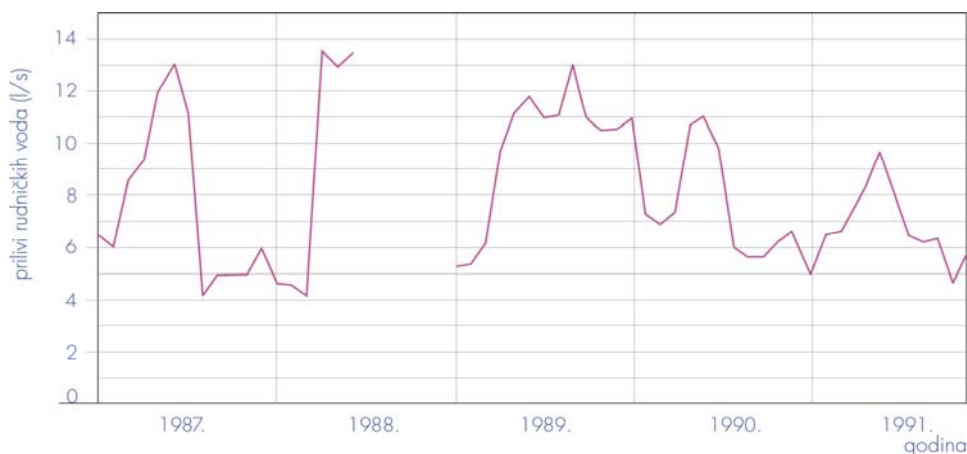
Najznačajniji uticaj na ovodnjenost ležišta uglja "Senjski Rudnik", ima karstna izdan koja je formirana u alohtonim jurskim krečnjacima i to u povlati ugljonosnih miocenskih sedimenata. Njihov značaj je izražen utoliko što su tokom eksploatacije ležišta, ovi krečnjaci delom zahvaćeni rudarskim radovima i to duboko ispod lokalnog erozionog bazisa reke Ravanice. Na taj način je iz njih podspešeno dreniranje podzemnih voda.

Daleko manji značaj u formiranju priliva rudničkih voda imaju podzemne vode iz crvenih permskih peščara i vodopropusnog kompleksa miocenskih sedimenata, obzirom na njihovu malu vodonosnost.

U severnom delu ležišta, u području stare jame, javljaju se najznačajniji prilivi rudničkih voda i to na ispustu blende koja je postavljena u području "krovnne galerije" (k.439). Formiranje ovih priliva se vrši kao što je već istaknuto, na račun direktnog dreniranja karstne izdani iz jurskih krečnjaka Stenke (slika 103.), pošto su starim rudarskim radovima ("Galerija", "Sedmo polje", "Kamenita"), krečnjaci zahvaćeni na značajnom prostoru.

Za period osmatranja 1974-1975. god., maksimalni prilivi su registrovani u "krovnoj galeriji" i to od 47,5 l/s (30.11.1975.), a u "Sedmom polju" i "Kameniti", $Q_{max} = 2 \text{ l/s}$.

Kontinualna merenje priliva rudničkih voda u "krovnu galeriju", vršena su u periodu 1987.-1991. god. (slika 148.), s tim da pri većim doticajima, merenja nisu moguća, usled neprekidnog ispumpavanja ovih voda na površinu terena.



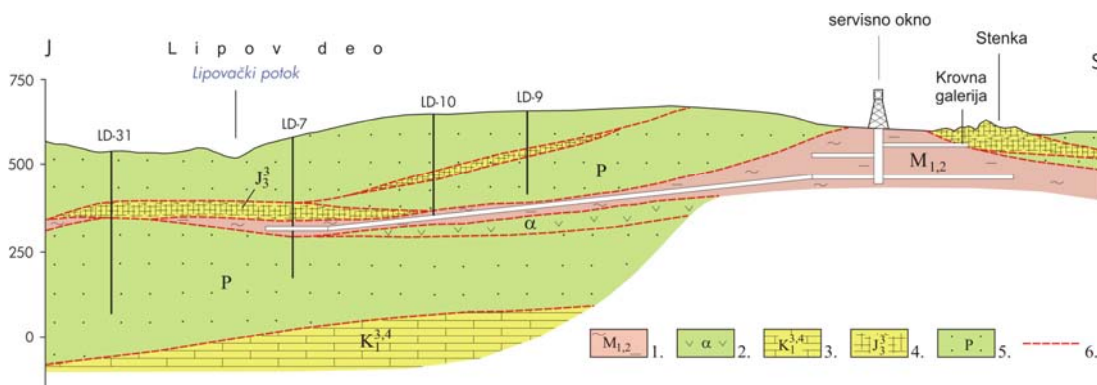
Slika 148. Veličina priliva rudničkih voda u "krovnu galeriju" (k.439) jame "Senjski Rudnik" (po podacima: Andrejić 1991)

Ova veličina priliva rudničkih voda koja se u kontinuitetu održava, ukazuje na stabilne izvore prihranjivanja karstne izdani, a to su padavine i reka Ravanica što je i potvrđeno statističkom analizom $Q = 0,034173 Q_r + 0,051392 P - 2,83879$ (slika 55.).

U delu ležišta gde se trenutno odvija eksploatacija uglja (revir „Lipov deo“), prilivi rudničkih voda su bili najmanji od svih jama u resavsko-moravskom basenu. U vetrenom oknu (k.298) i niskopu N-9 (k.270), prilivi

rudničkih voda su bili jako mali i do 1980. godine, kretali su se oko 0,05 l/s. Ove prilive su uslovljavale podzemne vode iz alohtonih crvenih peščara.

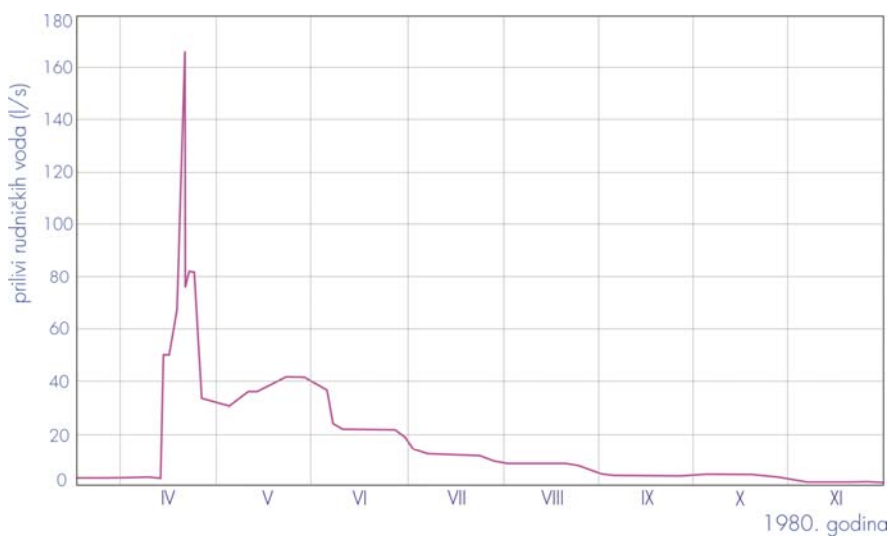
Nakon ovog perioda, sa razvojem rudarskih radova u reviru „Lipov deo”, najznačajniji uticaj na ovodnjenost ležišta uglja imaju statičke rezerve podzemnih voda iz blokova jurskih krečnjaka koji se sreću u alohtonim crvenim permskim peščarima (slika 149.).



Slika 149. Hidrogeološki profil terena kroz ležište uglja „Senjski Rudnik”- Lipov deo (geološka podloga: Petković 1980)

1. ugljonosna miocenska serija (hidrogeološki kompleks);
2. andeziti (pukotinski tip izdani);
3. krečnjaci baram-apta (karstni tip izdani);
4. krečnjaci titona (karstni tip izdani);
5. permski peščari (pukotinski tip izdani);
6. površ navlačenja i kraljuštanja

Jedna takva masa jako karstifikovanih krečnjaka, izazvala je 13.04.1980., potapanje jednog dela rudarskih radova u reviru „Lipov deo” (slika 150.).

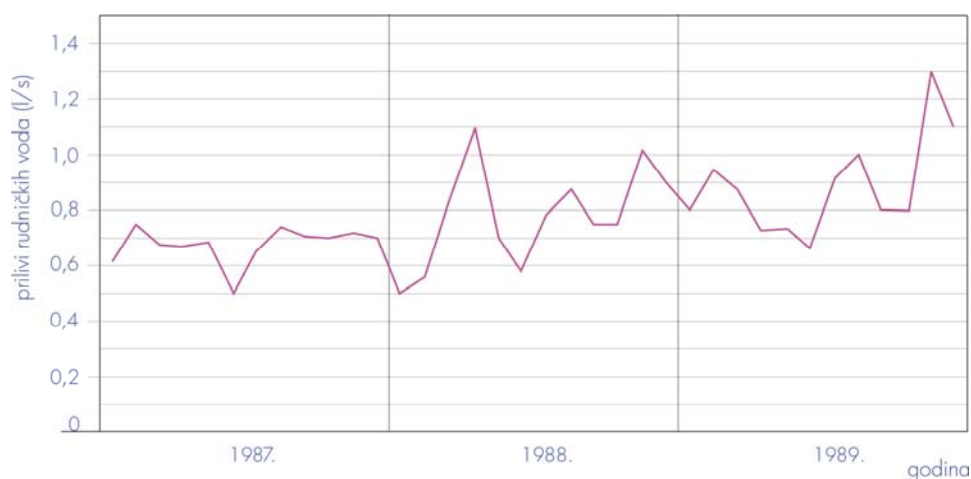


Slika 150. Prilivi rudničkih voda iz alohtonih jurskih krečnjaka koje su 13.04.1980. god., potopile deo jame „Senjski Rudnik”- Lipov deo (po podacima: Petković 1980)

Do priliva je došlo, kada se jamskom istražnom bušotinom iz niskopa N-9 (k.327), probušila krovina koju su činili crveni permski peščari debljine oko 2 m i ušlo u jako odvodnjene jurske krečnjake.

Prilivi su uslovlili potapanje većeg broja rudarskih prostorija sa opremom i to: vodosabirnik, OH-4, N-7, N-9. Jednim delom, bili su potopljeni: N-4, N-8, TH-1 i BH-5. U prvom trenutku, prilivi su iznosili oko 50 l/s, a zatim su se naglo povećali i dostigli maksimum od 166 l/s (slika 150.). Prilivi su potom, počeli naglo da se smanjuju.

Nakon godinu dana aktivnog dreniranja karstne izdani u ovom delu jame, prilivi su iznosili u aprila 1981. godine nešto više od 1 l/s. Njihov prikaz za period kontinualnih osmatranja 1987-1989. godine, dat je slikom 151.



Slika 151. Srednji mesečni prilivi rudničkih voda u vodosabirnik jame "Senjski Rudnik"- Lipov deo u periodu 1987.-1989. god.
(po podacima: Petković 1980)

Kakav uticaj na odvodnjenost ležišta uglja ima karstna izdan iz alohtonih masa jurskih krečnjaka, potvrđuju i prilivi koji su se javili pri izradi vetrenog uskopa VU-1 (28.02.1994.). Zapravo, kada se ovim rudarskim radom, prišlo jednoj masi krečnjaka, na čelu VU-1 (k.331), došlo je do naglog priliva rudničkih voda. Radovi su tada bili obustavljeni, a izmereni prilivi su iznosili 45,0 l/s. Nakon dva meseca intenzivnog dreniranja karstnog akvifera, prilivi su se smanjili na 1,4 l/s (12.04.1994.).

Obilaskom uskopa VU-1, dana 27.07.1994. godine, prilivi su bili jako mali i javljali se u vidu manjih procurivanja i vlaženja. Pored ove pojave, manja procurivanja su konstatovana i u niskopu N-1 (oko 70 m od pogonske žičare), a

nešto veći prilivi se javljaju na raskršću niskopa N-9 i N-4. Ove prostorije su bile zaplavljene materijalom tokom potapanja jame 1980. godine, a tokom 1994. godine, vršeni su pokušaji njihovog osposobljavanja za dalju funkciju.

U početnoj fazi čišćenja ovih praktično starih rudarskih radova, javili su se prilivi od oko 0,6 l/s, a kasnije su se smanjili na oko 0,2 l/s.

Trenutni prilivi rudničkih voda u jamu „Senjski Rudnik“, nisu se značajnije menjali u odnosu na prikazani period 1987.-1989. godina.

Ovako mali prilivi u rudarske radove posle potapanja jame, ukazuju na dve jako važne činjenice. Najpre, da su u jurskim krečnjacima (obzirom na položaj koji imaju u crvenim permskim pešćarima i to duboko ispod lokalnog erozionog bazisa reke Ravanice), bile formirane statičke rezerve karstnih izdanskih voda, koje su se izdrenirale u tokom potapanja jame. Kao drugo, smanjenje priliva nakon potapanja rudarskih radova, upućuje na slabe izvore prihranjivanja uklopljenih masa jurskih krečnjaka u permske pešćare. Kako se prihranjivanje zapravo može ostvariti jedino duž rasednih i pukotinskih sistema u crvenim permskim pešćarima, to onda ukazuje i na njihovu slabu vodopropusnost.

d) Rudnik mrkog uglja „Jasenovac“

Eksploatacija uglja u ležištu „centralno polje“ u krepoljinskom basenu, odvija se u veoma složenim tektonskim uslovima, kao posledica prisustva navlake koja je ugljonosnu seriju prekrila mezozojskim stenama.

Pored GIP-a (slika 91.) kojim je ležište otvoreno iz pravca severa, izrađen je i ventilaciono-transportni niskop GVN iz istočnog oboda ležišta (slika 152.).



Slika 152. Glavni ventilaciono-transportni niskop GVN jame rudnika "Jasenovac" (foto M.Petrović)

U jami, povezivanje prostorija GIP i GVN je izvršeno glavnim ventilacionim hodnikom GVH-1a na k.274,61. Hodnik GVH-1a, izrađen je pod padom od 7‰ u pravcu GIP-a, na dužini od 473 m.

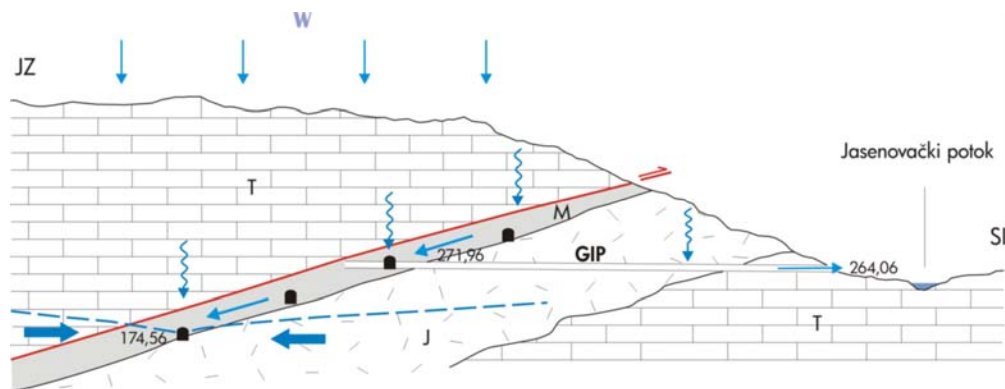
Ulaz u glavni ventilaciono-transportni niskop GVN nalazi se na k.409,94. Pod nagibom od 16°, izrđen je na dužini od 505 m i zavšava se na k.273,28. Ovim niskopom, zatim hodnikom GVH-1a, transportnim niskopom TN-2 i ventilacionim niskopom VN-2, otvoreno je u jugozapadnom delu ležišta otkopno polje OP-5 (tzv. "spušteni deo").

Formiranje priliva rudničkih voda u rudarske radove jame „Jasenovac“, najznačajnijim delom uslovljava karstna izdan koja je formirana u alohtonim mezozojskim krečnjacima navlake, kao i u jurskim krečnjacima paleoreljefa ugljonošne serije. Obzirom na ovaj položaj, karstna izdan se drenira najvećim delom u rudarske radove i to duboko ispod lokalnog erozionog bazisa Jasenovačkog potoka. Pored toga, dreniranje izdani se vrši delom i u stare rudarske radove, a tome značajan doprinos daju zone zarušavanja krovinskih naslaga tokom otkopa uglja.

Zavisno od faze eksploatacije uglja u pojedinim delovima ležišta, veličina priliva rudničkih voda u rudarske radove se menjala sa vremenom. U pojedinim periodima je dolazilo do toga da je izraženiji bio direktan uticaj podzemnih voda karstne izdani, a onda nakon premeštanja eksploatacije u susedno otkopno polje, dominantan faktor u formiranju priliva rudničkih voda, postaju stari rudarski radovi sa svojim zonama zarušavanja.

Razdvajanje uticaja podzemnih voda od uticaja rudničkih voda iz starih radova u formiranju ukupnih priliva koji se javljaju u aktivnim rudarskim prostorijama, nije uvek moguće, a posebno zbog tehničkih razloga u jami i potrebe višefaznog prepumpavanja rudničkih voda pri odvodnjavanju jame.

Ipak, sa aspekta sagledavanja uslova formiranja priliva rudničkih voda, za jamu rudnika „Jasenovac“, jako je karakterističan hipsometrijski položaj koji ima glavni izvozni potkop GIP (k.271.96) u odnosu na samo zaleganje ležišta „centralno polje“ i položaja prema starim rudarskim radovima u njemu. Ležište uglja je morfološki nagnuto ka jugozapadu, tako da se najviše izohipse podine ugljonošnog sloja, sreću u pravcu severoistoka na k.390, a najniže na jugozapadu k.155 (slika 153.).



Slika 153. Šema formiranja priliva rudničkih voda u rudarske radove rudnika „Jasenovac“- centralno polje

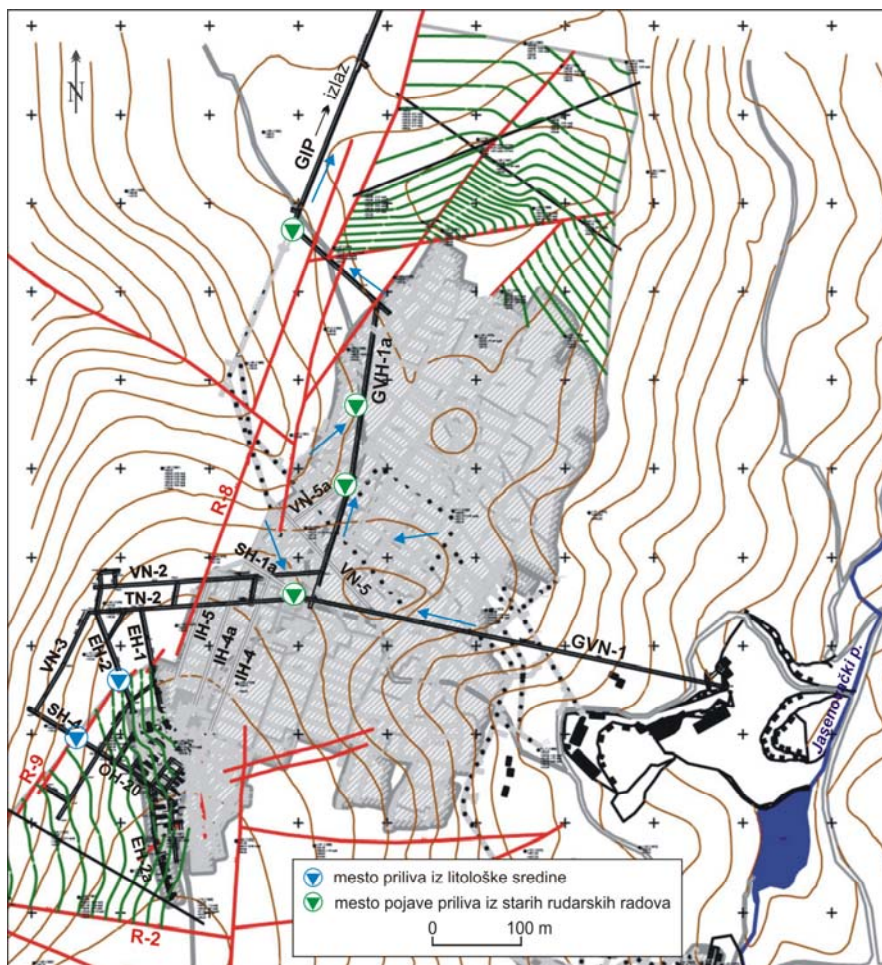
U odnosu na položaj potkopa GIP (k.271,96), mogu se generalno izdvojiti dva nivoa formiranja priliva rudničkih voda u rudarske radove. Polazeći od toga da se rudarske prostorije u „spuštenom delu“ ležišta izvode do približne k.170, to onda predstavlja i najniži nivo dreniranja podzemnih voda iz hidrogeoloških struktura koje se nalaze u neposrednom području ležišta, kao i rudničke vode iz starih rudarskih radova (slika 154.).

Hipsometrijski iznad GIP-a, odnosno k.271.96, prilive rudničkih voda u rudarske prostorije, uslovljavaju infiltracione vode iz nadizdanske zone karstne izdani, odnosno iz tektonske povlate ugljonosne serije, kao i rudničke vode iz starih radova, koji su izvedeni u plićim delovima ležišta (slika 153.).

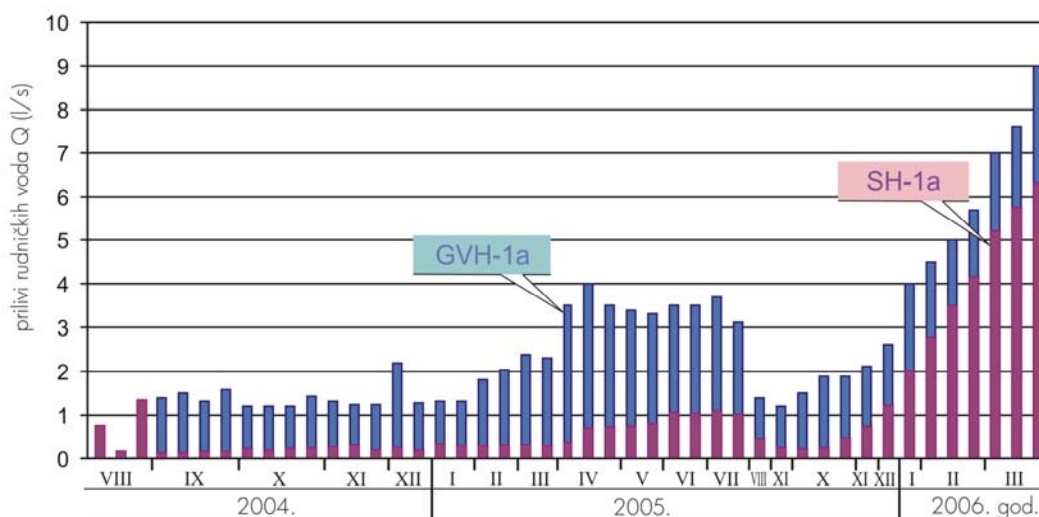
Prilivi rudničkih voda iznad nivoa GIP-a, javljaju se u:

- niskopu GVN (iz rožnaca i krečnjaka navlake);
- hodniku GVH-1a (iz rožnačkih i krečnjačkih konglomerata podinske miocenske serije);
- hodnik SH-1a (iz plićih delova IH-4a sa k.~300);
- iz starih rudarskih radova (IH-3, OH-2, OH-6, iz viših delova VN-2);
- na raskršću GIP-a i GVH-1a (iz zatvorenog dela starih rudarskih radova VN-1, IH-3 i dr.), slika 154.

Sumarni prilivi rudničkih voda koji se javljaju u navedenim rudarskim prostorijama, gravitaciono se sprovode kroz hodnik GVH-1a do GIP-a. Njihovo sistematsko praćenje je vršeno u periodu od 16.08.2004.-27.03.2006. godine. Na uporednom dijagramu (slika 155.), prikazano je učešće koje imaju rudničke vode iz hodnika SH-1a, u sumarnom proticaju koji je meren u hodniku GVH-1a.



Slika 154. Lokacije pojave rudničkih voda u jamu „Jasenovac“-centralno polje (podloga: plan jame Petrović i dr. 2010)



Slika 155. Dijagram priliva rudničkih voda u SH-1a i zbirni prilivi u GVH-1a jame rudnika „Jasenovac“ - nivo iznad kote GIP-a (po podacima: Jovanović 2012)

Za analizirani vremenski period (slika 155.), mereni prilivi rudničkih voda u GVH-1a, kretali su se prosečno 1,5 l/s u toku 2004. godine, ali tokom 2005. godine kada je otkop uglja vršen otkopnim prostorijama iz najviših delova niskopa IH-4a (u području istražne bušotine J-32, k.~300), zbirni prilivi u GVH-1a su se povećali i u proseku su iznosili 3,5 l/s.

Nakon jula 2005. godine, došlo je do delimične izdreniranosti ovog dela ležišta koji je bio zahvaćen eksploatacijom, tako da su se prilivi okvirno smanjili na pređašnje stanje. Prilog ovome daju često i gline miocenske serije koje su veoma podložne bubrenju, tako da deformacije koje stvaraju u rudarskim prostorijama, istovremeno utiču na smanjenje priliva rudničkih voda.

Zbog veoma izražene tektonike i blokovske izdeljenosti ležišta i obodnog terena, u alohtonim stenama mezozoika, mogu se pored infiltracionih voda koje se javljaju u nadizdanskoj zoni karstne izdani, naći i jako ovodnjeni rasedi i rasedne zone. Upravo ove podzemne vode su početkom 2006. godine (slika 154.), uslovile povećane prilive rudničkih voda u spojnom hodniku SH-1a, odnosno u GVH-1a. Kada se zapravo otkopnim prostorijama iz najviših delova niskopa IH-4a (k.~300), prišlo zapadnom obodu ležišta, odnosno označenom rasedu R-8 (slika 154.), došlo je do značajnog povećanja priliva rudničkih voda. Na osnovu podataka o merenjima u GVH-1a, maksimalni prilivi su registrovani 27.03.2006. godine i iznosili su $Q = 9$ l/s. Kako je ovaj prodor rudničkih voda ometao otkop uglja na radilištu, rudarski radovi su napušteni u ovom delu ležišta i preseljeni u eksploataciono polje „spušteni deo“, koje je hipsometrijski niže u odnosu na GIP.

U ovom spuštenom delu ležišta (otkopno polje OP-5 u tzv. „spuštenom delu“), prilivi rudničkih voda u rudarske radove, bili su značajni u početnim fazama otkopa uglja. Njihovo formiranje je bilo vezano za proces dreniranja karstne izdani iz alohtonih karbonatnih tvorevina mezozoika i rudničkih voda iz starih rudarskih radova sa hipsometrijski viših kota. Poseban značaj u tom pogledu su imali ovodnjeni rasedi, koji su na osnovu dosadašnje prakse, uslovljavali prilive i do 15-20 l/s. Sličan slučaj se dogodino 21.07.2006. godine, kada je u hodniku EH-2 na k.222, došlo do iznenadnih priliva rudničkih voda iz raseda R-9 (slika 154.). Tom prilikom za 75^h, došlo je do potpunog potapanja prostorije EH-2, SH-3, transportni niskop TN-2, VN-2, EH-1, odnosno potapanje u jami se odrazilo do približne k.246. Ukupna dužina potopljenih prostorija je bila 250 m.

Za navedeni vremenski period, ukupni priliv vode je bio 2.500 m³, a prosečni prilivi su iznosili 9,25 l/s.

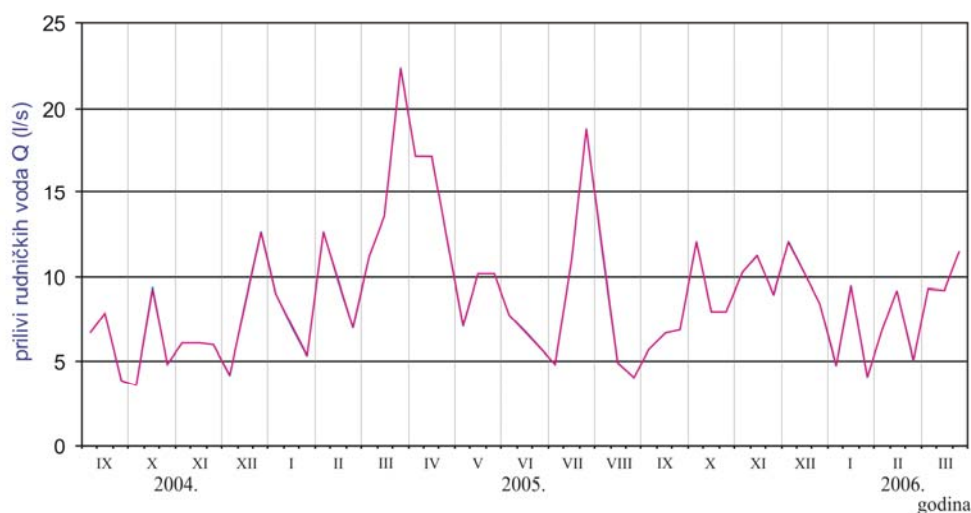
Osim iz raseda, prilivi rudničkih voda se često javljaju direktno iz karstne i pukotinske izdani i to tokom otkopa samog sloja uglja. Zapravo, usled dejstva navlake, povlatne naslage ugljonosnog horizonata, pretrpele su najčešće značajnu redukciju debljine ili su potpuno raznete, tako da se alohtoni krečnjaci navlake nalaze u pojedinim delovima ležišta, u direktnoj tektonskoj povlati sloja uglja (slika 69.). Posebnu nepovoljnost u tom pogledu čini primenjena stubna metoda otkopa uglja, jer nakon zarušavanje krovinskih naslaga, deformacijama bivaju zahvaćene i karbonatne stene navlake. Time su stvoreni uslovi za intenzivno dreniranje karstne izdani u rudarske radove, odnosno u stare rudarske radove.

Slaba gasonosnost ležišta uglja, ukazuje takođe na uticaj karstne izdani u formiranju priliva rudničkih voda. Zapravo, karstni akvifer zbog svoje izražene poroznosti, predstavlja veoma povoljnu sredinu za degazaciju ležišta.

Pored uticaja karstne izdani, veliki značaj u formiranju priliva rudničkih voda, imaju i rudničke vode iz starih rudarskih radova. Tokom otkopavanja uglja u IH-4, IH-4a, IH-5, prilive su najznačajnijim delom uslovljavale rudničke vode iz starih rudarskih radova sa viših kota, na šta su ukazale i hemijske analize rudničkih voda. Nakon završetka rudarskih radova u IH-5, došlo je do isticanja rudničkih voda (k.280 kod raskršća sa SH-1a), što je ukazivalo na potpunu potopljenost IH-5 i rudarskih prostorija koje sa njim bile u vezi i to od najnižeg nivoa IH-5 od k.236 do k.280.

Značaj karstne izdani u formiranju rudničkih voda u starim rudarskim radovima IH-5, potvrđeno je i kasnije kada se tokom 2005. godine, otkopnim prostorijama iz najviših delova niskopa IH-4a na k.~300 (u području istražne bušotine J-32), omogućilo delimično dreniranje podzemnih voda iz raseda koji je označen kao R-8 (slika 77.). Nakon tog perioda, došlo je do relativno ujednačenijeg isticanja rudničkih voda iz IH-5 na k.280 (slika 156.), kao što je bio slučaj pre 2005. godine.

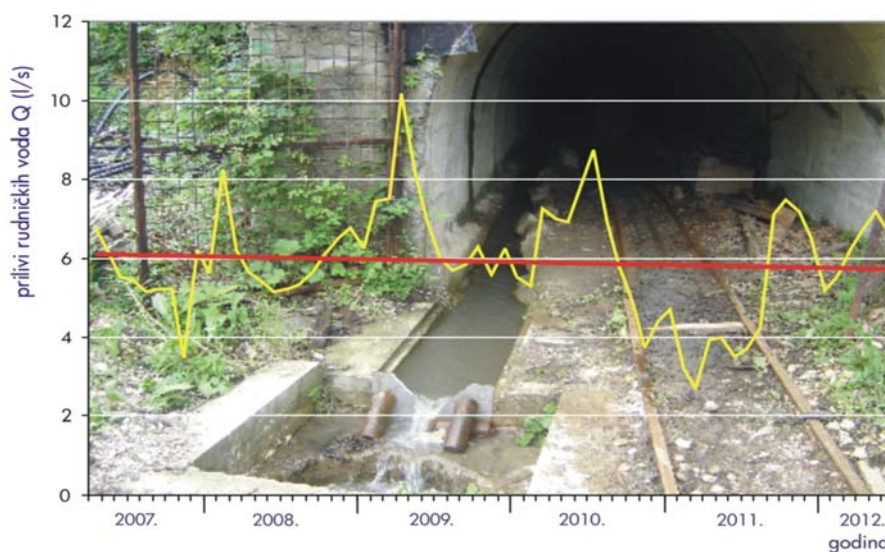
Sprovedenim merenjima u periodu 22.09.2004. - 27.03.2006. godine, registrovana su dva maksimuma dnevnih priliva i to 28.03.2005. god., sa $Q_{max}=22,35$ l/s i 27.07.2005. god., sa $Q_{max}=18,9$ l/s (slika 156).



Slika 156. Prosečni desetodnevni prilivi rudničkih voda u IH-5 jame „Jasenovac“ registrovani u periodu IX.2004. - III.2006. (po podacima: Bačić-Vlahović 2007)

Ovako registrovane oscilacije priliva rudničkih voda, odraz su dinamike i uslova otkopa uglja u eksploatacionom polju, ali svakako i sezonskih promena veličina padavina na širem prostoru.

U periodu od 2007.-2012. godine, u jami rudnika „Jasenovac“, registrovani su ukupni prilivi rudničkih voda koji su u proseku iznosili oko 6 l/s. Merenja su vršena u GIP-u, kojim se rudničke vode gravitaciono odvođe iz jame (slika 157.).



Slika 157. Srednje mesečne količine rudničkih voda koje ističu iz jame „Jasenovac“ registrovane u periodu april 2007.- juni 2012., po podacima Jovanović 2012 (foto potkop GIP, B.Miladinović)

U juzapadnom delu ležišta u tzv. „spuštenom delu“, otkop uglja u sadašnjim uslovima se odvija do približno k.170. Bez obzira što su u ovom delu, neke od rudarskih prostorija izrađene kroz krečnjake na dužini od 10-15 m, kao što su OH-21 (k.196), SH-4 (k.201), EH-2 (čelo na k.202) i dr., time ipak nisu uslovljeni značajniji prilivi rudničkih voda. Ovo svakako potvrđuje slabiju vodoobilnost dubljih delova karstnog akvifera, što ne isključuje mogućnost postojanja ovodnjenih raseda, koji mogu veoma nepovoljno da se odraze na dalju eksploataciju uglja, a pogotovo kako se rudarskim radovima bude prilazilo južnoj granici ležišta koju čini rased R-2.

e) Rudnik mrkog uglja “Bogovina”

Rudarski radovi na otvaranju ležišta uglja “istočno polje” u bogovinskom ugljonosnom basenu, otpočeli su 1982. godine, a sa eksploatacijom se krenulo tek 1994. godine. Ležište je otvoreno niskopom GIN-1, vetrenim oknom VO i glavnim vetrenim niskopom GVN.

Glavnim izvoznim niskopom (GIN-1), ležište je otvoreno iz pravca zapada i to sa k.223,9 (slika 158.). Od ukupne dužine 975 m, kroz miopliocenske sedimente je prokopan na dužini od 534 m, a preostalom dužinom kroz ugljonosnu oligocensku seriju. Najnižu deo niskopa se nalazi na k.7,0.



*Slika 158. Ulaz u glavni izvozni niskop GIN-1 jame “Bogovina”-istočno polje
(foto B.Miladinović)*

Najznačajniji uticaj u formiranju priliva rudničkih voda u ležištu “istočno polje”, imaju pukotinski i zbijeni tip izdani koji su formirani u miopliocenskim tvorevinama (povlata ugljonosne oligocenske serije), kao i rudničke vode iz

starih rudarskih radova i zona zarušavanja koje su nastale usled eksploatacije ležišta.

Uticao je navedenih izdani u formiranju priliva rudničkih voda, manifestovao se od samog otvaranja ležišta uglja „istočno polje“. Zapravo, pri izradi ventilacionog okna (VO) tokom 1983. godine u severnom delu ležišta, kada se radovima najpre prišlo sloju miopliocenskih konglomerata na dubini od 30.5-37.0 m, došlo je do znatnih priliva rudničkih voda, a kasnije su se nešto smanjili i iznosili su oko 2 l/s.

Okno je izrađeno sa površine terena od k.249 do k.75, ukupne dubine 174 m. Njegovom izradom do nivoa ventilacionog niskopa GVN (k.78,5), konstatovano je više vodonosnih horizonata izgrađenih od konglomerata, tako da pored već zastupljenog u intervali od 30.5-37.0 m, javljaju se i na dubini: 48-52 m, 60-63 m, 67-72 m. Istražnim bušenjem ispod nivoa ventilacionog niskopa GVN do k.40, konstatovano je takođe više slojeva konglomerata, čija se debljina kretala pojedinačno 1-2 m.

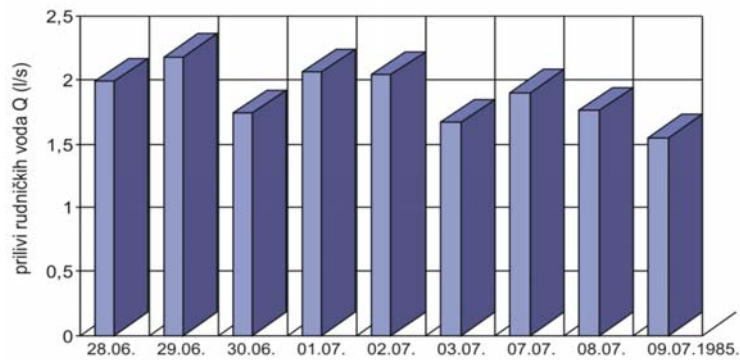
Usled stalnog odvodnjavanja rudarskih radova koji su se izvodili u oknu, bilo je uslovljeno sniženje nivoa podzemnih voda u širem području, tako da se to odrazilo na smanjenju izdašnosti okolnih izvora, a kod plitkih kopanih bunara je uslovljeno delimično ili potpuno presušenje.

Prilivi iz miopliocenskih vodonosnih horizonata, manifestovali su se i pri izradi glavnog transportnog niskopa GTN-1. Najpre je 10.06.1984. godine, na oko 500 m od ulaza, došlo do priliva na približnoj k.125 (oko 99 m hipsometrijski ispod površine terena). Prilivi rudničkih voda su iznosili 8 l/s i to je uslovlilo potapanje niskopa na dužini od oko 60 m. Ukupna količina podzemnih voda koja je potopila deo niskopa, iznosila je oko $V = 900 \text{ m}^3$.

Nakon par dana, prilivi u GTN-1 su se smanjili na oko 6,5 l/s, a u vazduhu se osećao miris koji je poticao od prisustva H_2S u rudničkoj vodi, što može ukazati da su ove vode bile formirane jednim delom i od rudnih voda koje su vezane za tanje slojeve i proslojke uglja u okviru miopliocenske serije.

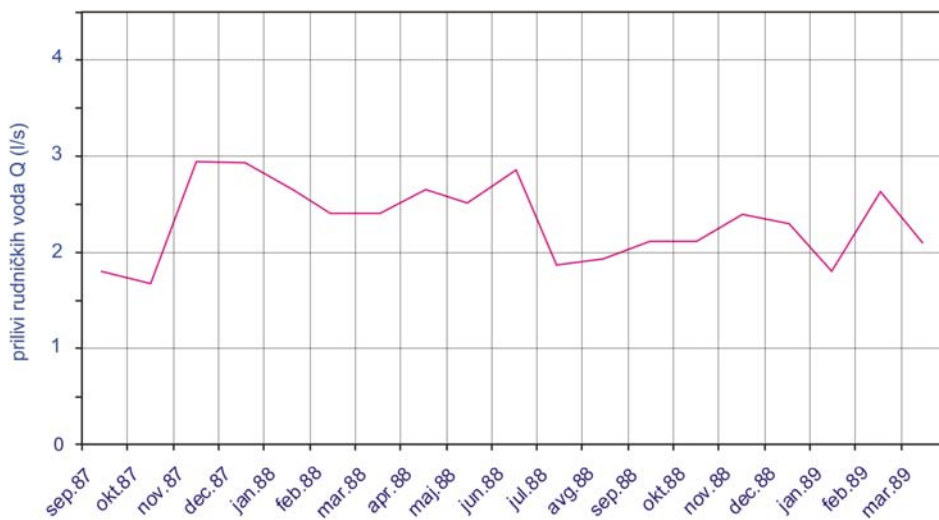
Intenzivno odvodnjavanje potopljenog dela niskopa je trajalo oko 20 dana, a prilivi rudničkih voda su se nakon toga stabilizovali na 4 l/s.

Po podacima Filipovića i dr. 1988, prilivi rudničkih voda u niskopu GTN-1 tokom 1985. godine, iznosili su u proseku 3 l/s, a tokom kraćeg perioda njihovog kontinualnog praćenja 28.06.1985.-09.07.1985. godine, registrovani su nešto manji prilivi i oni su prikazani na dijagramu (slika 159.).



Slika 159. Prilivi rudničkih voda u GTN-1 jame "Bogovina"-istočno polje u periodu njegove izrade VI/VII-1985. god. (po podacima Filipović i dr. 1988)

Tokom praćenja priliva rudničkih voda u jamu u periodu septembar 1987. - mart 1989. godine, najvećim delom su registrovani u šahti ventilacionog okna VO (slika 160.).



Slika 160. Srednje mesečni prilivi rudničkih voda u ventilacionom oknu VO (k.75) jame "Bogovina"-istočno polje (po podacima Filipović i dr. 1988)

U ovom razmatranom periodu, padavine su imale uticaja na veličinu registrovanih priliva, obzirom da je korelacionom analizom utvrđena zavisnost $Q = 0,0062 P + 1,9752$ ($R = 0,63$), slika 50.

U sadašnjim uslovima kada su se rudarski radovi izvedeni do približne k.-4,90 deo priliva rudničkih voda u jami se i dalje javlja u području ventilacionog okna VO (ort k.75). Prilivi su stalni, s tim da su primećena sezonska kolebanja. Rudnička voda iz okna se gravitaciono sprovodi duž

vetrenog niskopa GVN, zatim hodnika GTH i drugih rudarskih prostorija do glavnog vodosabirnika u GTN na k.8,0 (slika 161.).



*Slika 161. Rudnička voda iz ventilacionog okna VO jame "Bogovina"-istočno polje, 29.04.2011.
(foto B.Miladinović)*

Pored ventilacionog okna, stalni prilivi rudničkih voda se javljaju iz starih rudarskih radova u severnom delu ležišta. Duž rudarskih prostorija TN-24 i TN-25, rudničke vode se prikupljaju u niskopu TN-2, tako da je on potopljen ispod k.-15,18 (slika 162.). Iz TN-2, rudničke vode se ispumpavaju u



Slika 162. Potopljeni deo niskopa TN-2 (k.-15,18) u jami "Bogovina"-istočno polje (foto B.Miladinović)

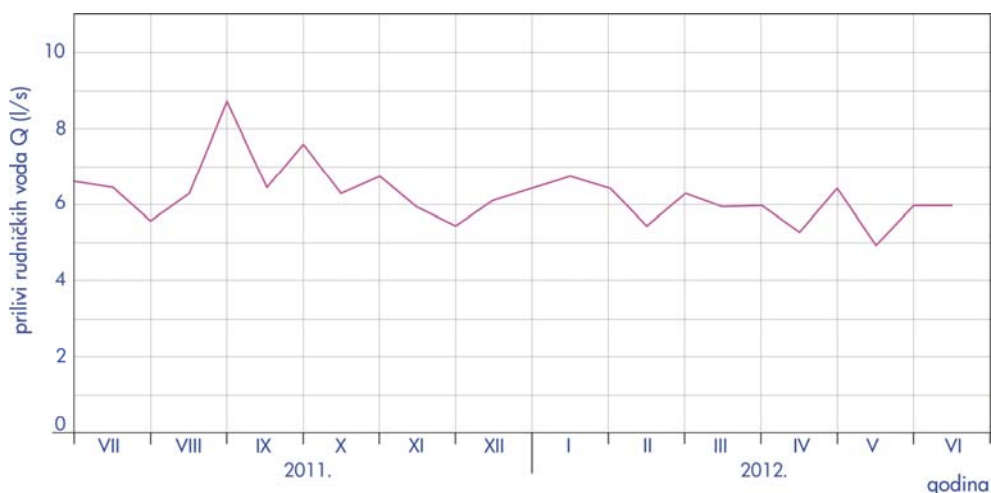
GTN gde se nalazi glavni vodosabirnik na k.8,0 i na taj način se održava trenutno stanje potopljenih rudarskih prostorija u jami.

Ovodnjenost starih rudarskih radova je uslovljena filtracijom podzemnih voda iz vodonosnih horizonata miopliocena i to duž raseda i zona zarušavanja krovine ugljunosnog horizonta, koje

nastaju nakon otkopa uglja.

Usled ovih okolnosti sa jedne strane i sa druge strane kasniji procesi koji su uslovlili delimično kolmiranje stvorenog poroznog prostora u zoni zarušene

krovine, doveli su do stalnih ali relativno ujednačenih priliva rudničkih voda (slika 163.).



Slika 163. Dijagram ukupnih priliva rudničkih voda u rudarske radove jame "Bogovina"-istočno polje (k.-15,18) u periodu VII-2011./VI-2012. god. (po podacima: Avramelović 2012)

U rudarskim prostorijama gde se trenutno izvode rudarski radovi TU-2 (k.-4,90), PVU-2, UTH, prilivi rudničkih voda su javljaju najčešće pri presecanju raseda i rasednih zona. Obično se u takvim slučajevima formiraju prilivi koji se kreću do 0,5 l/s, što naravno ne isključuje mogućnost pojave i znatno većih priliva, jer markantne sedne zone, često predstavljaju dobre kolektore podzemnih voda u ležištu.

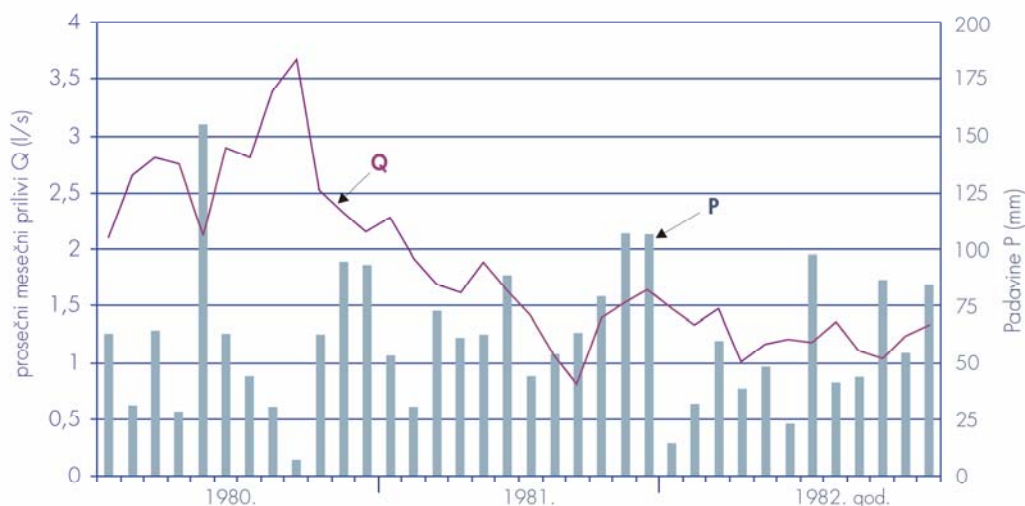
Ležište uglja u „istočnom polju“, posebno je karakteristično po prisustvu podinskih glina ugljonosnog horizonta, koje imaju veoma izraženo svojstvo bubrenja. Ova pojava u rudniku stvara velike probleme oko deformacija podgrade i održavanja prohodnosti rudarskih prostorija. Sa hidrogeološkog aspekta, gline koje bubre u delu ležišta gde je izvršen otkop uglja, veoma dobro štite rudarske radove od priliva rudničkih voda.

f) Rudnik mrkog uglja „Soko“

Od 1972. godine kada se eksploatacija uglja počela odvijati novom jamom u „centralnom polju“, smatralo se da ležište uglja „Soko“, pripada slabo odvodnjenim ležištima uglja. Na to je ukazivala i njegova veoma izražena

gasonosnost, obzirom da krovinske naslage ugljunosnog horizonta, izgrađuju nepropusne, odnosno veoma slabo propusne glinovito-laporovite tvorevine.

Po podacima Filipovića i Dragišića 1984, početkom osamdesetih godina prošlog veka, prosečni godišnji prilivi rudničkih voda u jamu su se kretali 0,85 - 3,68 l/s (1980 - 1982. god.), slika 164.



Slika 164. Uporedni dijagram prosečnih mesečnih priliva rudničkih voda u jamu „centralnog polja“ rudnika „Soko“ i sume mesečnih padavina na k.s. „Čitluk“ za 1980.-1982. god. (po podacima: Filipović i Dragišić 1984)

Ovi podaci međutim nisu u potpunosti odražavali realno stanje odvodjenosti ležišta, jer se jedan deo ovih rudničkih voda koristio kao tehnička voda u jami za zamuljivanje u starim rudarskim radovima nakon postavljanja blendi, kao i za druge potrebe. Na taj način, deo rudničkih voda je ostajao u jami, a one su kasnije iz starih rudarskih radova, imale uticaja na prilive koji su se javljali u aktivne rudarske radove.

Početkom devedesetih godina prošlog veka, registrovani prilivi rudničkih voda u rudarske radove su bili znatno manji u odnosu na gore razmatrani period i iznosili su tokom 1991.-1993. godine, prosečno 0,28 l/s (Dragišić i Miladinović 1993).

Na formiranje priliva zbirnih rudničkih voda u toj fazi razrade i eksploatacije ležišta, uticaj su imale podzemne vode iz ugljunosne miocenske serije. Prilivi rudničkih voda su se javljali u vidu kapanja ili procurivanja iz raseda koji su bili presečeni rudarskim radovima, a jednim delom, uticaj su imale i vode koje su se u jami koristile za potrebe tehnološkog procesa

eksploatacije (zamuljivanje starih rudarskih radova, istražno jamsko bušenje i druge potrebe).

Posebno pažnja tokom eksploatacije uglja u tom periodu iz „centralnog polja“, posvećivala se karstnoj izdani i njenom uticaju na ovodnjenost ležišta. U tom cilju je vršeno iz jame istražno bušenje kao što je bio slučaj iz ventilacionog uskopa VU-4 (bušotine BLJ-1 i BLJ-7). Iz ovih bušotina međutim, nisu konstatovani prilivi karstnih podzemnih voda (Dragišić i dr. 1996).

Sa otvaranjem i eksploatacijom plićih delova „zapadnog polja“ (južno krilo) u toku 1995.-2000. godine, prosečni sumarni prilivi rudničkih voda u jamu su iznosili oko 3,5 l/s. Rudarski radovi na otkopu uglja su vršeni neposredno ispod toka reke Izgare, što je svakako bilo jako značajno pre svega zbog zone zarušavanja krovinskih naslaga ugljonosnog horizonta i njegovog odraza za koje se prognoziralo da će se ispoljiti do površine terena. Na osnovu prognoznih proračuna pomeranja i deformacije površine terena, očekivalo se da će površinski oticaj Izgare u zoni deformacija biti nešto usporeniji, a samim tim i količina i vremenski period zadržavanja površinskih voda u zoni uleganja. Da bi se postigla što brža evakuacija površinskih voda iz zone sleganja terena i time smanjila njihova infiltracija, izvršena je regulacija toka reke Izgare.

Bez obzira međutim na sve preduzete mere, uzimajući u obzir i slabu vodopropusnost krovinskih glinovito-laporovitih naslaga ($T = 4,9 \times 10^{-6} - 6,2 \times 10^{-8}$ m²/s), kao i njenu srednju do visoku sposobnost bubrenja, ipak sleganja terena i pojave pukotina u zoni uticaja rudarskih radova, odrazilo se svakako na povećanje priliva u rudarske radove. U tom pogledu, uticaj je mogla imati infiltracija površinskih voda, ali i podzemne vode iz vodonosnih peskovito-šljunkovitih horizonata pliocena (Pl_1), odnosno iz plićih delova neogene serije.

Nezavisno od rudarskih radova, podzemne vode iz aluvijona Izgare i plićih vodonosnih horizonata neogene serije, imaju jednim delom uticaja i u formiranju priliva koji se javljaju u izvoznom oknu (IO) rudnika „Soko“.

Svojevremenom izradom izvoznog okna (IO) i ventilacionog okna (VO), bilo je omogućeno najpre otvaranje „centralnog polja“ za otkop uglja, a kasnije je to iskorišćeno i za otvaranje „zapadnog polja“. Izvozno okno (IO) izrađeno je od k.395,48 do k.149,40 i njegova dubina iznosi 246 m.

Sa prečnikom od 4 m, aktivni deo okna je do k.170. Njime se obavlja transport i izvoz rovnog uglja iz jame. U okviru navozišta na k.240, nalazi se glavni vodosabirni sistem zapremine 350 m³. Sve rudničke vode iz jame se

sakupljaju na ovom mestu i odatle ispumpavaju na površinu terena. Nema međutim pouzdanih podataka o količini podzemnih voda koje dotiču direktno u okno, ali se procenjuje da iznose 2 l/s.

Uticao podzemnih voda iz karstnog paleoreljefa i neposrednog južnog oboda ležišta uglja „Soko“, počinje značajnije da se manifestuje na formiranje priliva tek sa realizacijom I faze otvaranja „istočnog polja“ za eksploataciju uglja. Zapravo, uticaj karstne izdani se ispoljio pri izradi glavnog transportnog niskopa GTN-1 (slika 165.), koji se kroz kredne krečnjake Device, probijao na



Slika 165. Portal glavnog transportnog niskopa GTN-1 rudnika „Soko“ (foto B.Miladinović)

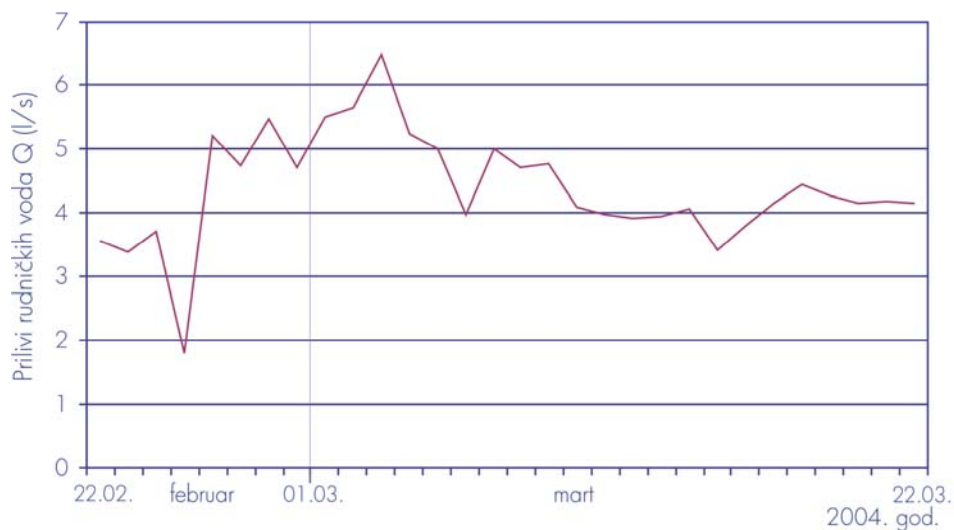
dužini od 496,5 m.

U njegovom nastavku, izrađen je glavni transportni hodnik GTN-2, ali tako da u odnosu na GTN-1, ima promenu pravca za 152° (slika 24.). Niskop GTN-2 je probijen kroz krečnjake na dužini od 723 m. U prvom trenutku, prilivi iz karstne izdani su bili nešto veći, a potom je došlo do smanjenja. Njihovo kontinualno dnevno

osmatranje je vršeno u periodu 22.02.2004.–22.03.2004. godine (slika 166.).

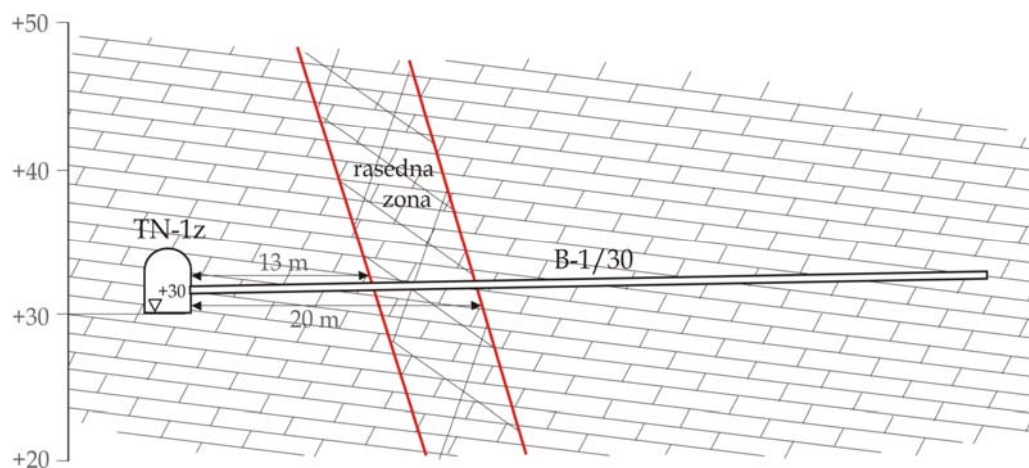
Uticao karstne izdani u formiranju priliva rudničkih voda, bio je ispoljen i pri otvaranju dubljih delova ležišta uglja zapadnog polja. Otvaranje severnog krila zapadnog polja u toku 2004. godine (otkopno polje OP-4), otpočelo je izradom dva niskopa TN-1z i VN-1z. Zbog nepovoljnog položaja ležišta je proistekla potreba izrade rudarskih prostorija jednim delom kroz krečnjake karstnog masiva Device. Obzirom da se radilo o investicionim prostorijama sa dužom namenom, izrađeni su zato u dubokoj podini ugljenog sloja. Niskop TN-1z je izrađen kroz dolomitične krečnjake na dužini od 150 m, a niskop VN-1z na dužini od 128 m.

Transportnim niskopom TN-1z se iz slaboovodnjenih neogenih sedimenata (peščara, laporaca, glinaca), ušlo u dolomitične krečnjake paleoreljefa na k.55. Prvi prilivi su se javili na k.35 i to iz manjih lokalnih raseda koji prate rasedanje terena duž markantnog raseda označenog sa R-9 (slika 79.).



Slika 166. Dijagram dnevnih priliva rudničkih voda u niskepe GTN-1, GTN-2 jame rudnika „Soko“ u periodu 22.02.-22.03.2004. god. (po podacima: Joković 2004)

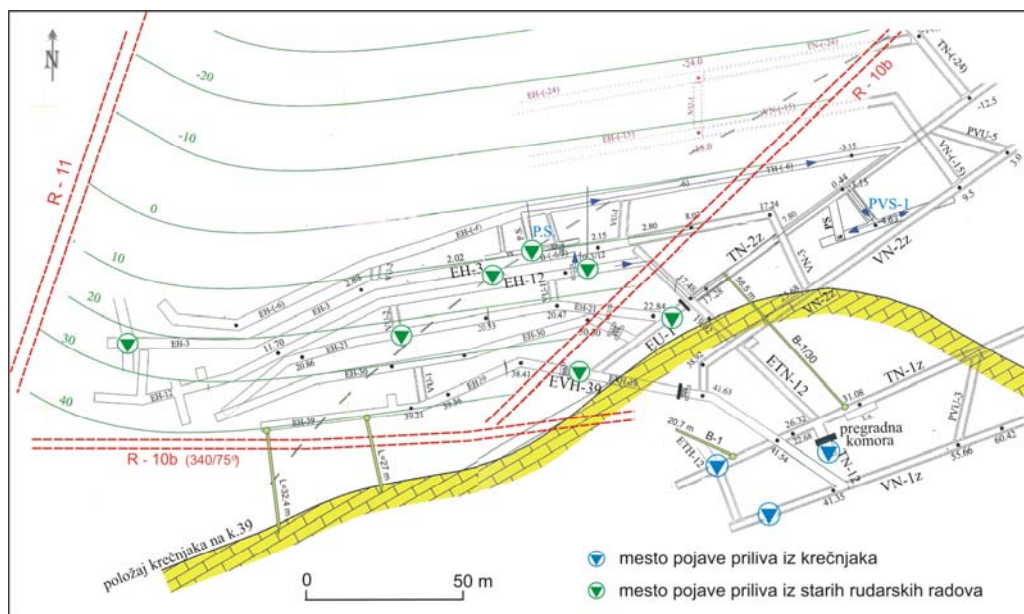
Prilivi su se manifestovali u vidu procurivanja i sumarno su iznosili oko 1-1,5 l/s. Zato je niskopa TN-1z sa k.30, izbušena horizontalna istražna jamska bušotina B-1/30 u pravcu TN-2z, dužine 58,5 m (slika 167.).



Slika 167. Profil jamske bušotine B-1/30 bušene na dužini od 58,5 m kroz dolomitične krečnjake krede u „zapadnom polju“ ležišta uglja „Soko“ (po podacima: Joković i Rajković 2006)

U dubljim delovima transportnog niskopa TN-1z na k.13,2 odakle je krenula izrada etažnog hodnika ETH-12, došlo je 18.01.2006. godine do priliva podzemnih voda iz karstne izdani i to u količini od 3 l/s.

U cilju definisanja ovodnjene zone na koju se naišlo, iz niskopa TN-1z blizu raskršća sa ETH-12, urađena je horizontalna jamska bušotina B-1, dužine 20,7 m (slika 168.).



Slika 168. Lokacije pojave rudničkih voda u rudarske radove otkopnog polja PO-4 jame „Soko” (podloga plan jame: Joković i Rajković 2006)

Interval bušotine od 11,5-20,7 m, izveden je kroz rasednu zonu sa jako tektonski polomljenim krečnjakom i peskovitom ispunom pukotina. Do najznačajnijih prilivi je došlo 10.02.2006. godine, kada je na dužini bušenja od 20,7 m, došlo do pojave podzemnih voda pod pritiskom od 12 bara. Prilivi od 4 l/s, obustavili su dalje radove na bušenju. Prilivi koji su registrovani u tom periodu iz bušotina B-1 i sumarni u TN-1z, prikazani su u tabeli 26.

Ovako nepovoljni uslovi za dalje napredovanje rudarskih radova u jami, dodatno su se pogoršali sa nastavkom minskih radova u niskopu VN-1z, što se odrazilo povećanjem priliva rudničkih voda.

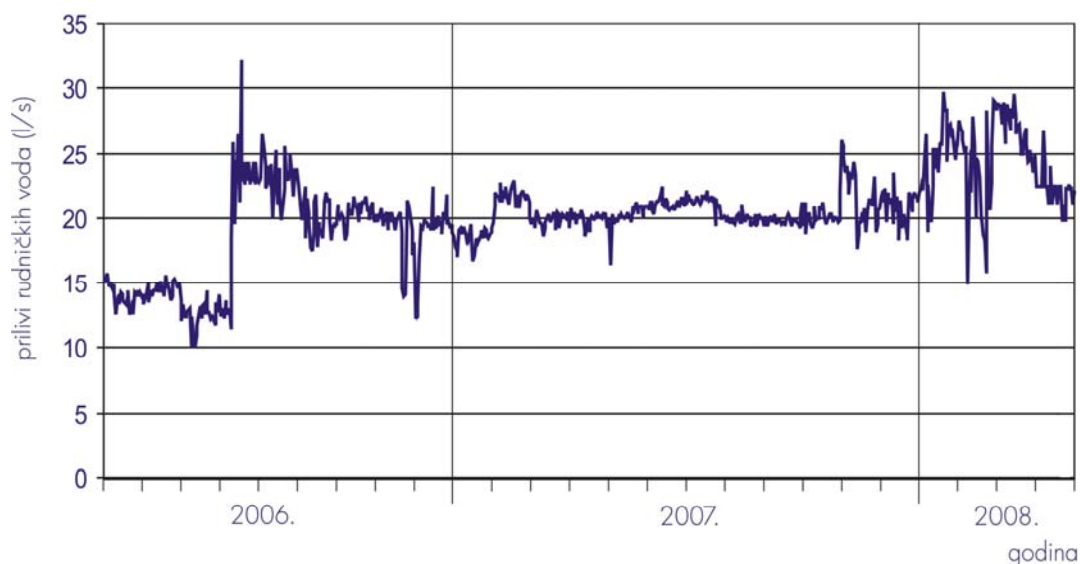
Do značajnih priliva podzemnih voda iz karstne izdani je došlo i kada je iz TN-1z sa k.25,82 (naspram niskopa ETN-12, slika 168.), vršena izrada komore u TN-12. Zbog izliva karstnih podzemnih voda pod pritiskom ($Q \cong 10$ l/s), dalji radovi u ovoj prostoriju su bili prekinuti, a na čelu radilišta je postavljena dupla pregrada sa ispustom kako bi se kontrolisalo dreniranje karstne izdani.

Tabela 26. Jednokratni registrovani prilivi podzemnih voda iz karstne izdani u hodniku TN-1z (k.13,2) jame "Soko"(po podacima: Joković i Rajković 2006)

Datum	ΣQ u TN-1z (l/s)		Opis
	ETH-12	B-1	
18.01.2006.	3,0	-	pre bušenja B-1
08.02.2006.	2,5	1,7	u fazi bušenja B-1
10.02.2006.	4,0	4,0	pritisak 12 bara na „glavi” bušotine B-1
20.02.2006.	7,0		prilivi iz ETN-12; B-1
20.02.2006.	10,0		prilivi iz: ETH-12, B-1, PVU-4, VN-1z
14.03.2006.	15,0 – 20,0		sumarni prilivi iz svih ovodnjenih prostorija

Obzirom da su ove vode pod pritiskom, cevovodom su sprovedene do glavnog vodosabirnika kod izvoznog okna na k.170. U sadašnjim uslovima, prilivi iz krečnjaka u ovom delu jame se kreću od 8 – 9 l/s.

Dnevna osmatranja priliva rudničkih voda u rudarskim prostorijama „zapadnog polja”, vršena su u kontinuitetu u periodu od 24.03.2006.– 21.04.2008. godine. Njihov prikaz je dat dijagramom (slika 169.), sa napomenom da ove registrovane vrednosti, ne obuhvataju prilive koji se javljaju iz krečnjaka na pregradnoj komori (k.25,82).



Slika 169. Dijagram dnevnih priliva rudničkih voda u rudarske radove rudnika „Soko” u periodu 01.04.2006.-30.04.2008. god. (po podacima: Dragišić i dr. 2008)

Pored karstne izdani, u formiranju priliva rudničkih voda u otkopnom polju OP-4 jame „Soko”, značajnu ulogu imaju i rudničke vode iz starih

rudarskih radova. Njihova manifestacija, počela je da se javlja od 26.08.2007. godine, pri otkopu hodnika EH-12, a nešto kasnije i na izolacionim pregradama starih rudarskih radova EH-30 i EH-39. Prilivi su tada bili relativno mali i kretali se od 1 - 1,5 l/s, međutim od novembra meseca 2007. godine, prilivi u EH-12, bili su povećani najpre na 6,0 - 7,0 l/s, a od 30.11.2007. godine, kretali su se i do 15 l/s.

Nakon ovog perioda intenzivnog dreniranja ovodnjenih starih rudarskih radova, došlo je do smanjenja priliva u hodniku EH-12, tako da su do kraja maja 2008. godine i potpuno prestali ali je zato došlo do isticanja na izolacionoj pregradi iz EU-1, gde ih i danas ima u količini oko 8 l/s.

Ovodnjenost starih rudarskih radova je bila prvenstveno posledica slabe vododrživosti glavnog vodosabirnika kod izvoznog okna (k.170), pošto je izrađen u sloju uglja.

U cilju provere ove hipoteze, izvedena su zato u dva navrata opit trasiranja rudničkih voda u starim rudarskim radovima (Dragišić i dr. 2008). Obeleživač (natrijum fluoresceinat $C_{20}H_{10}O_5Na_2$) je ubačen u pregradu niskopa IN-66 (k.82), a konstatovan je hipsometrijski niže 79 m i to u otkopu EH-3 (k.3). Ovim su bili potvrđeni uslovi ovodnjenosti starih rudarskih radova.

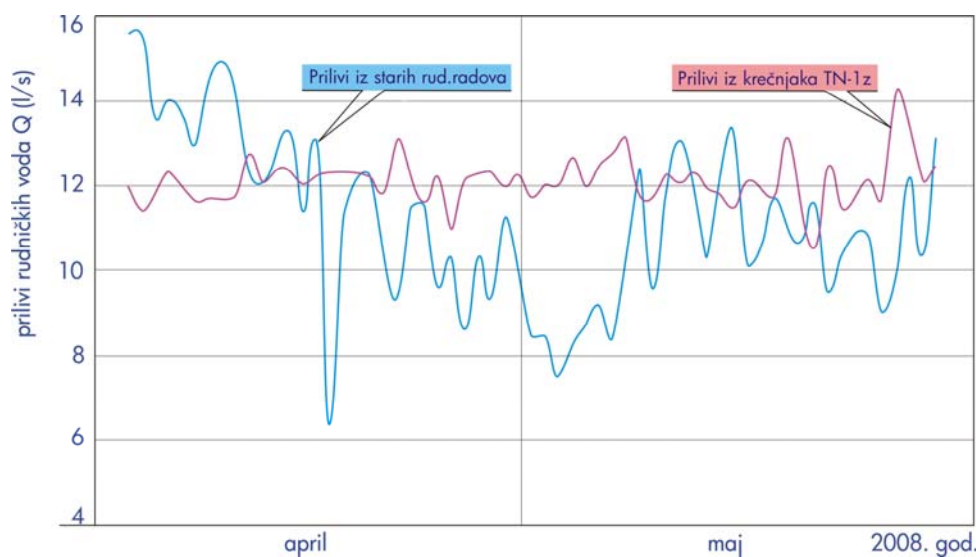
Kontinualna osmatranja veličine priliva rudničkih voda iz starih rudarskih radova koje se prikupljaju u vodosabirniku na k.-4 i karstne izdanske vode koje se u vidu priliva javljaju u rudarske prostorije TN-1z i VN-1z (ne računajući prilive pod pritiskom iz pregrade na k.25.82, pošto se one cevima sprovode direktno do vodosabirnika na k.170), prikazani su grafički (slika 170.).

Za razliku od uslova dreniranja karstne izdani, konstatovani prilivi iz starih radova su jako neujednačeni i uočavaju se neprekidna pulsiranja, što odražava uslove njihovog prihranjivanja. Kako se ono obavlja na račun infiltracije rudničkih voda iz vodosabirnika na k.170, to je onda zavisno od periodičnih ciklusa pražnjenja i punjenja vodosabirnika rudničkim vodama.

Kada je vodosabirnik prazan ili je u njemu prikupljena relativno mala količina rudničkih voda, infiltracija je minimalna u stare radove. Kako sa vremenom dolazi do punjenja vodosabirnika, infiltracija rudničkih voda postaje sve veća.

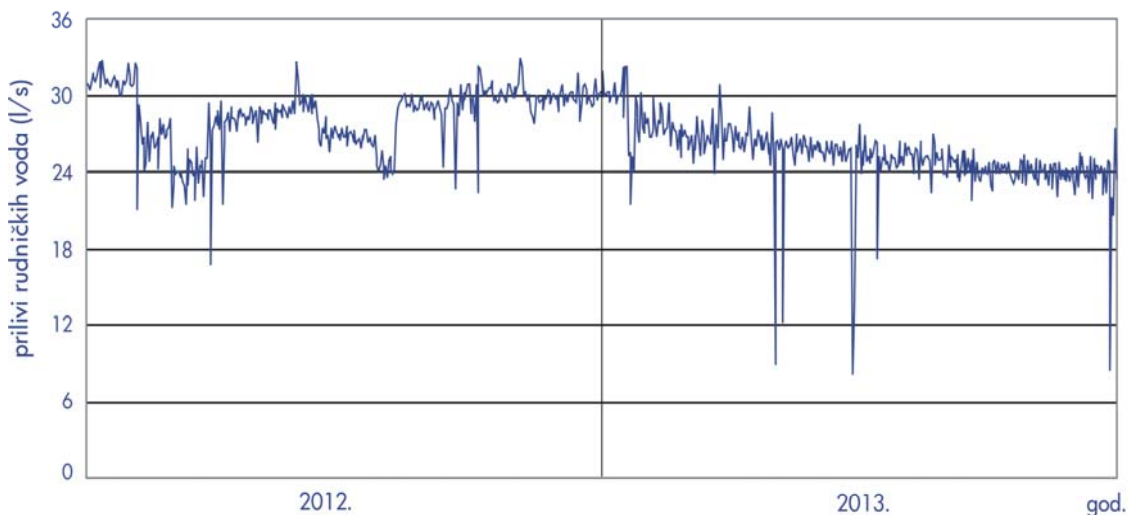
Sa postizanja maksimuma nivoa vode u vodosabirniku, sledi ciklus ispumpavanja vode na površinu terena i potom se postupak ponavlja. Ova

ritmičnost u promeni veličine infiltraciji vode iz vodosabirnika, odražava se tako i na stalna promene veličine dreniranja rudničkih voda iz starih radova.



Slika 170. Prilivi rudničkih voda iz krečnjaka u niskopu TN-1z i iz starih rudarskih radova (Dragišić i dr. 2008)

Registrovani prilivi rudničkih voda u jami rudnika „Soko“, u periodu 2012. -2013. godine, prikazani su dijagramom (slika 171.).



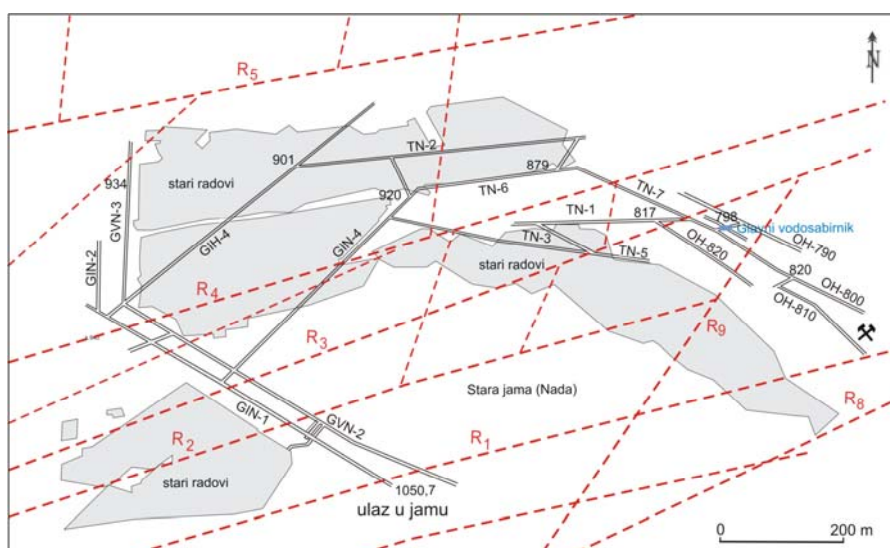
Slika 171. Dijagram oscilacije ukupnih dnevnih priliva rudničkih voda u jamu rudnika „Soko“ za period 01.01.2012. - 31.12.2013. god. (po podacima: Kokerić 2014)

g) Rudnik mrkog uglja „Štavalj“

Najznačajniji uticaj na ovodnjenost ležišta uglja u "centralnom polju" rudnika "Štavalj", ima pukotinska i karstna izdan koja je formirana u tvorevinama povlate ugljonosne miocenske seriji. Posebno obeležje ležištu u tom pogledu daju markantne tektonske zone i rasedi koji su izvršili snažno oštećenje tvorevina miocenske serije. U ovih razlomima, formirane su značajne rezerve podzemnih voda, koje imaju reperkusije na ovodnjenost ležišta uglja.

Eksploatacija uglja iz "centralnog polja", bila je zato u proteklom periodu, stalno praćena prilivima rudničkih voda, koji su ometali izvođenje rudarskih radova, otežavali otkop uglja i njegov transport iz jame (Vuković 1982). U staroj jami u Stupu, tzv. "stupskom rudniku", prilivi rudničkih voda do aprila 1962. godine, iznosili u proseku 30 - 50 l/s, a onda je nakon prolećnog topljenja snega i obimnih kiša, došlo do povećanih priliva, kada su iznosili 83 l/s. Ovo stanje je trajalo oko mesec dana i uslovalo je delimično potapanje jame. Nakon ovog perioda, prilivi rudničkih voda u jamu su bili smanjeni na predhodno stanje.

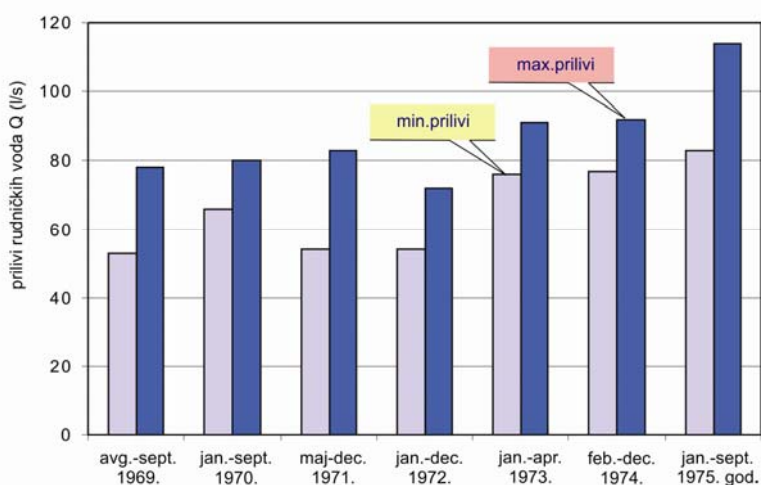
Povećani prilivi rudničkih voda su stalno pratili otkop uglja i u novoj jami rudnika „Štavalj“. Ležište je bilo otvoreno izvoznim niskopom GIN-1 i ventilacionim niskopom GVN-2. Njihova izrada je izvršena kroz ugljonosnu miocensku seriju i to skoro upravno na pružanje raseda R-1 do R-4 (slika 172.).



Slika 172. Uprošćeni situacioni plan položaja rudarskih prostorija rudnika "Štavalj" u odnosu na pružanje markantnih raseda kroz ležište "centralno polje" (podloga: tektonska karta Lojanica 2009)

Rudarskim prostorijama GIN-1 i GVN-2, presečeni su rasedi R-2 i R-3 od k.988,6 do k.950, a rased R-3a na k.958. Rased R-3 je presečen i kasnijom izradom prostorije GVN-4 i to na nižoj koti (k.934).

Prilivi koji su bili uslovljeni ovim kao i uticajem brojnih drugih raseda u jami, izazivali su povremeno potapanje rudarskih radova kao novembra 1979. godine, uz napomenu da je rudarska dokumentacija najčešće nepotpuna i da nema podataka o kontinualnim praćenjima priliva rudničkih voda u rudarske radove. Prosečni prilivi koji su registrovani u periodu od avgusta 1969., do septembra 1975. godine, prikazani su dijagramom (slika 173.).



Slika 173. Opseg prosečnih mesečnih priliva rudničkih voda u jamu rudnika "Štavalj" za period 1969.-1975. godinu (po podacima: Lojanica 2005)

Iznetu konstataciju potvrđuju i podaci pojedinih istraživača, obzirom da Luković 1970, iznosi podatak da se prilivi u jamu "Štavalj" kreću oko 50 l/s, a u pojedinim periodima da su iznosili i do 150 l/s. U svojim izveštajima za rudnik "Štavalj", Đalović 1986, navodi podatak da su u toku 1975. godine, prilivi rudničkih voda na k.932, iznosili 200 l/s, što je znatno više nego što ukazuju zvanični podaci geološke službe rudnika "Štavalj" (slika 173.).

U periodu 1984-1988. godine, srednji mesečni prilivi rudničkih voda su periodično mereni i njihov prikaz je dat tabelom 27.

Najznačajniji prilivi u periodu sep.1984. – feb.1985. god., javljali su se u zapadnom delu jame gde se odvijala eksploatacija i bili su procenjeni na oko 20 l/s. Iz starih rudarskih radova istočnog dela polja, prilivi su okvirno iznosili takođe oko 20 l/s i javljali su se u hodniku H-37. U severozapadnom reviru,

rudničke vode su se sakupljale u vetrenom hodniku VH-1 i VH-2, u količini od oko 35 l/s (Đalović 1986).

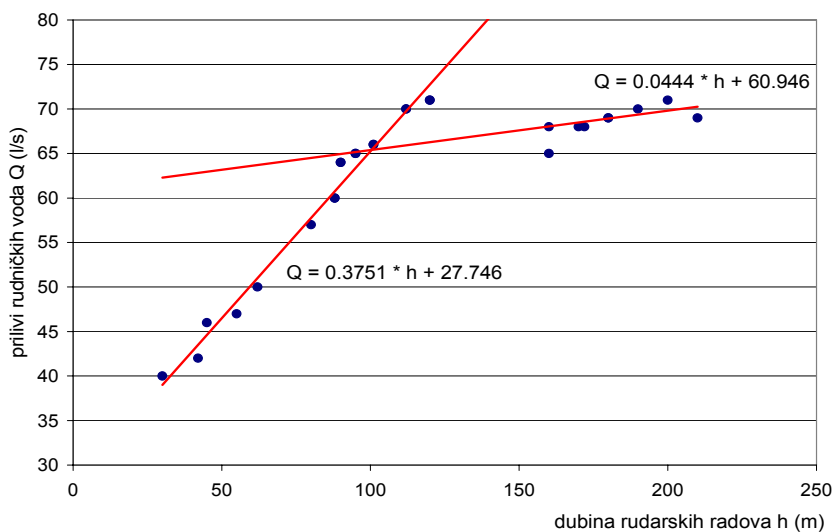
Tabela 27. Prosečni mesečni prilivi rudničkih voda povremeno registrovani u jami rudnika "Štavalj" u periodu 1984/88. god.

godina	1984.*				1985.*		1987.**	1988.**			
mesec	IX	X	XI	XII	I	II	XII	I	II	III	IV
Q (l/s)	66	63	60	58	64	62	68	70	70	75	77

*/Đalović 1986; **/Lojanica 2005

U periodu 1988-2004. god., prosečni mesečni prilivi u jamu su iznosili oko 70 l/s (Lojanica 2005).

Po podacima Bukumurovića 2002, prilivi rudničkih voda su se povećavali kako se otkop uglja usmeravao prema dubljim delovima ležišta. Sa otkopom uglja do okvirno 120 m dubine, prosečni godišnji prilivi rudničkih voda u jamu, povećavali su se po funkcionalnoj zavisnosti $Q = 0.3751 h + 27.746$ (slika 174.).



Slika 174. Korelacioni dijagram zavisnosti prosečnih priliva rudničkih voda (Q) od dubine izvođenja rudarskih radova (h) u jami rudnika "Štavalj" (period 1968-2011. god.) (na osnovu podataka: D.Bukumirovića – rudnik "Štavalj")

Za ovaj period eksploatacije uglja iz relativno plićih delova ležišta, bile su karakteristične i jako izražene oscilacije priliva rudničkih voda u toku godine, zavisno od režima padavina. Odnos između minimalnih i maksimalnih srednje mesečnih priliva rudničkih voda, iznosio je 1:3. Na osnovu utvrđene tendencije

porasta priliva sa dubinom otkopa uglja u jami, očekivalo se da će sa postizanjem dubine od 260 m, oni iznositi oko 125 l/s.

U sadašnjim uslovima eksploatacije uglja koda je dostignuta dubina od 260 m u odnosu na površinu terena, prilivi rudničkih voda u jamu "Štavalj" se javljaju i dalje isključivo iz ovodnjenih rasednih struktura povlate, ali ne po prikazanoj funkcionalnoj zavisnosti (slika 174.). Kako se otkop uglja prema dubljim delovima ležišta, izvodio u obliku spirale, time su bile zahvaćene ovodnjene rasedne zone, koje su u ranijim fazama rudarenja, već bile presečene rudarskim prostorijama na nešto višim kotama. Usled delimične izdreniranosti i njihove slabije vodopropusnosti sa dubinom, oscilacije priliva rudničkih voda koje se trenutno javljaju u najnižim delovima jame, znatno su ujednačeniji u odnosu na ranije prilive u plićim delovima ležišta. Za period 2003-2011. god., prilivi rudničkih voda su varirali od $Q = 51-77$ l/s (slika 175.).



*Slika 175. Vodosabirnik VS-802 (k.790) u jami rudnika "Štavalj"
u kome se gravitaciono prikupljaju rudničke vode
(oktobar 2011., foto B.Miladinović)*

Izdani iz rasednih zona pored toga što uslovljavaju prilive u aktivne rudarske prostorije, značajnim delom se dreniraju i u stare rudarske radove. Velike površine otkopanog prostora unutar ležišta i sa formiranim zonama zarušavanja krovinskih naslaga, najčešće se manifestuje do same površine terena. Time ne samo da je podspešena infiltracija površinskih voda, već je omogućena hidraulička veza podzemnih voda između postojećih rasednih zona. Zato se u aktivne rudarske radove, javljaju veoma značajni doticaji rudničkih voda iz starih rudarskih radova (slika 176.).



Slika 176. Priliv rudničkih voda $Q \approx 20$ l/s iz starih rudarskih radova OH-810 (k.810,8) jame "Štavalj" (foto B.Miladinović)

Vodonosnost povlatnih laporaca ugljunosnog horizonta, veoma je specifična i vezana je isključivo za rasede i rasedne zone. Rudarskim



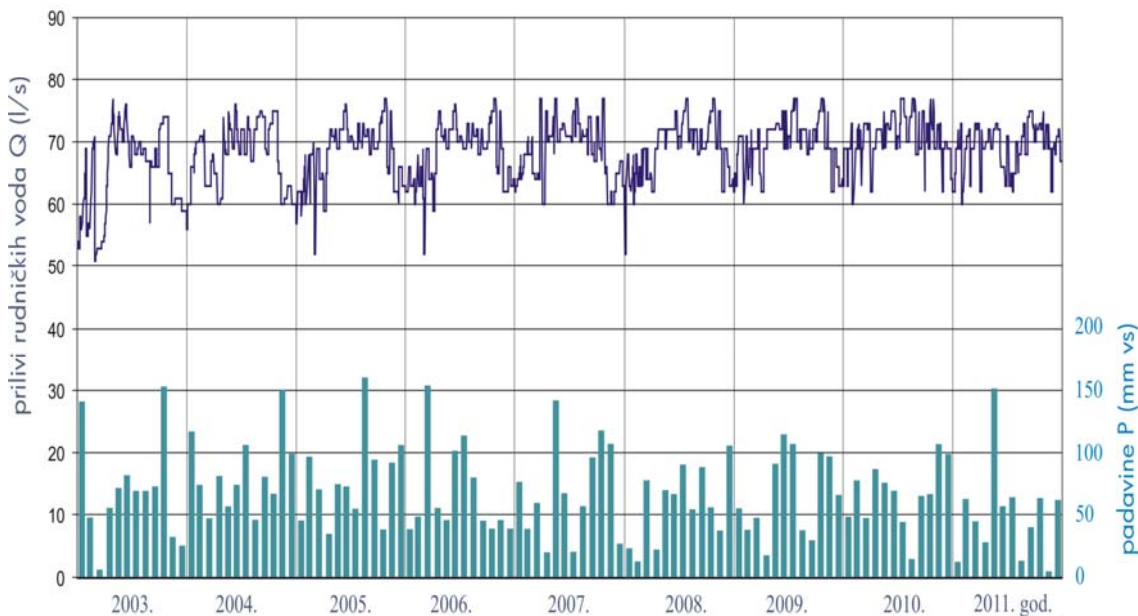
Slika 177. Suva rudarska prostorija OH-790 izrađena na k.790 kroz laporce u rudniku "Štavalj" (foto B.Miladinović)

prostorijama u otkopnim poljima kojima nisu zahvaćeni rasedi, najčešće su suve ili se u njima javljaju jako mali prilivi podzemnih voda. Takav slučaj je i u najdubljem delu, što je konstatovano obilaskom otkopnog hodnika OH-790 (k.790), u oktobru 2012. godine (slika 177.). Na delu ovog hodnika koji je izrađen između raseda R-12 i R-14, prilivi rudničkih voda nisu konstatovani i ako su njime bili zahvaćeni kako ugljeni sloj, tako i krovinski laporci.

Ukupni prilivi rudničkih voda registrovani u jami "Štavalj" u periodu od 2003-2011. godine, prikazani su dijagramom (slika 178.).

U cilju simulacije kao i davanja kratkoročnih prognoza priliva rudničkih voda za ovaj rudnik, korišćene su korelacione teorije slučajnih procesa. Na osnovu podataka o dnevnim prilivima rudničkih voda, padavinama i temperaturama osmotrenih u periodu od 2003. - 2011. god., definisne su

matamatičke zavisnosti koje su pogodne za procenu veličine priliva, u zavisnosti od meteoroloških uslova.



Slika 178. Uporedni dijagram dnevnih priliva rudničkih voda (Q) u jamu rudnika "Štavalj" (k.790) i sume mesečnih padavina na k.s. "Sjenica" u periodu 2003-2011. god. (na osnovu podataka: D.Bukumirović-rudnik "Štavalj")

Za potrebe uspostavljanja pomenutih matematičkih zavisnosti, korišćene su višestruke linearne korelacione zavisnosti (Miladinović i dr. 2015). Na ovaj način definisana prognostička zavisnost se može koristiti za kratkoročne prognoze priliva voda u rudarske radove za periode od jednog do sedam i više dana.

Model višestruke linearne regresije je najčešće primenjivani model za simulacije, odnosno prognoze odgovarajućih promenljivih veličina (Krešić 2010). Ukoliko postoji zavisnost jedne pojave u funkciji dve ili više nezavisnih pojava, onda se govori o višestrukoj linearnoj regresiji. Ako je cilj regresione analize testiranje višestruke korelacije, broj opservacija N treba da bude $N > 50 + 8m$, gde je N - broj opservacija, m - broj nezavisnih promenljivih (Tabachnick i Fidell 2007, Soldić-Aleksić 2011).

Značaj ove vrste modela sastoji se u mogućnosti predviđanja ishoda pojave na osnovu saznanja vezanih za druge pojave. Uspostavlja se zavisnost između zavisno promenljive Y i nezavisnih promenljivih X_1, X_2, \dots, X_k na osnovu kojih se dobija simulacija nezavisne ili njeno predviđanje vezano za

odgovarajući vremenski period (Prohaska 2006). Pomenuta zavisnost je data regresionim modelom oblika:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_{1,i} + \beta_2 \cdot x_{2,i} + \dots + \beta_n \cdot x_{n,i} + e_i \quad (1)$$

gde su: Y_i - zavisno promenljiva i-tog reda

x_i - nezavisno promenljiva i-tog

β_i - nepoznati koeficijenti višestruke regresije

e_i - slučajna greška

Primenom metode najmanjih kvadrata, sračunavaju se nepoznati koeficijenti višestruke regresije, a jednačina (1) dobija sledeći oblik:

$$\tilde{y} = a + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \dots + b_n \cdot x_n$$

gde su: \tilde{y} - računaska vrednost zavisno promenljive;

$a, b_1, b_2 \dots b_n$ - sračunate numeričke vrednosti koeficijenata višestruke regresije.

Za potrebe analize režima kao i simulacije priliva podzemnih voda (Ristić-Vakanjac i dr. 2012), neophodno je bilo najpre definisati površinu terena sa koje direktno putem padavina ili indirektno infiltracijom dela padavina, dolazi do formiranja priliva voda u rudarske radove (Ristić 2007, Ristić-Vakanjac i dr. 2013). Na osnovu podataka (Čokorilo i dr. 2011, Čokorilo 2012), na širem području rudnika "Štavalj", srednje godišnje isparavanje (E) za period osmatranja 2003.-2011. god., iznosi 450 mm.

Srednje višegodišnja suma padavina (P) za isti period (2003.-2011. god.), u široj okolini rudnika "Štavalj", iznose 807,6 mm. Prema ovim podacima, sloj oticaja (h) iznosi:

$$h = P - E = 807.6 - 450 = 357.6 \text{ mm}$$

Na osnovu sloja oticaja (h) i srednje godišnjeg priliva podzemnih voda u rudarske radove (Q), može se sračunati površina sliva (F), korišćenjem sledeće jednačine:

$$h = \frac{Q \cdot t}{F} \quad (2)$$

gde je: t - vremenski period izražen u sekundama.

Primenom jednačine (2), površina sliva iznosi:

$$F = \frac{Q \cdot t}{h} = \frac{0.069 \text{ m}^3 / \text{s} \cdot 31.536 \cdot 10^6 \text{ s}}{0.357 \text{ m}} = 6.0951 \cdot 10^6 \text{ m}^2 = 6.1 \text{ km}^2$$

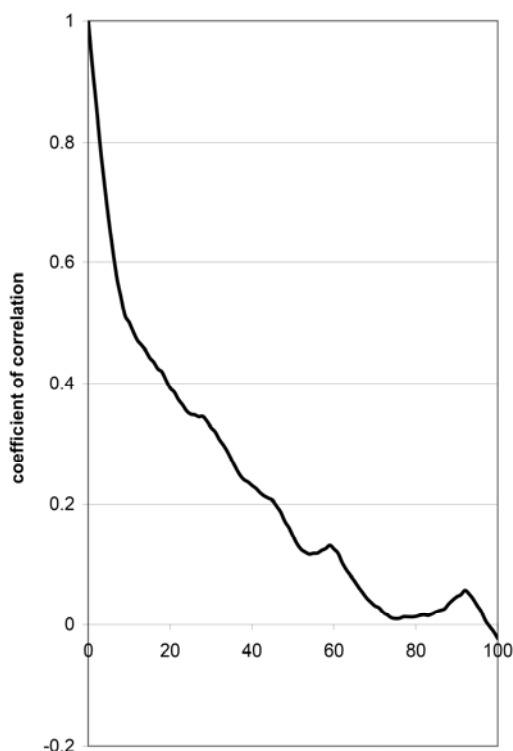
U tabeli 28., date su vrednosti parametara bilansne jednačine, gde su: F - površina sliva, P - prosečne godišnje sume padavina, E - prosečno godišnje isparavanje, h - sloj oticaja, Q_{sr} - srednje godišnji priliv podzemnih voda u jamu rudnika, q - specifični oticaj, W - zapremina vode i ϕ - koeficijent oticaja.

Tabela 28. Parametri bilansa podzemnih voda koje prihranjuju jamu rudnika "Štavalj"

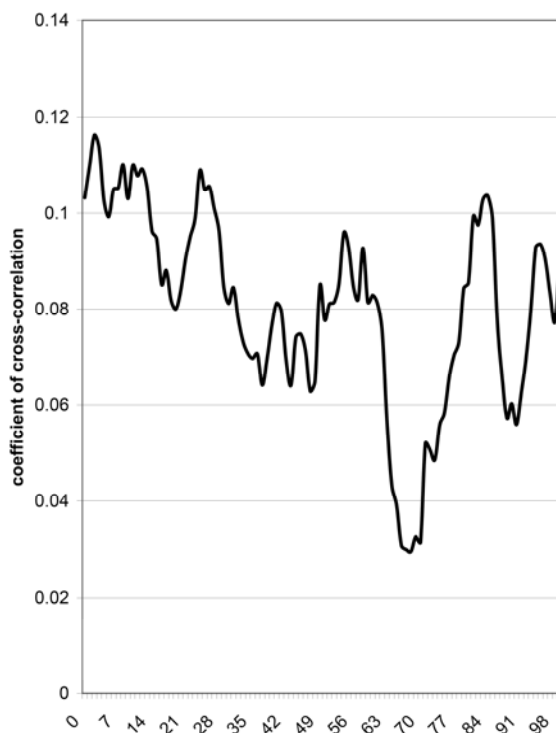
F (km ²)	P (mm)	E (mm)	h (mm)	Q _{av} (m ³ /s)	q (l/s/km ²)	W (10 ⁶ m ³)	φ
6.1	807.6	450	357.6	0.069	11.3	2.18	0.442

Za potrebe primene višestruke linearne regresije, prvo je izvršena autokorelaciona analiza priliva podzemnih voda u rudarske radove (slika 179.) i kroskorelaciona analiza padavina i priliva voda za vremenski pomeraj do 100 dana (Krešić 2010), slika 180.

Podaci sa slike 179., ukazuju da uticaj vrednosti priliva podzemnih voda brzo opada sa povećanjem vremenskog koraka. Za vremenski korak u iznosu od 25 do 28 dana dolazi do stagnacije koeficijenta autokorelacije, dok se nakon 59 i 93 dana koeficijenti korelacije povećavaju (dva izražena pika na autokorelogramu) i posledica su prolećnog otapanja snega, koje se dešava nakon duge i hladne zime, odnosno nakon dva do tri meseca. Ovu konstataciju potvrđuje i kroskorelogram. Iako su koeficijenti korelacije između dnevnih padavina i dnevnih priliva podzemnih voda u jamu rudnika za različite vremenske korake (do 100 dana) mali, ipak su na kroskorelogramu uočljivi pikovi koji se javljaju nakon 1, 24, 56 i 84 dana, odnosno ukazuju na povećanje priliva podzemnih voda nastalih otapanjem snežnog pokrivača.



Slika 179. Autokorelaciona analiza priliva rudničkih voda u rudarske radove



Slika 180. Kroskorelaciona funkcija padavina na slivu i priliva rudničkih voda u rudarske radove

Imajući ovo u vidu, a za potrebe simulacije priliva rudničkih voda korišćenjem dnevnih suma padavina i srednje dnevne temperature, prognozni srednje dnevni priliv u jamu rudnika „Štavalj“, dobijen je korišćenjem višestruke linearne regresije i to:

$$Q_{priliv,i} = a + b_1 \cdot P_{i-1} + b_2 \cdot P_{i-24} + b_3 \cdot P_{i-56} + b_4 \cdot P_{i-84} + b_5 \cdot T_i \quad (3)$$

gde su: $Q_{priliv,i}$ - srednje dnevni priliv voda u rudniku „Štavalj“, i -tog dana;

P - dnevne sume padavina u $i-1$ -tom, $i-24$, $i-56$ i $i-84$ danu;

T - srednje dnevne temperature vazduha $i-1$ danu;

a , b_1 , b_2 , b_3 , b_4 , i b_5 - bezdimenzionalni parametri koji se definišu primenom metode najmanjih kvadrata.

Bezdimenzionalni parametri, dobijeni su primenom višestruke linearne regresije i njihove vrednosti su date u sledećoj jednačini:

$$Q_{priliv,i} = 66.766 + 0.0354 \cdot P_{i-1} - 0.0094 \cdot P_{i-24} - 0.0172 \cdot P_{i-56} + 0.0025 \cdot P_{i-84} + 0.271 \cdot T_{i-1} \quad (4)$$

Analiza uticaja prediktora (jednačina 4) na varijablu (priliv rudničkih voda), prikazana je u tabeli 29.

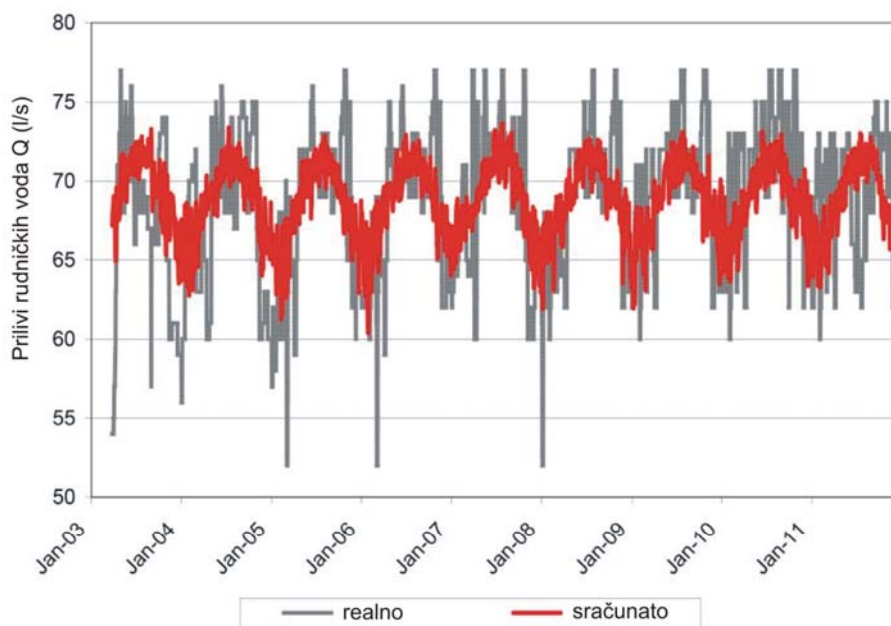
Tabela 29. Analiza uticaja prediktora (jednačina 4) na varijablu (priliv rudničkih voda)

Zavisna varijabla	Nezavisne varijable	Standardi koeficijent β	Standardna devijacija σ
Priliv rudničkih voda u trenutku i	Padavine u trenutku $i-1$	0.019	0.039
	Padavine u trenutku $i-24$	-0.011	0.492
	Padavine u trenutku $i-56$	-0.019	0.211
	Padavine u trenutku $i-84$	0.003	0.855
	temperature vazduha u trenutku i	0.491	0.000

$F=202.20$; $\sigma=0.00$; $r=0.49$; $\sigma=0.00$; $R^2=0.23$

Regresionim modelom objašnjava se 23% varijanse zavisne promenljive ($R^2=0.23$). Koeficijent korelacije iznosi $r=0.49$; $\sigma=0,00$. Model je statistički značajan ($F=202.20$; $\sigma=0,00$). Padavine u trenutku $i-1$ ($\beta=0.019$; $\sigma=0.039$) i temperature vazduha u trenutku $i-1$ ($\beta=0.491$; Sig.=0.000), utiču na priliv rudničkih voda u trenutku i (tabela 29.)

Dijagram osmotrenih priliva podzemnih voda u jamu rudnika „Štavalja“ i sračunatih korišćenjem jednačine (4), dat je na slici 181.



Slika 181. Realne i sračunate vrednosti priliva podzemnih voda u rudarske radove rudnika „Štavalj“ korišćenjem višestruke linearne regresije (jednačina 4)

Sa ciljem da se dobije što bolja simulacija dnevnih priliva podzemnih voda, uspostavljena je nova zavisnost, odnosno pored padavina i temperature kao nezavisna promenljiva, uveden je i prilik podzemnih voda za vremenski korak u iznosu od jednog dana, odnosno:

$$Q_{priliv,i} = a + b_1 \cdot Q_{priliv,i-1} + b_2 \cdot P_{i-1} + b_3 \cdot P_{i-24} + b_4 \cdot P_{i-56} + b_5 \cdot P_{i-84} + b_6 \cdot T_{i-1} \quad (5)$$

gde je: Q_{priliv} - srednje dnevni prilik voda u jamu rudnika „Štavalj“
i-tog i *i*-1-tog dana;
P - dnevne sume padavina u *i*-1-tom, *i*-24, *i*-56 i *i*-84 danu;
T - srednje dnevne temperature vazduha *i*-tom danu;
a, *b*₁, *b*₂, *b*₃, *b*₄, *b*₅ i *b*₆ - bezdimenzionalni parametri koji se definišu primenom metode najmanjih kvadrata.

Bezdimenzionalni parametri, dobijeni su takođe primenom višestruke linearne regresije i njihove vrednosti su date u narednoj jednačini:

$$Q_{priliv,i} = 6.319 + 0.9048 \cdot Q_{i-1} + 0.0087 \cdot P_{i-1} + 0.00156 \cdot P_{i-24} + 0.00175 \cdot P_{i-56} + 0.00527 \cdot P_{i-84} + 0.02648 \cdot T_{i-1} \quad (6)$$

Analiza uticaja prediktora (jednačina 6) na varijablu (prilik rudničkih voda), prikazana je u tabeli 30.

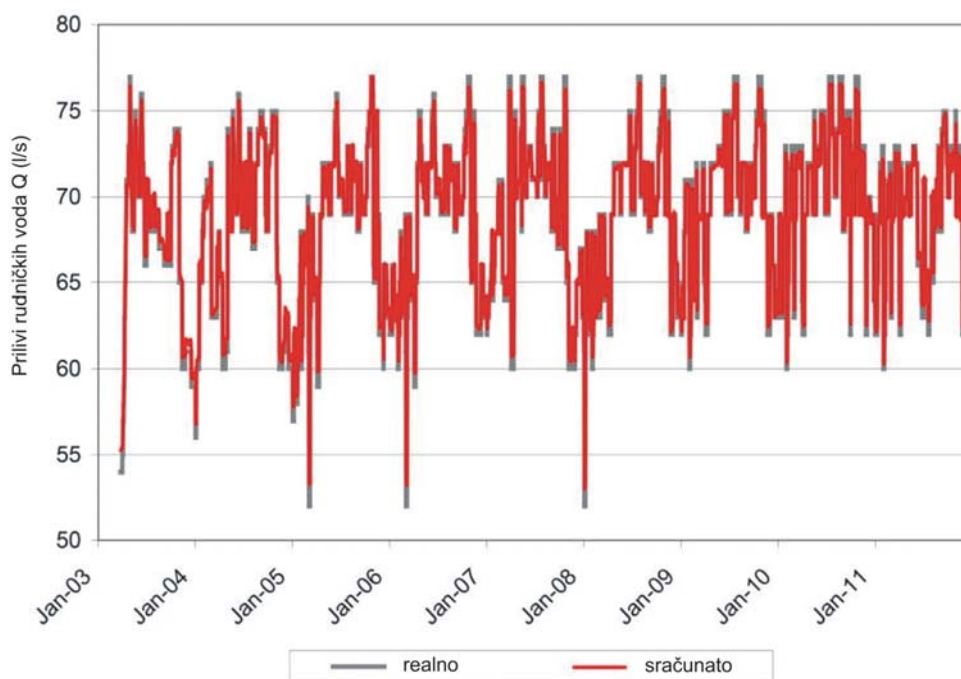
Tabela 30. Analiza uticaja prediktora (jednačina 6) na varijablu (prilik rudničkih voda)

Zavisna varijabla	Nezavisne varijable	Standardni koeficijent β	Standardna devijacija σ
Prilik rudničkih voda u trenutku <i>i</i>	Prilik rudničkih voda u trenutku <i>i</i> -1	0.908	0.000
	Padavine u trenutku <i>i</i> -1	0.018	0.048
	Padavine u trenutku <i>i</i> -24	0.002	0.782
	Padavine u trenutku <i>i</i> -56	0.002	0.767
	Padavine u trenutku <i>i</i> -84	0.006	0.356
	temperature vazduha u trenutku <i>i</i>	0.047	0.000

$F=353.4$; $\sigma=0.00$; $r=0.93$; $\sigma=0.00$; $R^2=0.86$

Regresionim modelom objašnjava se 86% varijanse zavisne promenljive ($R^2=0.86$). Koeficijent korelacije iznosi visokih $r=0.93$; $\sigma=0.00$. Model je statistički značajan ($F=353.4$; $\sigma=0.00$). Priliv rudničkih voda u trenutku $i-1$ ($\beta=0.908$; $\sigma=0.000$), padavine u trenutku $i-1$ ($\beta=0.018$; $\sigma=0.048$) i temperature vazduha u trenutku i ($\beta=0.047$; $\sigma=0.000$) utiču na priliv rudničkih voda u trenutku i (tabela 30.).

Dijagram osmotrenih priliva podzemnih voda u jamu rudnika „Štavalj“ i sračunatih korišćenjem jednačine (6), dat je na slici 182., za ceo period osmatranja.



Slika 182. Realne i sračunate vrednosti priliva podzemnih voda u jamu rudnika „Štavalj“ korišćenjem višestruke linearne regresije (jednačina 6)

Na ovaj način, dobijena je čvrsta veza između sračunatih i osmotrenih vrednosti priliva podzemnih voda. Njome se može kratkoročno (za naredni dan), predvideti koliki se priliv rudničkih voda u rudarske radove može očekivati, ukoliko budu registrovane veće količine padavina.

Za potrebe prognoze srednje nedeljnih priliva, korišćena je takođe višestruka linearna regresija i to u sledećem obliku:

$$Q_{priliv,j} = a + b_1 \cdot Q_{priliv,j-1} + b_2 \cdot P_{j-1} + b_3 \cdot T_{j-1} \quad (7)$$

gde su: Q_{priliv} - srednje nedeljni priliv voda u jamu rudnika „Štavalj“, j -te nedelje;
 P_{j-1} - nedeljne (sedmodnevne) sume padavina u $j-1$ -voj nedelji;
 T_{j-1} - srednje nedeljne temperature vazduha $j-1$ -toj nedelji;
 a , b_1 , b_2 i b_3 - bezdimenzionalni parametri koji se definišu primenom metode najmanjih kvadrata.

Sračunavanjem bezdimezionalnih parametra jednačina (7) dobija sledeći oblik:

$$Q_{priliv,j} = 27.798 + 0.5828 \cdot Q_{j-1} + 0.0041 \cdot P_{j-1} + 0.1171 \cdot T_{j-1} \quad (8)$$

Analiza uticaja prediktora (jednačina 8) na varijablu (srednje nedeljni priliv rudničkih voda), prikazan je u tabeli 31.

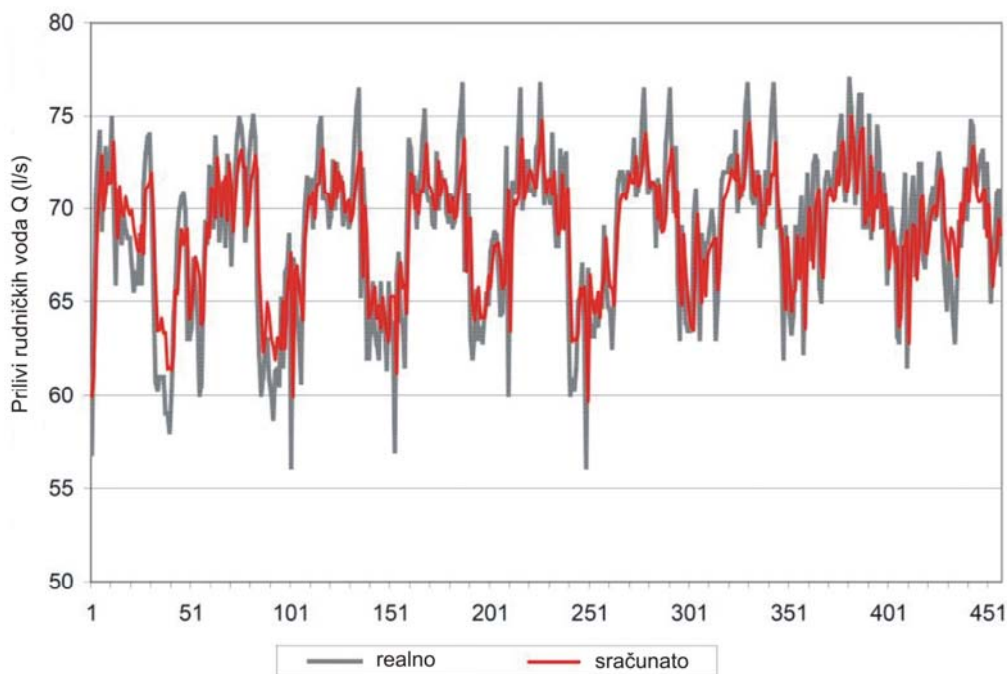
Tabela 31. Analiza uticaja prediktora (jednačina 8) na varijablu (srednje nedeljni priliv rudničkih voda)

Zavisna varijabla	Nezavisne varijable	Standardni koeficijent β	Standardna devijacija σ
Srednje nedeljni (7 dana) priliv rudničkih voda	srednje nedeljni ali vezan za prehodnu nedelju ($j-1$) priliv rudničkih voda	0.590	0.000
	sumarne padavine prethodne nedelje ($j-1$)	0.180	0.049
	srednje nedeljne temperature prethodne nedelje ($j-1$)	0.219	0.000

$F=179.1$; $\sigma=0.00$; $r=0.73$; $\sigma=0.00$; $R^2=0.54$

Regresionim modelom objašnjava se 54% varijanse zavisne promenljive ($R^2=0.54$). Koeficijent korelacije iznosi $r=0.73$; $\sigma=0.00$. Model je statistički značajan ($F=179.1$; $\sigma=0.00$). Srednje nedeljni priliv rudničkih voda vezan za prehodnu nedelju ($j-1$) ($\beta=0.590$; $\sigma=0.000$) i srednje nedeljne temperature prethodne nedelje ($\beta=0.219$; $\sigma=0.000$) utiču na srednje nedeljni priliv rudničkih voda. Statistička značajnost za obe varijable je na nivou 0.01. Takođe i sumarne padavine prethodne nedelje utiču na srednje nedeljni priliv rudničkih voda ($\beta=0.180$; $\sigma=0.049$). Ova značajnost je na samom pragu granične vrednosti statističke značajnosti (0,05), ali je prelazi i time je potvrđen uticaj.

Dijagram osmotrenih srednje nedeljnih priliva podzemnih voda u jamu rudnika „Štavalj“ i sračunatih korišćenjem jednačine (8), dat je na slici 183., za ceo period osmatranja.



Slika 183. Realne i sračunate vrednosti srednje nedeljnih priliva podzemnih voda u jamu rudnika „Štavalj“ korišćenjem višestruke linearne regresije (jednačina 8)

Korišćenjem jednačine (8), može se vršiti prognoza srednje nedeljnih priliva u rudniku „Štavalj“, odnosno može se kratkoročno (za period od 7 dana), predvideti koliko se može očekivati osrednjeni priliv rudničkih voda u rudarske radove, ukoliko budu registrovane veće količine padavina.

Primenjeni model višestruke regresije za potrebe simulacije dnevni vrednosti priliva rudničkih voda u jamu rudnika „Štavalj“ (jednačina 4 i 6) kao i statistička analiza uticaja prediktora na analiziranu varijablu (tabele 29 i 30.), ukazale su dakle da padavine, temperature i prilivi rudničkih voda registrovani prethodnih dana, imaju statističku opravdanost za formiranje predložene regresione jednačine. Statistički je međutim dokazano da prethodne padavine koje su registrovane 24, 56 i 84 dana nemaju statističku opravdanost da se koriste u razmatranim regresionim jednačinama (tabela 29 i 30.). U konkretnom slučaju, iz navedenih razloga, za potrebe simulacije dnevni vrednosti priliva rudničkih voda rudnika „Štavalj“, korišćena je sledeća regresiona zavisnost:

$$Q_{priliv,i} = a + b_1 \cdot Q_{priliv,i-1} + b_2 \cdot P_{i-1} + b_3 \cdot T_{i-1} \quad (9)$$

gde su: Q_{priliv} - srednje dnevni priliv voda u rudarske radove rudnika „Štavalj“,
i-tog dana i *i*-1;
P - dnevne sume padavina u *i*-1-tom danu;
T - srednje dnevne temperature vazduha *i*-1 dana;
a, *b*₁, *b*₂ i *b*₃ - bezdimenzionalni parametri koji se definišu primenom metode najmanjih kvadrata.

Sračunavanjem bezdimezionalnih parametra jednačina (9) dobija sledeći oblik:

$$Q_{priliv,i} = 6.20522 + 0.90681 \cdot Q_{priliv,i-1} + 0.00736 \cdot P_{i-1} + 0.02617 \cdot T_{i-1} \quad (10)$$

Analiza uticaja prediktora (jednačina 10) na varijablu (srednje dnevni priliv rudničkih voda), prikazana je u tabeli 32.

Tabela 32. Analiza uticaja prediktora (jednačina 10) na varijablu (srednje dnevni priliv rudničkih voda)

Zavisna varijabla	Nezavisne varijable	Standardni koeficijent β	Standardna devijacija σ
Priliv rudničkih voda u trenutku <i>i</i>	Priliv rudničkih voda u trenutku <i>i</i> -1	0.909	0.000
	Padavine u trenutku <i>i</i> -1	0.018	0.048
	temperature vazduha u trenutku <i>i</i> -1	0.047	0.000

$F=10615.4$; $\sigma=0.00$; $r=0.93$; $\sigma=0.00$; $R^2=0.86$

Regresionim modelom objašnjava se 86% varijanse zavisne promenljive ($R^2=0.86$). Koeficijent korelacije iznosi visokih $r=0.93$, $\sigma=0.00$. Model je statistički značajan ($F=10615.4$; $\sigma=0.00$). Priliv rudničkih voda u trenutku *i*-1 ($\beta=0.909$; $\sigma=0.000$), padavine u trenutku *i*-1 ($\beta=0.018$; $\sigma=0.048$) i temperature vazduha u trenutku *i* ($\beta=0.047$; $\sigma=0.000$) utiču na priliv rudničkih voda u trenutku *i* (tabela 32.)

Za određivanje veličina srednjih dnevnih priliva koji mogu biti očekivani u naredna dva, tri, četiri ... sedam dana, korelacije su bile uspostavljene kao u formuli 9., gde serija nezavisnih varijabli (padavine, temperatura i priliv voda)

reflektuje vremenski interval za koji su predviđanja data. Na primer, vremenski interval od dva dana je korišćen za nezavisne varijable da predvidi količinu dnevnog priliva koja je:

$$Q_{priliv,i} = a + b_1 \cdot Q_{priliv,i-2} + b_2 \cdot P_{i-2} + b_3 \cdot T_{i-2} \quad (11)$$

Isti princip je bio koriscen za uspostavljanje korelacija potrebnih za predviđanje srednjeg dnevnog priliva u rudarske radove u naredna 3, 4, 5, 6 i 7 dana. Bezdimenzionalni parametri su bili određeni korišćenjem predhodno opisanom procedurom. Koeficijenti korelacije između izmerenih i izračunatih nivoa dnevnih priliva su prikazani u tabeli 33.

Tabela 33. Koeficijenti korelacije između izmerenih i izračunatih dnevnih priliva rudničkih voda u rudarske radove za različite prognozirane vremenske intervale kao i analiza uticaja prediktora na varijablu (srednji dnevni prilivi)

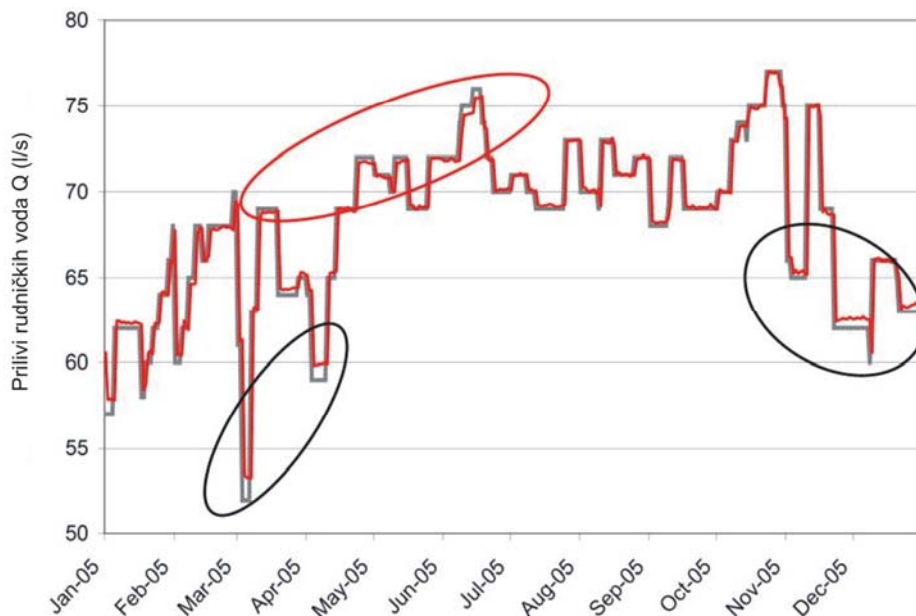
Vremenski period	1 dan	2 dana	3 dana	4 dana	5 dana	6 dana	7 dana
R ²	0.86	0.75	0.64	0.56	0.49	0.44	0.39
F	10615.4**	4851.9**	2943.7**	2085.3**	1590.4**	1262.2**	1046.7**
Koeficijent korelacije (r)	0.932**	0.867**	0.805**	0.753**	0.707**	0.665**	0.629**
Qi-n (β)	0.909**	0.819**	0.728**	0.645**	0.573**	0.505**	0.450**
Ti-n (β)	0.047**	0.091**	0.139**	0.185**	0.220**	0.251**	0.273**
Pi-n (β)	0.019*	0.025**	0.017*	0.014	0.012	0.011	/

*/ Statistička značajnost na nivou 0.05

**/ Statistička značajnost na nivou 0.01

Primenjena višestruka linearna regresija za potrebe simulacije i kratkoročne prognoze priliva rudničkih voda u rudniku uglja „Štavalj“ (od jednog do sedam dana), pokazala je dobre rezultate. Analize prikazane u tabeli 33., ukazuju da se za prognozu priliva rudničkih voda do 3 dana unapred, mogu koristiti prilivi rudničkih voda, padavine i temperature registrovane u vremenskom pomeraju od jednog, dva ili tri dana. Nakon trećeg dana padavine gube statistički značajnost tako da za potrebe simualcije priliva rudničkih voda za ove vremenske pomeraje (4, 5, 6 i 7.), mogu se koristiti samo prilivi rudničkih voda i temperature. Koeficijenti korelacije se kreću od 0,63 do 0,93 (jednačina 9 i 10 i tabela 33.). Zajednička karakteristika izvršenih simulacija i dobijenih prognoznih jednačina je u tome da su tokom zimskih meseci, sračunate

vrednosti najčešće veće od osmotrenih, dok je tokom letnjih meseci, situacija obrnuta (slika 184.).



Slika 184. Realne i sračunate vrednosti priliva podzemnih voda u rudniku „Štavalj“ korišćenjem višestruke linearne regresije (jednačina 10.) - 2005 godina

Uočene razlike su posledica snežnih padavina i temperaturnog režima, koji postoji u oblasti rudnika „Štavalj“ (nadmorska visina 1040 m). U ovoj oblasti, srednje višegodišnje temperature vazduha iznose 6,4°C (period 1960-2011. god.), a srednje mesečne temperature tokom decembra, januara i februara, skoro uvek su negativne. Za ovaj period, snežne padavine u primenjenom modelu, razmatrane su u vremenu kada su nastale, a ne od momenta kada je otpočelo njihovo topljenje i infiltracija vode u podzemlje.

Za period trajanja snežnog pokrivača tokom ledenih dana, sračunate vrednosti priliva su veće od izmerenih do 18 % (slika 184 - crni krugovi). U periodima kada dolazi do infiltracije vode usled topljenja snega, sračunate vrednosti priliva su manje do 15 % (slika 184.), u odnosu na izmerene vrednosti. Numerički, ove razlike su prikazane u tabeli 34.

Zbog nedostatka podataka, primenjenim modelom nije uzimana u obzir vremenska preraspodela padavina koje su dospеле u vidu snega i zadržale se na površini zemlje u vidu snežnog pokrivača.

U prilog iznetih konstatacija govore i jasne razlike u sezonskim prilivima voda u rudniku (slika 52.).

Tabela 34. Srednje mesečna kao i apsolutno maksimalna i minimalna mesečna odstupanja sračunatih vrednosti u odnosu na osmotrene prilive izražene u % sračunate za 2005 godinu korišćenjem jedančine 10

Mesec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Sr	-0.2	0.2	-0.8	0.0	0.1	0.2	0.0	-0.1	-0.3	0.5	-0.8	-0.4
Max	6.8	4.9	15.5	7.8	4.0	3.0	5.1	5.3	3.9	4.2	3.1	8.2
Min	-7.3	-12.9	-18.0	-9.0	-4.2	-2.7	-1.6	-4.2	-5.7	-1.4	-12.6	-4.1

Ove razlike su bile izraženije tokom najhladnijih godina, kao što su bile 2003, 2005 i 2008. godina.

U toku 2011. god., koja je zabeležena kao najtoplija godina, odnosno godina sa izuzetno malim padavinama u vidu snega, tako da tokom ove godine razlike između sezonskih priliva su skoro zanemarujuće, odnosno postoji ujednačen priliv podzemnih voda u rudniku „Štavalj“ tokom cele godine (slika 52).

h) Rudnik mrko-lignitskog uglja „Lubnica“

Eksploataciono polje „Osojno“-jug u ležištu uglja „Lubnica“, otvoreno je za eksploataciju takozvanim podinskim sistemom sa izradom transportnog niskopa GTN (slika 185.) i ventilacionog niskopa GVN.



Slika 185. Glavni transportni niskop GTN u jami rudnika "Lubnica"

Glavni transportni niskop GTN, počinje najpre potkopom GTP dužine 48,24 m i to sa k.246,10. U nastavku potkopa, izrađen je niskop na dužini oko 854,51 m i on se zavšava na k.61,0. Niskop je probijen kroz miocensku seriju, a jednim manjim delom i kroz sloj uglja i andezite paleoreljefa.

Glavni ventilacioni niskop GVN, počinje sa površine terena takođe potkopom sa k.251,20. Ukupna dužina niskopa 779,70 m i završava se na k.73.

U nastavku ovih rudarskih prostorija, urađene su i prostorije osnovne i otkopne pripreme, kao što su TU-1, VU-1, zatim transportni hodnik TH-1 i ventilacioni hodnik VH-1.

Na osnovu podataka istražnog bušenja i izvedenih rudarskih radova, u području eksploatacionog polja „Osojno“-jug, poslednjih 30 godina su registrovani prilivi rudničkih voda koji su se kretali do 2,15 l/s. Njihovo formiranje se vrši na račun dreniranja podzemnih voda iz slabovodonosnih sedimenata ugljonošne miocenske serije i na račun dreniranja rudničkih voda iz starih rudarskih radova („stare jame“).

Pukotinska izdan koja je formirana u pešćarima, laporovitim pešćarima i laporcima ugljonošne miocenske serije, uslovljava jako male prilive rudničkih voda u rudarske radove. Prilivi se javljaju u vidu manjih procurivanja i to prvenstveno u rudarskim prostorijama kojima su presečeni rasedima, kao što je slučaj sa hodnikom TH-1 na k.88,5 kao i na približnoj k.80 (slika 186.).

Manja procurivanja rudničkih voda koja se obično javljaju na samom čelu radilišta, odnosno iz ugljonošnog horizonta, najčešće ukazuju na blizinu reseda. Takvih slučajeva u praksi rudarenja u jami rudnika „Lubnica“ je često, a na ovom mestu se mogu spomenuti pojave priliva pri otkopavanju OH-4 (april 2011. god.) ili OH-8 (septembar 2012. god.).

U niskopu GTN, na oko 280 m od ulaza, postoje manja procurivanja i kapanja, a njihova pojava je vezana za kontakt stena ugljonošne miocenske serije i andezita paleoreljefa. Iz ovih andezita, prilivi u vidu kapanja se javljali i na čelu GTN (april 2011. god.), kada se niskop probijao kroz ove stene, radi spajanja sa transportnim hodnikom TH-1 (slika 186.).

U formiranju priliva u rudarske radove jame „Lubnica“, najznačajniji uticaj imaju ipak rudničke vode iz starih rudarskih radova tzv. „stare jame“ i pratećih zona njihovog zarušavanja. Pažnja odvodnjavanju starih rudova se ne posvećuje u jami, tako da oni predstavljaju mogući uzročnik priliva.

U cilju otkopavanja zaostalih rezervi uglja od ventilacionog hodnika VH-1 u pravcu starih rudarskih radova, bile su izrađeni otkopni niskopi ON-1 (sa k.73), ON-2 (sa k.69), ON-3 (sa k.67,5), zatim ON-4 (sa k.68) i ON-6. Kada se niskopom ON-1, prišlo starim radovima na k.60.5, došlo je 10.12.2008. godine

do prodora rudničkih voda koje su najpre potopile niskop ON-1 na dužini od 72 m, a potom i deo hodnika VH-1 do približno k.75 (slika 187.).



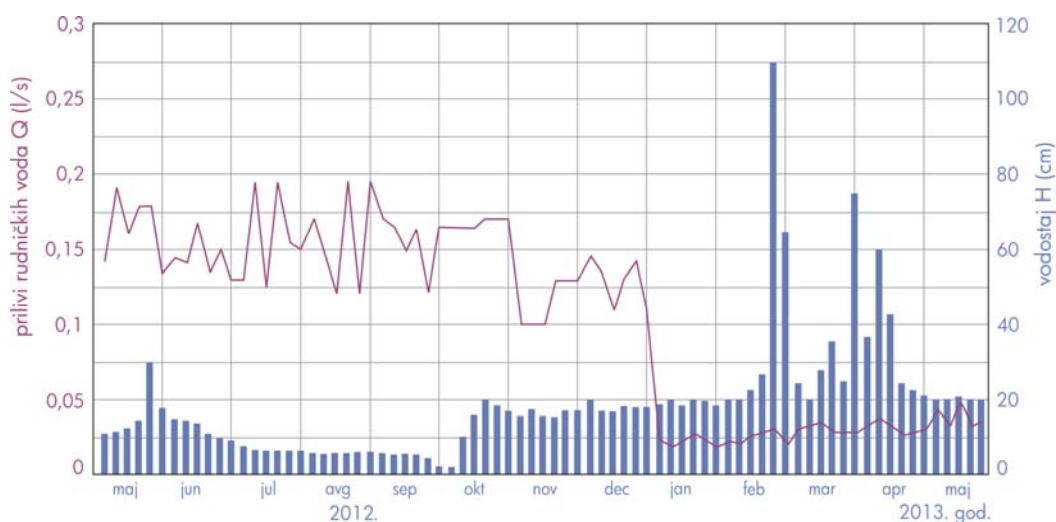
Slika 186. Lokacije pojave rudničkih voda u jami „Lubnica“
(podloga: plan jame Petrović 2009)
▼ - mesto pojave rudničkih voda



Slika 187. Plan dela jame rudnika „Lubnica“ u kome je došlo do potapanja rudarskih prostorija iznenadnim prilivima iz starih rudarskih radova 10.12.2008. god.
▼ - mesto pojave priliva rudničkih voda (foto B.Miladinović)

Tokom ovog iznenadnog priliva, isteklo je oko 550 m³ rudničkih voda iz starih rudarskih radova. Naknadnim odvodnjavanjem potopljenih rudarskih prostorija, radovi na crpenju su trajali još oko mesec dana i smatra se da je usled stalnog doticaja koji je postojao iz starih radova, bila ispumpana tri puta veća količina rudničkih voda u odnosu na prilive koji su u prvom trenutku potopili deo rudarskih prostorija. Nakon potapanja navedenog dela jame, prilivi rudničkih voda su se smanjili u proseku na 0,9 l/s.

U sadašnjim uslovima, prilivi rudničkih voda u jamu rudnika „Lubnica“, kreću se od 0,02 - 0,19 l/s. Ovi podaci su dobijeni na osnovu petodnevnih osmatranja priliva u periodu maj 2012. - maj 2013. godine (slika 188.).



Slika 188. Uporedni dijagram veličina priliva rudničkih voda u jamu rudnika „Lubnica“ i vodostaja Lubničke reke u naselju Lubnica - petodnevnna osmatranja (registrovali: I.Ramović - rudnik „Lubnica“ i B.Miladinović)

Prikazani prilivi, prikupljaju se u vodosabirniku koji je lociran u otkopnom niskopu ON-1 (k.68) i njihovo formiranje se vrši najvećim delom na račun doticaja rudničkih voda iz starih radova. Ovi podaci merenja ukazuju da je krajem decembra 2012. godine, došlo do izdreniranosti neposrednog prostora izvođenja rudarskih radova i da se u jami od januara 2013. godine, javljaju izuzetno mali prilivi rudničkih voda (slika 188.).

3.3. Vodoobilnost ležišta kamenih i mrkih ugljeva

Pod terminom vodoobilnost ležišta mineralnih sirovina uopšteno posmatrano, podrazumeva se količinska ocena o podzemnim vodama koje se mogu naći u jednom ležištu, odnosno koje se mogu javiti u rudarske radove pri određenom obimu otkopa mineralne sirovine (Filipović i Valjarević 1974). U tom smislu, ona prvenstveno zavisi od prirodnih uslova sredine u kojoj je formirano ležište, ali i od veštačkih uticaja koji mogu nastati tokom otvaranja ležišta, njegove razrade, pripreme ili tokom faze otkopavanja. Iz tog razloga, značaj poznavanja stepena vodoobilnosti ležišta, ogleda se u izvesnoj mogućnosti davanja ocene o stabilnosti hidrogeoloških uslova sredine tokom izvođenja rudarskih radova, odnosno davanju ocene o hidrogeološkim procesima koji se razvijaju tokom vremena, kao posledica poremećaja prirodnog režima podzemnih voda od rudarskih aktivnosti u okviru ležišta ili njegovog neposrednog oboda (Dragišić 2005).

Najčešće se za davanje ocene o opštoj vodoobilnosti ležišta, koristi *koeficijent vodoobilnosti (K)*, pod kojim se porazumeva odnos iscrpljene vode, prema količini iskopane rude:

$$K = \frac{Q}{R}$$

gde je:

K - koeficijent vodoobilnosti (m³/t);

Q - količina iscrpljene vode iz rudnika za određeno vreme (m³);

R - količina iskopane rude za isto vreme (t).

Za sagledavanje stepena vodoobilnosti ležišta kamenih i mrkih ugljeva koja se trenutno eksploatišu u Srbiji, korišćeni su podaci o količini otkopanog uglja i količini ispumpane vode iz rudnika za vremenski period od 2010. – 2012. godine i to kao prosečne trogodišnje vrednosti. Izuzetak u ovom pogledu, učinjen je za jamu „Strmosten“ i jamu „Bogovina“, jer je tokom 2010.-2011. godine, postojao relativno mali otkop uglja u ovim jamama i to iz tehničko-ekonomskih razloga i pripremnih radova na preusmeravanju otkopa iz drugih delova eksploatacionog polja. U ovim slučajevima, analizirani su samo podaci za 2012. godinu, kada je zabeležen porast proizvodnje ili postignuta uobičajena prosečna proizvodnja.

Podaci koji su korišćeni za proračun vodoobilnosti navedenih ležišta ugljeva, prikazani su u tabeli 33.

Tabela 33. Vrednosti koeficijenta vodoobilnosti (K) ležišta kamenih i mrkih ugljeva Srbije

Rudnik	Prosečne vrednosti za period 2010.-2012. god.		Koeficijent vodoobilnosti K (t/m ³)
	kol. otkopanog uglja R (t)	kol. iscrpljene vode Q (m ³)	
Vrška Čuka	6.967	40.996,8	6
Jaran do	60.100	343.742,4	6
Strmosten	57.260	192.369,6	3
Jelovac	58.520	340.588,8	6
Senjski Rudnik	37.106	220.752,0	6
Jasenovac	63.157	189.216,0	3
Bogovina	18.758	198.676,8	11
Lubnica	68.083	4.730,4	0,1
Soko	122.542	1.031.227,2	8
Štavalj	68.662	2.204.366,4	32

Prema klasifikaciji Sirovatka 1960, analizirana ležišta uglja na osnovu sračunatih vrednosti koeficijenta vodoobilnosti, pripadaju uglavnom II klasi, odnosno ležištima sa srednjom vodoobilnošću. Njihov prikaz je dat u tabeli 34.

Tabela 34. Klasifikacija ležišta kamenih i mrkih ugljeva Srbije prema koeficijentu vodoobilnosti po Sirovatku 1960 (razmatrani period 2010-2012. god.)

Koeficijent vodoobilnosti K (m ³ /t)				
Klasa	I klasa slaba vodoobilnost 0,5 - 2	II klasa srednja vodoobilnost 3 - 7	III klasa povećana vodoobilnost 8 - 25	IV klasa izuzetna vodoobilnost > 25
Rudnik		Vrška Čuka Jarando Strmosten Jelovac Senjski Rudnik Jasenovac	Bogovina Soko	Štavalj

Ležište uglja „Lubnica“ ima jako nisku vrednost koeficijenta vodoobilnosti $K \cong 0,1 \text{ m}^3/\text{t}$, tako da po navedenoj klasifikaciji, ne pripada ni

jednoj od izdvojenih klasa. Na osnovu toga, ležište uglja „Lubnica“ karakteriše beznačajna vodoobilnost.

Povećanu vodoobilnost - III klasu, ima ležište „Soko“ i ona je uslovljena od 2006. godine. Zapravo, od tada su počele da se izrađuju rudarske prostorije kroz ovodnjene krečnjake Device.

Klasifikacija ležišta uglja „Bogovina“ u *III klasu (povećana vodoobilnost)*, nije ovom analizom dobijeno realno stanje, jer se rudnik „Bogovina“, suočava poslednjih godina sa jako malom proizvodnjom, dok su prilivi rudničkih voda već duži ni godina relativno ujednačeni.

Ležište uglja „Štavalj“ ima *izuzetnu vodoobilnost - IV klasu* i ona je izražena od samog otvaranjaovog ležišta za eksploataciju, usled prisustva ovodnjenih rasednih struktura, koje presecaju ležište.

Sa prikazanim stepenom vodoobilnosti ležišta kamenih i mrkih ugljeva, uočava se da je ova količinska ocena ovodnjenosti ležišta, prvenstveno posledica tri najizraženija faktora i to:

- a) prirodnih uslova sredine,
- b) rudarskih uslova;
- c) tehničko-ekonomskih uslova poslovanja rudnika.

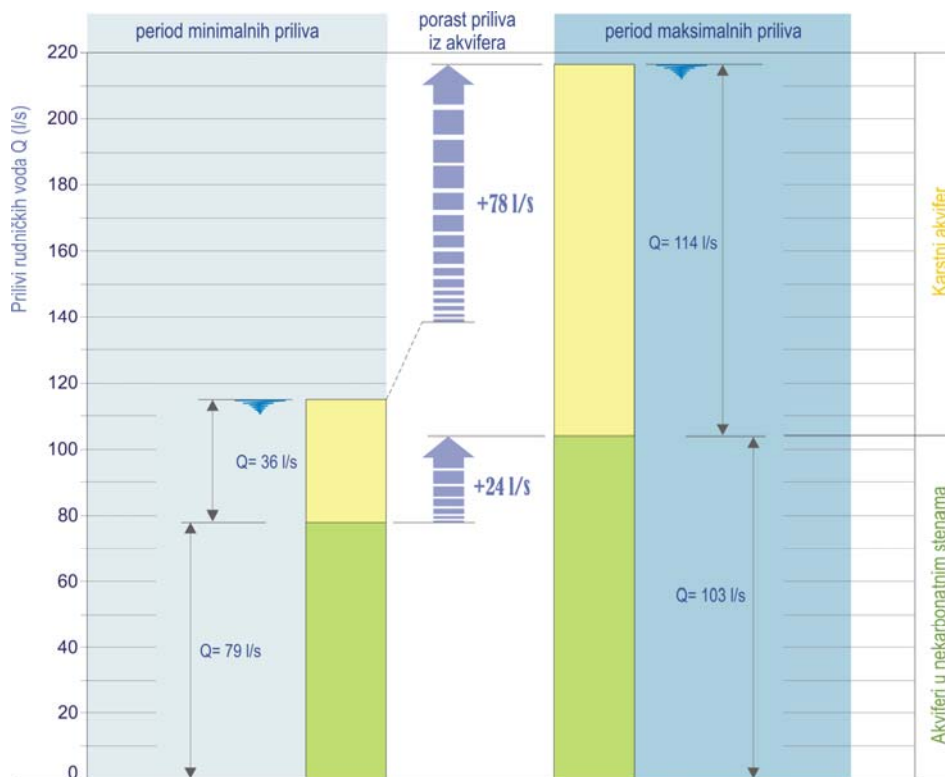
a) Prirodni uslovi sredine su svakako najznačajniji faktori vodoobilnosti ležišta kamenih i mrkih ugljeva Srbije. Pored uticaja klimatskih, hidrografskih, hidroloških, geomorfoloških, geoloških, tektonskih faktora, posebni značaj ima hidrogeološka funkcija litološke sredine u kojoj je formirano ležište uglja, kao i stena u neposrednom kontaktu. Posebno se ističe u tom pogledu prisustvo jako vodonosne karstne hidrogeološke strukture, koja se sreće kako u neposrednoj podini, tako i u neposrednoj povlati ležišta uglja.

Izvršenom analizom veličine priliva rudničkih voda u rudarske radove, uočeno je da se doticaji podzemnih voda iz karstnog akvifera, različito manifestuju i da u strukturi ukupnih priliva nemaju uvek podjednaki udeo.

U razmatranom periodu 2010-2012. godina, odnos između konstatovanih minimalnih i maksimalnih priliva (kao ukupni prilivi u rudarske radove), bio je u približnom odnosu 1 : 2 (slika 189.).

U periodima minimalnih priliva koji su iznosili zbirno za sve rudnike uglja oko 115 l/s, udeo od 2/3 ili 79 l/s, činile su podzemnih voda koje su

drenirale akviferi sa pukotinskom i intergranularnom poroznošću. Preostalu 1/3 ili 36 l/s su činile podzemne vode iz karstnog akvifera (slika 189.).



Slika 189. Uporedni dijagram minimalnih i maksimalnih priliva rudničkih voda iz karstnog akvifera i akvifera u nekarbonatnim stenama koji se javljaju u rudnicima kamenih i mrkih ugljeva Srbije (razmat. period 2010-2012. god.)

U istom razmatranom periodu, maksimalni zabeleženi prilivi kao zbirni za sve rudnike uglja, iznosili su 217 l/s. Struktura priliva je međutim tada bila sasvim drugačija. Prilivi iz karstnog akvifera su bili uvećani tri puta u odnosu na period minimalnih priliva, odnosno iznosili su 78 l/s, a iz nekarbonatnih stena je uvećanje iznosilo 24 l/s (slika 189.). U tom periodu, najizraženiji prilivi su bili dakle iz karstnog akvifera i time su predstavljali najveću opasnost za rudarske radove, jer su obično nagli i obimni. Zato zapremina vodosabirnika u jami „Soko“, „Jasenovac“ i jamama „Rembasa“, mora biti uvek adekvatna za njihov neposredni prijem, a instalisani kapacitet pumpnog sistema, dovoljan za uspešno ispumpavanje na površinu terena.

Posebnu opasnost tokom izvođenja rudarskih radova, čine međutim iznenadni prilivi podzemnih voda iz karstnog akvifera. U dosadašnjoj praksi, ovi prilivi su najčešće izazivali potapanje rudarskih prostorija ili su uslovljavali

obimne prilive u dužem vremenskom periodu. Takva okolnost se trenutno sreće u rudniku „Soko“, koji se nakon višedecenijskog perioda sa relativno malim prilivima iz pukotinske i intergranularne sredine, sada suočava sa prilivima podzemnih voda iz karstne izdani u količini od oko 30 l/s.

U dosadašnjoj praksi se pokazalo takođe da i ovodnjene rasedne strukture u okviru nekarbonatnih stena, mogu imati jako značajan uticaj na ovodnjenost ležišta. U tom pogledu se mogu navesti dva primera. Prvi se odnosi na jami „Jarando“ u kojoj su iznenadni prilivi do 1100 l/s, uslovlili najveće potapanje rudnika uglja do sada u Srbiji.

Kao drugi slučaj je ležište uglja koje je trenutno sa najvećom vodoobilnošću, a radi se ležištu „Štavalj“, gde priliva iz rasednih struktura u laporcima, iznose u proseku 69 l/s.

b) Rudarski uslovi se ispoljavaju kroz brojne uticaje, pod kojima se podrazumevaju sve one rudarske aktivnosti kojima se remete prirodni uslovi ležišta i na taj način podspešuje vodoobilnost. U tom smislu se ističe najčešće otvaranje ležišta za eksploataciju kroz jako ovodnjene stene paleoreljefa ili izrada rudarskih prostorija kroz ovodnjene sredine povlate ležišta, kao i podspešivanje ovodnjenosti starih rudarskih radova.

Sam projektovani načina otvaranja ležišta uglja za eksploataciju, pokazalo se u praksi da ima jako važnu ulogu u veličini priliva rudničkih voda koje će se javiti u rudarske prostorije. Najbolji primer ovome pruža slučaj sa ležištem uglja „Strmosten“, koje je otvoreno najpre izradom rudarskog okna (SIO-1), a potom i niskopa GN-1, kroz krečnjake paleorelefa ugljonosne serije (slika 138.). Time su uslovljeni najznačajniji prilivi (povremeno i do 30 l/s), koji se javljaju u ovoj jami.

Sličan je i slučaj sa zapadnim poljem rudnika „Soko“, gde su takođe kroz podinske krečnjake ugljonosne serije, urađena dva niskopa GTN-1 i GTN-2, čime su izazvani značajniji prilivi rudničkih voda.

Za razliku od ova dva navedena slučaja, mogu se navesti primeri otvaranja ležišta uglja „Lubnica“ ili ležišta „Bogovina“-istočno polje, gde su niskopi trasirani kroz slabovodnosne tvorevine ugljonosne serije.

U jami, veoma često se zbog bolje nosivosti i lakših tehničkih rešenja otkopavanja uglja iz ležišta, izrađuju transportne („kapitalne“) rudarske prostorije kroz podinske krečnjake ili neke druge vodonosne sredine. Prilivi koji se time stvaraju, često dovode do potapanja deja jame i iziskuju promenu

projektnih rešenja pri daljem otkopu uglja. Takvi slučajevi su zabeleženi u jami „Jelovac“ (potopljeni niskop GTN-1), zatim u jami „Senjski Rudnik“ (potopljeni niskop N-9), ili u jami „Soko“ (prilivi koji su se javili pod pritiskom kod pregradne komore u TN-12).

Briga o ovodnjenosti starih rudarskih radova, u našoj praksi se jako malo poklanja pažnja. Njihovo odvodnjavanje se najčešće ne vrši, tako da u pojedinim etapama otkopa uglja iz ležišta, ovo uslovljava iznenadne prilive i zaustavlja eksploataciju. Kao karakterističan se može spomenuti rudnik „Soko“, gde je usled izrade vodosabirnika kod izvoznog okna (k.170) i to u slabovododrživom sloju uglja, direktno uslovljena ovodnjenost starih rudarskih radova. To se kasnije odražavalo na povišene prilive rudničkih voda u aktivne rudarske radove koji su se odvijali u najdubljem delu jame.

Primer iz jame rudnika „Vrška Čuka“, ukazuje da stari rudarski radovi predstavljaju najznačajniji vid ovodnjenosti ovog ležišta. Bez obzira na ovu činjenicu, deo rudničkih voda iz viših delova jame, sprovode se do hipsometrijski nižih etaža i tu puštaju u stare rudarske prostorije. Sve to kasnije ima reperkusije pri otkopu uglja, jer ovo ležište u tektonskom pogledu karakteriše izražena „parketna“ strukturu.

Sličnih slučajeva ima i u drugim jamama ležišta uglja, ali sve ih zajedno karakteriše, hidrogeološki nepovoljni način otkop uglja sa zarušavanjem povlate. Ovim načinom, dodatno se stvaraju povoljnosti za veću ovodnjenost starih rudarskih radova.

c) Tehničko-ekonomski uslovi poslovanja rudnika, imaju ne manji značaj u odnosu na predhodno dva navedena uslova. Ispoljavaju se utome da veoma često rudnici ne raspolažu sa dovoljno ljetstva i savremenom tehnikom za masovniju eksploataciju uglja. Problemi sa nabavkom osnovnog repromaterijala, rezervnih delova, podgrade, zaštitnih sredstava, obezbeđenje standarda za bezbedan rad u jami, jamski požari, iznenadni prilivi rudničkih voda, povrede na radu, nedovoljan broj zaposlenih kopača u jami, nedovoljna istraženost ležišta za preusmerenje otkopa uglja u drugim revirima i brojni drugi problemi, predstavljaju samo deo poteškoća, koji utiču na smanjenu proizvodnju uglja. Ako se pri tome prilivi rudničkih voda relativno ujednačeni, kao u slučaju rudnika „Bogovina“ i nisu u većoj meri vezani za neposredni otkop uglja, onda se dobijaju visoki koeficijenti vodoobilnosti ležišta, odnosno povišeni troškovi koji opterećuju svaku tonu otkopanog uglja.

3.4. Hemijski sastav rudničkih voda rudnika kamenih i mrkih ugljeva i uslovi njihovog formiranja

Važnost poznavanja hemijskog sastava i osobina petroloških komponenata uglja, ima veliki značaj za sagledavanja specifičnosti formiranja hemijskog sastava i to ne samo rudnih voda, koje su vezane neposredno za sam sloj uglja i ugljonosni horizont, nego i za rudničke vode koje se javljaju tokom eksploatacije uglja u rudarskim prostorijama iz okolne litološke sredine.

Za razliku od stena podine i povlate, sastav uglja se delimično menja sa vremenom usled karbonizacije i to zavisno od stadijuma biohemijskih procesa razlaganja biljne materije, geohemijskih procesa metamorfizacije ugljeva i drugih okolnosti i uzročnika. Iz tog razloga, na ovom mestu biće izneti u najkraćim crtama osnove ovih procesa, kako bi se što potpunije prikazale specifičnosti hidrohemijskog sastava rudnih i rudničkih voda analiziranih ležišta uglja.

Biohemijski procesi razlaganja biljne materije su jako složeni i zavise od brojnih uzroka, a neki od njih su: vrsta deponovanog biljnog materijala, hemijski sastav početnog biljnog materijala i uslovi njegovog nagomilanja, zatim vrste zastupljenih mikroorganizama u sredini (bakterija, gljiva), specifičnost uslova aeracije, hemijski karakter sredine (pH faktor) i dr. (Pantić i Nikolić 1973).

Istraživanjima je takođe utvrđeno da u slučajnim uslovima sredine, biohemijski procesi razlaganja biljne materije u bitnome zavise od prisutne vrste bakterija. Utvrđeno je da vrsta *Penicillium*, uslovljava lako razlaganje ugljovodonika, delimično razlaganje lignina i nepotpuno razlaganje celuloze, dok vrsta bakterije *Merulus*, uslovljavaju istovetno razlaganje celuloze i ugljovodonika, ali neznatno razlaganje lignina.

Po Scheinneideru 1958 (preuzeto od Pantić i Nikolić 1973), mikroorganizmi prisutni u tresetu, sapropelu i slojevima uglja, mogu se razvijati kao pri vrlo visokim, tako i pri vrlo niskim temperaturama. Posebne vrste bakterija iz „*fluorescentne grupe*“ koje su otporne na pritisak, vrše na većim dubinama razlaganje lignina, hitina i druge teško razložne materije. Sve to ukazuje dakle da ne postoji jasna granica kada zastaju biohemijski i počinju geohemijski procesi. Nakon formiranja naslaga u povlati biljne materije, kada se stvaraju prvi uslovi za početak delovanja geohemijskih procesa, to ne znači da se time zaustavljaju biohemijski procesi, jer po Černousovu 1962, oni ponekad

traju još dosta dugo. Istraživanja su pokazala međutim da se biohemijska karbonizacija ugljeva (dakle bez delovanja pritiska i temperature), završava na izvesnom stadijumu mrkih ugljeva.

Uzevši u celini, biohemijsko razlaganje biljne materije je jako složeno, jer ne samo da zavisi od hemijske prirode materije koja obrazuje humusne kiseline, već i od uslova u kojima dolazi do biohemijskog razlaganja i naknadne sinteze novih humusnih materija. Razlaganje biljne materije se odvija kroz procese *truljenja, humifikacije, tresetizacije, sapropelizacije* i oni mogu dovesti do njenog potpunog razlaganja u gasove i mineralne soli (proces truljenja biljne materije) ili u određenim uslovima, mogu dovesti i do nastanka nove materije, koja predstavlja osnovnu građu za kasnije formiranje ugljeva.

Geohemijski procesi uslovljavaju metamorfizam ugljeva, a on zavisi najpre od same matične materije, ali i od geoloških agenasa, a to su pritisak i temperatura, kao i od vremena delovanja procesa (geološkog vremena).

Matična materija, odnosno priroda fosilnog biljnog materijala od koga ugalj nastaje i biohemijski procesi koji su u prvom redu menjali ovu biljnu materiju putem razlaganja, predstavlja svakako jako važan faktor u geohemijskom procesu karbonizacije uglja (Žemčužnikov 1948, Kravcov i Trofimov 1977), bez obzira što su izvesni istraživači smatrali da svojstva uglja zavise prvenstveno od stepena metamorfizma i da matični materijal, ima značaja samo do momenta njegovog prekrivanja naslagama povlate.

Temperatura je jako važan geološki agens koji se različito ispoljava pri metamorfizmu uglja. Najčešće se javlja kao rezultat dejstva visoke temperature intruzivnih tela na ugalj i to tokom dužeg vremena. Mnogo manje i ograničeno temperaturno dejstvo na metamorfizam uglja, imaju žične stene i hidrotermalni procesi.

Uticaj intruziva na metamorfizam ugljeva u Srbiji, posebno se odrazio na primeru kamenih ugljeva u ibarskom basenu (Pantić i Podgajni 1964), kao i na neujednačenu karbonizaciju gornjekrednih ugljeva u timočkoj eruptivnoj oblasti u istočnoj Srbiji, kao što su ležišta: „Rtanj“, „Vlaško Polje“, „Dobra Sreća“, „Podvis“ (Nikolić 1965).

Pritisaci kao geološki agens, bilo da su nastali dejstvom bočnih pritisaka kao posledica ubiranja ili pod pritiskom koji nastaju od opterećenja povlatnih naslaga, kod ugljeva mogu izazvati hemijske i strukturne promene. Bez obzira na poreklo, pritisci izazivaju trenje između čestica, a to dovodi do povećanja

temperature koja u određenom trenutku može izazvati hemijske promene u uglju.

Strukturne promene se odnose na smanjenju poroznosti uglja. Po Georgijevu 1954 (preuzeto od Pantić i Nikolić 1973), usled procesa sabijanja ugljeva, od ukupne količine početne ogranske materije, oстане korisne ugljene materije od oko 38%, a ostalo nestane kao voda i gasovi.

Geološko vreme ima izuzetno veliki značaj u procesu metamorfisanja ugljeva, ali samo uz delovanje geohemijskih faktora, odnosno veoma dugom izlaganju ugljene mase visokim pritisku i temperaturi (Đorđević 1965).

Novim istraživanjima su dovedene u pitanje ranije teorije o postanku ugljeva. U više svetskih laboratorija je poslednjih godina otkriven postupak kako može za relativno kratko vreme da nastane uglja, koji ne zahteva veliki pritisak, ali za koji je potrebna visoka temperatura. Zapravo zagrevanjem lignina (supstanca koja povezuje biljne ćelije) sa monmorilonitom i ilitom (vrstom gline) na 165°C bez prisustva kiseonika u trajanju od dve nedelje do godinu dana, dobija se smeša ugljeva (Argon nacionalna laboratorija SAD). Gline su potrebne kao katalizator da bi se reakcija brzo odvijala i one se sreću danas u svim ležištima uglja. Dužim zagrevanjem se dobija ugalj veće kalorične vrednosti.

Bez obzira na način nastanka uglja, sprovedena hidrohemijska ispitivanja rudnih voda iz ležišta uglja i rudničkih voda koje se javljaju u rudarskim radovima, ukazala su da na formiranje njihovog hemijskog sastava pored metamorfizacije uglja, uticaj imaju i hemijsko raspadanje ugljeva, fizičko-hemijske promene, mineralni primesi i dr. Iz tog razloga, pored prikaza osnovnog hemijskog sastava uglja u daljem delu teksta biće iznete i osnovni podaci o ovim procesima.

3.4.1. Osnovni hemijski sastav ugljeva

Ugalj po spoljnjem izgledu daje utisak da se radi o jednoj homogenoj masi, ali on je jako složena materija koja je izgrađena od više komponenata sa veoma različitim svojstvima. Ugljena materija dakle ima složenu građu, koja je u osnovi sačinjena od smeše *organskih* i *mineralnih materija* (Dimitrijević i Nikolić 1980).

Organska materija predstavlja sagorljivi deo koji se sastoji od fiksnog ugljenika i isparljivih materija koje žarenjem na 875°C (± 10), napuštaju ugalj.

Dakle, tokom žarenja, jedan deo materije isparava u vidu pare i gasova, a jedan deo ostaje kao koks koji se sastoji od fiksnog ugljenika (C-fix) i jednog dela pepela (Kravcov i Trofimov 1977). Sadržaj fiksnog ugljenika u istraživanim kamenim i mrkim ugljevima Srbije, prikazan je u tabeli 2.

Mineralne materije čine nesagorivi deo ili *balast* u uglju. To su materije koje se pri sagorevanju javljaju kao ostatak (pepeo) i deo ukupne vlage.

U pogledu hemijskog sastava uglja, organska materija se sastoji od: ugljenika (C), vodonika (H), kiseonika (O), azota (N), sumpora (S), fosfora (P).

Ugljenik (C) čini najznačajniji deo organske mase koji ulazi u sastav uglja i glavni je nosilac toplotne moći uglja. Njegova količina u uglju je zavisna od stepena karbonizacije uglja, tako da ga u humusnim mrkim ugljevima ima od 50-75 %, u kamenim ugljevima od 75-90 %, a u antracitima od 90-97 % (Đorđević 1965).

Vodonik (H) ima pri sagorevanju 4,2 puta veći toplotni efekat od ugljenika, međutim kako se u uglju nalazi najčešće u vezanom stanju sa kiseonikom, pri sagorevanju ne samo da se ne oslobodja korisna toplota, već se ona i troši na isparavanju nastale vode. Sa porastom stepena karbonizacije, količina vodonika u uglju opada, tako da ga u antracitima obično ima do 1 %.

Kiseonik (O) snižava toplotnu moć uglju. U nekim mrkim ugljevi ga ima i do 30 %, a u antracitima oko 1-2 %.

Azot (N) kao i kiseonik smanjuje toplotnu vrednost uglju, a njegovo prisustvo je obično u malim količinama od 1,3-3 %.

Sumpor (S) u uglju smanjuje njegovu vrednost kao energentsko gorivo, a naročito kod izrade metalurškog koksa, jer ako vodi poreklo od *sulfata* (gipsa i drugih sulfata u uglju), onda je sumpor vezan, pa iz koksa prelazi u sirovo gvožđe. Pored ovoga, poreklo sumpora u uglju može biti i *organsko* kada potiče iz protoplazme biljnih ćelija ili *sulfidno* od pirita, markazita i dr. minerala u uglju. Pri sagorevanju uglja sa navedenim vrstama sumpora, dolazi do njegovog vezivanja sa kiseonikom, pa na ta način nastaje štetni sumpor-dioksid (SO₂). Sadržaj sumpora u uglju se sreće obično od 0,5-6 %.

Fosfor (P) je takođe štetan u uglju, a pogotovo kada se koristi za izradu metalurškog koksa. Ipak, u uglju ga ima obično u malim sadržajima, a pri sagorevanju uglju, fosfor ostaje u pepelu.

Prema dominantnoj grupi mikrokomponentata u uglju, izdvajaju se određeni petrogentski tipovi humusnih ugljeva, sa razlikama koje su izraženije

u koliko se ugalj nalazi na nižem stepenu karbonizacije. U koliko humusne ugljeve karakteriše visoki stepen karbonizacije, odnosno metamorfizma kao što je to slučaj su antracitima, onda bez obzira na litopit od koga vode poreklo, ugljevi imaju veoma slične fizičke osobine i hemijski sastav i tako postaju sve sličniji i gube svoju osebenost koju su pre toga imali. Tako po Žemčužnjikovu i Ginzburgu 1960, razlikuju se sledeći petrogentski tipovi humusnih ugljeva:

- ugljevi u kojima preovlađuju fuzenirane mikrokomponente (karakteriše ih nisak sadržaj volatila, veća količina koksa u obliku praha, visoki sadržak ugljenika i mali sadržaj vodonika, kiseonika i azota);
- ugljevi u kojima preovlađuju gelificirane mikrokomponente (karakteriše ih veći sadržaj volatila od tipova uglja sa mnogo fizioniziranim mikrokomponentama, manja količina koksa, manji procenat ugljenika, a nešto veća količina vodonika, kiseonika i azota);
- ugljevi u kojima preovlađuju kutikuliske i smolne mikrokomponente (karakteriše ih najveći sadržaj volatila, a na stadijumu mrkih ugljeva, sadrže malo humisnih kiselina);

Pod terminom *volatili*, podrazumevaju se gasoviti produkti (razni ugljovodonici i nešto od CO i CO₂), koji nastaju tokom razlaganja organskog dela ugljene mase kada se ona izloži na dosta visokoj temperaturi bez prisustva vazduha. Mala količina volatila, ukazuje da je ugalj višeg stepena karbonizacije.

Kod ugljeva koji se na ovom mestu analiziraju, antracit „Vrške Čuke“ ima najmanji procenat volatila od 4,5-10,5%, a mrki ugljevi „Senjskog Rudnika“, „Bogovine“ i dr., oko 40 - 50%.

Usled odmaklog procesa karbonizacije, u mrkim ugljevima se javljaju i neke nove materije, odnosno amorfnе, tamne, neutralne materije (humini, humusni materijal i humusni ugalj), koje su nastale preobražajem huminskih kiselina. Kod kamenih ugljeva koje karakteriše najviši stepen karbonizacije, humusnih kiselina nema, jer su se one već sasvim pretvorile u humusne materije.

U hemijskom sastavu različitih vrsta mrkih uglja, jasno se uočava po Markusonu (preuzeto od Pantić i Nikolić 1973), da sa napredovanjem procesa karbonizacije, raste sadržaj bitumije, ali opada sadržaj celuloze, lignina. Bitumen je složena materija sastavljena od velikog broja različitih ugljovodonika, voskova, voskovih kiselina i dr.

3.4.2. Mineralni primesi u uglju

Mineralni primesi u uglju se mogu naći kao mehanički primesi i kao metazomatske zamene organske materije sa nekom mineralnom materijom. U uglju se pojavljuju najčešće u obliku kristala, konkrecija ili disperzno razbacanih čestica, impregnacija i drugih oblika.

Prema vremenu postanka mogu biti *singentski*, kada nastaju uporedo sa egzistovanjem vegetacije ili u najranijim fazama dijageneze treseta, kao i *epigenetski* koji nastaju izlučivanjem mineralne materije u prslinama ugljenog sloja, nakon njegovog metamorfisanja (Đorđević 1965).

Singentski mineralni primesi, predstavljeni su obično terigenim mineralima kao što je kvarc, liskun, glina ili mineralnim tvorevinama u obliku konkrecija koje mogu biti: opalske, piritske, markazitske, limonitske, sideritske, krečnjačke, dolomitsko-ankeritske i druge. U njima se često nalaze mineralizovani fragmenti biljaka ili zrna terigenih minerala, koji su poslužili kao kristalizacioni centri, oko kojih se vršilo obaranje mineralne materije.

Epigenetski mineralni umeci se pojavljuju u uglju najčešće u obliku tankih prevlaka, ali i u obliku sekrecija, tankih žilica ili pukotinskih ispuna. Obično se tako javljaju pojave pirit, kalcita, kaolinita, hidrotermalnog kvarca (slika 190.).



Slika 190. Žica hidrotermalnog kvarca debljine 1 cm u sloju kamenog uglja ležišta „Progorelica“-Ibarski basen (foto B.Miladinović)

U uglju je do sada pronadjeno preko 30 vrsta mineralnih materija koje pripadaju grupama: samorodnih elemenata, sulfida, hidroksida, karbonata, sulfata i alumosilikata (Đorđević 1965).

Od samorodnih elemenata, u uglju se najčešće pojavljuje sumpor. Javlja se u obliku tankih prevlaka u prslinama u oksidacionoj sredini uglja, gde je izlučen iz gipsanog rastvora, pomoću određenih vrsta bakterija.

Od sulfidnih minerala, u uglju se obično sreću pirit (FeS_2) i markazit (FeS_2), a ređe halkopirit ($CuFeS_2$) i galenit (PbS). Prisustvo sulfida gvožđa, a posebno pirita u uglju se obično vezuje za redukciju sulfata pomoću organske materije.

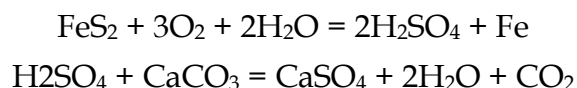
Minerali iz oksidne i hidroksidne grupe, predstavljeni su obično u uglju kvarcom, kalcedonom, limonitom i ređe hematitom. U ugljevima višeg stepena metamorfizma, kao što su antraciri i posni kameni ugljevi, kvarc se javlja u vidu tankih žilica i tada je hidrotermalnog porekla.

Konkrecije limonita kada se nađu u sloju uglju koji je u oksidacionoj zoni, obično predstavljaju metamorfisane konkrecije pirita ili sferosiderita (Đorđević 1965).

Pored do sada navedenih, u uglju se mogu naći i brojni drugi minerali kao kalcit, aragonit, siderit, dolomit, a naročito ankerit (dolomit sa gvožđem).

Od minerala silikatne i alumosilikatne grupe, u uglju se sreću liskuni i gline i to iz grupe kaolinita.

Od sulfata, u uglju se najčešće javlja gips ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$). Razlaganjem pirita u prisustvu $CaCO_2$, gips se javlja u zajednici sa kalcitom i anhidritom, a ovo razlaganje se odvija po reakciji:



U tabeli 35., prikazan je način grupisanja prirodnih mineralnih primesa u uglju.

3.4.3. Hemijsko raspadanje ugljeva

Do hemijskog raspadanja ugljeva dolazi usled apsorpcije kiseonika iz vazduha ili vode od strane ugljene materije, čime se prouzrokuju fizičke i hemijske promene u uglju. Ovim procesom oksidacije ili vetrenjem uglja kako se još sreće termin u literaturi za ovu pojavu, zapravo apsorbovani kiseonik, stupa u reakciju sa ugljenikom i vodonikom u ugljenoj materiji, vrši njihovu oksidaciju i pretvara ih u CO_2 , CO i H_2O . Kako se sa vremenom, proces

oksidacije sve burnije razvija, oslobođena toplota pritom može biti toliko velika, da u određenom trenutku uslovi samozapaljenje uglja.

Tabela 35. Prikaz načina postanka, sastava i pojavljivanja mineralnih primesa u uglju (Pantić i Nikolić 1973)

mineralne materije		sastav primesa (orjentaciono)	način pojavljivanja i raspored u uglju
vreme stvaranja	način obrazovanja		
Singenetsko	<i>Mehanički:</i> klastične (izdobljena) eroziono-akumulativne	odlomci stena, minerali naneti u tresetište iz oblasti denudacije	krupni proslojci, sočiva i dr.
	<i>hemijski:</i> 1- dospela u ugalj iz vode tresetišta 2- iz substrata putem životne delatnosti biljaka	Kvarc, sulfidi, karbonati, sulfati itd. P, S, Mn, K, Ca, i dr.	proslojci, sočiva i primese fine primese - ne uočavaju se pod mikroskopom
Epigenetsko	<i>Mehanički:</i> premešanjem u ugalj iz bočnih sedimenata usled tektonskih poremećaja.	odlomci stena izmešani sa ugljem	komadi različite veličine
	premešanjem u ugalj podzemnim vodama kroz prsline i pukotine	sitnodisperzna glinovita materija	ispunjavaju pukotine
	<i>Hemijski:</i> izdvajanjem iz vodenih rastvora po prslinama i pukotinama u uglju	sulfidi, karbonati, sulfati, oksidi, gvoždja	ispunjavaju pukotine

Procesu oksidacije su podložne sve vrste ugljeva, ali prednjače humusni ugljevi (posebno vitrenski litotipovi), u odnosu na liptobiolite, a naročito od sapropelite. Niže metamorfisani ugaljevi su podložniji oksidaciji. Treset se raspada na izolovane, nepovezane biljne fragmente. Mrko-lignitski ugljevi se razlažu na odvojene slojeve i to po nekadašnjim godovima, a tvrdi mrki ugljevi se pretvaraju u zemljastu masu i ako su nešto otporniji.

Pored samog ugljeva, fizičko-hemijskih promena podležu i mineralni primesi u uglju. Ove promene u uglju, mogu imati odraza i na hemijski sastav rudnih voda, pa im se zato na ovom mestu posvećuje adekvatna pažnja.

3.4.3.1. Uticaj oksidacije na fizičko-hemijske promene ugljeva

Procesom oksidacije se gube gotovo sva korisna svojstva ugljene supstance, a i sam ugljeni sloj se menja u celosti. Debljina mu se smanjuje 8 do 10 puta (Pantić i Nikolić 1973), a na samom izdanku, ugalj se pretvara u prašinstu ili zemljastu materiju. U pogledu fizičkih osobina, ugalj pri oksidaciji menja boju i to usled obrazovanja huminskih kiselina, koje mu daju mrku boju.

Tako tamnomrka i mrkocrna boja mrkih ugljeva, menja se u mrku, a crna boja kamenih ugljeva, prelazi u tamnomrku ili mrku (slika 191.).



Slika 191. Izgled oksidisanog kamenog uglja iz ležišta „Jarando“ u ibarskom basenu (foto B.Miladinović)

Sjaj i kompaktnost se smanjuju pri oksidaciji, a struktura uglja postaje zrnasta ili zemljasta. Intenzivnom oksidacijom, ugljevi prelaze u prašinu nalik na gar.

U površinskoj zoni oksidacije, uništavanjem organske mase, povećava se vlažnost uglja preko 20 puta, pepela do 15 puta, a volatila u kamenim ugljevima 4 do 5 puta, tako da kalorična vrednost ugljeva četo toliko opadne, da se on ne može koristiti kao gorivo.

U tabeli 36., prikazane su po Jeremenku 1931, neke promene hemijsko-tehnoloških svojstava ugljeva do kojih dolazi tokom procesa oksidacije.

3.4.3.2. Uticaj oksidacije na promenu mineralnih primesa u uglju

Tokom procesa oksidacije uglja, pored promena fizičko-hemijskih osobina organske mase, promenama bivaju obuhvaćene i mineralni primesi u uglju. U oksidacionoj zoni, mineralni primesi u uglju nisu izloženi delovanju samo slobodnog kiseonika, već delovanju i slobodbih humusnih i drugih kiselina iz organske materije (Đorđević 1965).

U oksidacionoj zoni, usled prisustva slobodnog kiseonika iz vazduha ili vode, vema je podložan oksidaciji markasit, a proces oksidacije pirita se odvija po sledećoj reakciji:



Na ovaj način, oslobođena sumporna kiselina iz pirita, stupa u reakciju sa dugim mineralnim materijama koje se nalaze u uglju i stvara sulfate: kalcijuma, gvožđa i aluminijuma. S toga se u oksidacionj zoni, skoro uvek u ugljenom sloju nalaze gips i anhidrit, a ako u ugljenon sloju ima dosta kalcijumovih jona, onda dolazi do stvaranja ne samo gipsa, već i kalcita

(Đorđević 1965). U vezi sa tim, isti autor navodi: „Neposredno ispod oksidacione zone, koja se karakteriše prisustvom gipsa, anhidrit, kalcita i stipse (hidratisani aluminijum sulfat), obično se nalazi tzv. *zona cementacije*. U toj zoni, ugalj je obično protkan žilicama sekundarnih minerala, kalcita i kompaktnog gipsa, ali tu odsustvuje pirit. Tek u donjem delu cementacione zone, uz kalcit, pojavljuje se i žilice, odnosno prevlake sekundarnog pirita koji je ovde nastao redukcijom gipsa“.

Tabela 36. Karakter promena hemijsko-tehnoloških svojstava uglja tokom osidacije (Jeremenko 1931, preuzeto od Pantić i Nikolić 1973)

Sastav i svojstva uglja	Karakter izmene
Sadržaj ugljenika	Umanjuje se
Sadržaj vodonika	Umanjuje se
Sadržaj kiseonika	Povećava se
Vlažnost	Povećava se
Sadržaj pepela	U jednom slučaju raste, u drugom opada
Sadržaj volatila	U ugljevima visokog stepena metamorfizma raste, a u ugljevima nižeg stepena metamorfizma prvo se umanjuje, a zatim se opet vraća na normalu
Kalorična vrednost	Snižava se
Spicanje (bakovanje)	Snižava se do potpunog gubljenja te osobine
Plasticitet	Snižava se do potpunog gubljenja te osobine
Rastvorljivost u alkalijama	Raste
Sadržaj primarnog ulja (katrana)	Smanjuje se
Sastav gasa dobijenog suvom destilacijom	Povećava se sadržaj CO ₂ i CO a umanjuje se sadržaj vodonika i ugljovodonika
Karakter pirogenetske vode	Kiseo
Sadržaj materija koje se rastvaraju u benzolu	Smanjuje se
Temperatura paljenja	Snižava se
Reduktivna sposobnost	Umanjuje se
Absorciona sposobnost	Povećava se
Količina aktivnih grupa u uglju (fenolnih i karboksilnih)	Povećava se
Čvrstina i tvrdina	Opada
Specifična težina	Raste

3.4.4. Hemijski sastav rudničkih voda rudnika kamenih i mrkih ugljeva

Poznato je da je ugljena materija heterogena, izgrađena od različitih mikrolitotipova i sa određenim stepenom karbonizacije kojom je zahvaćena, poseduje svojstvene fizičko-hemijske osobine. Zato pri filtraciji podzemnih voda kroz prsline i mikroprsline uglja, one zadobijaju specifičan hemijski

sastav, koje se obično značajno razlikuju od hemijskog sastava podzemnih voda iz geoloških sredina u podini ili povlati ležišta uglja.

Podzemne vode u ugljenom sloju, odnosno ugljonosnom horizontu, nazivaju se rudnim vodama. Njihovim dosadašnjim hidrohemijskim ispitivanjima, utvrđene su izvesne zakonomernosti i uslovi formiranja hemijskog sastava u nekim ležištima kamenih i mrkih ugljeva Srbije (Dragišić i dr. 1994, Miladinović i dr. 1999).

Rezultati ovih hidrohemijskih ispitivanja, ukazali su na izvesnu svojstvenost hemijskog sastava rudnih voda formiranih u ugljonosnom horizontu, odnosno ležištu uglja, a koja se ogleda u povišenoj mineralizaciji i da sa dubinom dolazi do njihove metamorfizacije. Time zadobijaju pripadnost HCO₃-Na tipu voda sa povećanim sadržajem jona sulfata, zatim HCO₃,SO₄-Na ili SO₄,HCO₃-Na tipu voda.

Slično ovim rezultatima, ukazuju i hidrohemijska ispitivanja rudničkih voda u nekim ležištima uglja Evrope. Na ovom mestu se mogu spomenuti rezultati do kojih je došao Rózkowski 1997 i 1999., u ugljonosnom basenu Silesian u Poljskoj.

Takođe u Češkim rudnicima uglja Heřmanice, Zárubek, Jermenko, Šverna, Odra, istraživači Grmela i Jelínek 1999, konstatovali su u periodu ispitivanja 1994-1997. god., preovlađujuće koncentracije jona Na⁺ u katjonskom sastavu (do 5170 mg/l u rudniku Jeremenko), a u anjonskom sastavu jako su karakteristični visoki sadržaji jona hlorida Cl⁻ u ugljonosnim miocenskim sedimentima (od 141 do 8482 mg/l). Sledeći jon po koncentraciji je jon SO₄²⁻ čije prisustvo u rudničkim vodama je vezano za oksidajuju pirita u sloju uglju i rad određenih vrsta bakterija iz uglja. Sadržaji sulfata u rudničkim vodama varira od 77-1644 mg/l, minealizacija je konstatovana od 1503 mg/l (rudnik Zárubek), do 15569 mg/l (rudnik Jeremenko).

Polazeći od već postignutih rezultata hidrohemijskih ispitivanja rudničkih voda u nekim ležištima kamenih i mrkih ugljeva Srbije iz ranijeg perioda, ispitivanja koja su realizovana za potrebe ovih istraživanja, bila su prvenstveno skoncentrisana na utvrđivanju specifičnosti hemijskog sastava rudnih voda. Pored njih, hidrohemijskim ispitivanjima su bile obuhvaćene i rudničke vode koje se javljaju u rudarske radove iz drugih litoloških članova ugljonosne serije ili drugih hidrogeoloških struktura.

Sprovedena hidrohemijška ispitivanja, ukazala su na složene uslove formiranja hemijskog sastava rudnih voda u ležištu, ali istovremeno se došlo i do saznanja o veoma izraženom uticaju tehnogenih procesa u jamama rudnika kamenih i mrkih ugljeva, koji dovode do formiranja hemijskog sastava rudničkih voda i to složenijeg sastava u odnosu na rudne vode.

U okviru realizacije hidrohemijških ispitivanja rudničkih voda aktivnih rudnika kamenih i mrkih ugljeva Srbije, izrađene su u periodu 2000.-2013. godine, ukupno 23 hemijske analize, a od toga 14 je bilo kompletnih hemijskih analiza i 9 skraćenih hemijskih analiza. Ova ispitivanja su najvećim delom urađeno u akreditovanoj laboratoriji Gradskog zavoda za javno zdravlje iz Beograda, a manjim delom u laboratoriji Geoinstituta i Geološkog instituta Srbije.

Iz ranijeg perioda istraživanja rudničkih voda rudnika uglja Rembas-a, „Vrške Čuke“, „Soko“ i „Štavalj“, analizirano je 39 hemijskih analiza. Na raspolaganju je bilo takođe i 6 hemijskih analiza B.Filipovića i saradnika iz 1988. godine, vezanih za hidrogeološka istraživanja rudnika „Bogovina“-istočno polje, kao i 14 skraćenih hemijskih analiza i 2 kompletne hemijske analize V.Dragišića i saradnika koji su istraživali ležište uglja „Soko“ u periodu 2006.-2008., kao i 1 kompletna hemijska analiza rudničkih voda iz rudnika „Vrška Čuka“ iz 2009. godine. Na taj način, analizirano je ukupno 85 hemijskih analiza rudničkih voda sa pojedinačnih pojava koje se javljaju u jamske rudarske radove rudnika kamenih i mrkih ugljeva Srbije.

Treba svakako istaći i veliki broj analiza koje su bile na raspolaganju iz perioda od pre trideset i više godina. Ipak, u najvećem broju slučajeva, one nisu bila sistematska, izvođena su obično stihijski, ponekada bez precizno definisane mikrolokacije uzorkovanja, a rezultati hemijskih analiza, često nisu primenljivi za hidrohemijšku interpretaciju usled grešaka u primeni laboratorijskih metodskih postupaka i kasnije tokom analitičke obrade dobijenih rezultata. Takve hemijske analize, nisu uzete u razmatranje.

Vredno je istaći da hidrohemijška ispitivanja rudničkih voda rudnika uglja u našim uslovima, prati čitav niz poteškoća koje uslovljava eksploatacija i primenjivane metode otkopa uglja. Monitoring hemijskog sastava rudničkih voda na odabranim mikrolokacijama pojave, nije često moguće sprovesti u dužem vremenskom periodu zbog brojnih razloga, a prvenstveno usled:

- ograničenih eksploatacionih rezervi uglja u izdvojenim ugljonosnim blokovima ili eksploatacionim poljima i relativno stalnog premeštanja rudarskih radova iz jednog u drugi deo ležišta;
- primene stubne metode otkopavanja uglja sa zarušavanjem krovine, čime se otkopani prostor pretvara u stare rudarske radove;
- ne plansko odvodnjavanje starih rudarskih radova;
- kontinualnog spuštanja eksploatacije uglja prema dubljim delovima ležišta što dovodi do promene mesta dreniranja rudničkih voda kako iz aktivnih tako iz starih rudarskih radova;
- gubitaka koji se stvaraju na spojevima pri prepumpavanju rudničkih voda tokom odvodnjavanja jame i to iz jednog njenog dela u drugi ili sa nižih na više kote;
- primenom šeme odvodnjavanja jame, kojom se često rudničke vode iz plićih delova jame gravitaciono sprovode do glavnih vodosabirnika u niže nivoe, gde dolazi do njihovog mešanja i delimičnog gubitka usled slabe vododrživosti vodosabirnika;
- dovođenja vode sa površine terena za potrebe zamuljivanja starih radova i potrebe jamskog bušenja kod slaboovodnjenih ležišta i dr.

Ovim svakako nisu obuhvaćeni svi problemi koji postoje u rudnicima uglja Srbije, ali višegodišnjim hidrohemijским ispitivanjima rudničkih voda, došlo se ipak do značajnih saznanja u pogledu poznavanja njihovog hemijskog sastava.

Hemijski sastav rudničkih voda rudnika „Vrška Čuka“

Hidrohemijška ispitivanja rudničkih voda rudnika antracita „Vrška Čuka“, vršena su tokom decembra 1991. godine, a potom i u periodu oktobar/decembar 1997. godine. Ovim ispitivanjima su bile obuhvaćene rudničke vode koje se javljaju u rudarske radove koji se nalaze iznad lokalnog erozionog bazisa Avramičkog potoka (k.200), kao i iz starih rudarskih radova, koji su izvođeni ispod nivoa potkopa TN-1 (k.205), odnosno lokalnog erozionog bazisa Avramičkog potoka.

U delovima jame iznad k.200, rudničke vode su ispitivane iz više rudarskih prostorija (hodnika H-12, H-40, H-50 i uskopa U-41). Obzirom da se ove vode javljaju iz pukotinske izdani povlate ugljonosnog horizonta, utvrđeno je da su male mineralizacije od 311,7-470,4 mg/L, da pripadaju izrazito

hidrokarbonatnoj klasi (HCO_3) i da imaju mešoviti katjonski sastav, zavisno od kote i mesta pojave u rudarskim radovima.

Rudničke vode koje se javljaju u plićim delovima jame u hodniku H-40, po klasifikaciji Alekina, pripadaju hidrokarbonatnoj klasi, kalcijскоj grupi I tipa (C_I^{Ca}), a u hodniku H-12 i H-41, pripadaju hidrokarbonatnoj klasi, kalcijско-magnezijskoj grupi I tipa ($\text{C}_I^{\text{Ca-Mg}}$), tabela 37.

Tabela 37. Makrokomponentni hemijski sastav rudničkih voda rudnika antracita „Vrška Čuka“

Parametar (mg/L)	H-50 10.12.'91.	H-40 10.12.'91.	H-41 16.12.'91.	H-12 10.12.'97.	Okno 21.10.'97.
$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	61,2	40,2	18,7	32,9	407,3
Ca^{2+}	64,7	77,4	95,3	52,1	233,5
Mg^{2+}	23,8	26,2	52,3	25,6	137,5
HCO_3^-	390,4	402,6	570,4	315,4	1811,9
SO_4^{2-}	35,5	29,1	19,2	32,0	500,0
Cl^-	25,6	19,9	4,0	10,6	17,7
NO_3^-	2,0	2,0	<0,4	2,65	3,76
Fe (uk.)	0,8	0,8	0,7	0,06	0,15
Mn	-	-	0,0	0,0	0,01
Uk.tvrdoća (°dH)	14,5	16,8	25,3	13,2	64,3
pH	7,2	7,1	7,9	7,6	7,1
M	404,8	392,8	470,4	311,7	2190,9

U rudarskom hodniku H-50, rudničke vode imaju nešto drugačiji katjonski sastav od predhodnih, jer je konstatovano da pripadaju hidrokarbonatnoj klasi, kalcijско-natrijumskoj grupi I tipa ($\text{C}_I^{\text{Ca,Na}}$).

Rudničke vode iz starih rudarskih radova koji su bili izvedeni u dubljim delovima ležišta (ispod nivoa potkopa TN-1 k.205, i to sve do k.121,6), dreniraju se rudarskim oknom „Avramica“ i one imaju znatno složeniji hemijski sastav. Mineralizacija ovih rudničkih voda dostiže do 2190,9 mg/L i pripadaju hidrokarbonatnoj klasi, natrijumskoj grupi II tipa ($\text{C}_{II}^{\text{Na}}$).

Rezultati hidrohemijskih ispitivanja rudničkih voda iz starih rudarskih radova, ukazuju takođe na složeni hemijski sastav (Dragišić i dr. 2009), tabela 38.

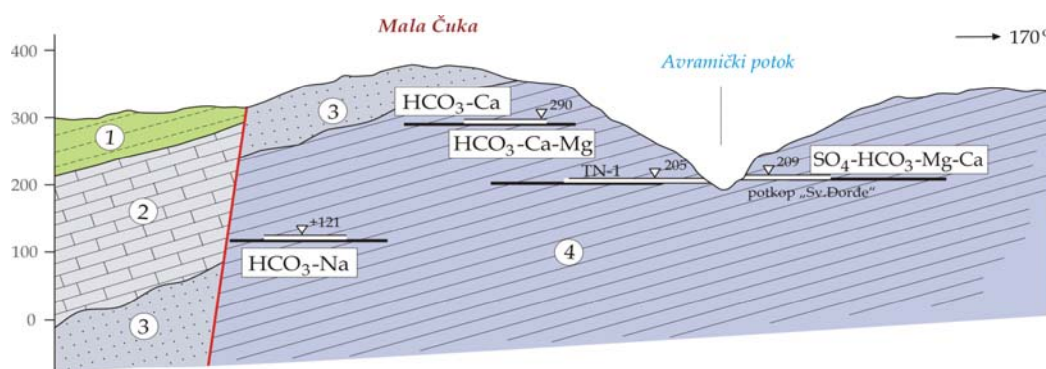
Ispitivane rudničke vode koje gravitaciono ističu iz zatvorenog potkopa „Sv.Đorđe“, pripadaju sulfatno-hidrokarbonatnoj klasi, magnezijско-kalcijскоj grupi II tipa ($\text{SC}_{II}^{\text{MgNa}}$). Njihovo formiranje je vezano sa jedne strane za spore

processe vodozamene koji postoje u starim i zarušenim rudarskim radovima potkopa „Sv.Đorđe“, a sa druge strane uticaj imaju i oksidacioni procesi koji vladaju u slojevima uglja, kao i podzemnih voda koje se dreniraju iz povlatnih lijaskih peščara u stare rudarske radove.

Tabela 38. Rezultati laboratorijskih ispitivanja hemijskog sastava rudničkih voda iz potkopa „Sv.Đorđe“ - Avramica (Dragišić i dr. 2009)

Parametar (mg/L)	Na ⁺ Cl ⁻	K ⁺ SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺ HCO ₃ ⁻	Mg ²⁺ NO ₂ ⁻	NH ₄ NO ₃ ⁻	Eletropro. (μS/cm) Uk.tvrđ. (°dH)	KMnO ₄ pH	M
pot.„Sv.Đorđe“	40,5	14,4	232,0	142,0	0,50	1800	3,3	1484,6
02.10.2009.	12,8	680,0	732,0	<0,004	2,9	65,1	6,7	

Uočava se da u plićim delovima ugljonosnog lijaskog kompleksa, kao i u severo-zapadnom delu ležišta koji je bliži kontaktu sa jako vodonosnim krečnjacima malma, ispitivane rudničke vode pripadaju hidrokarbonatnoj klasi, koja je inače karakteristična za površinske vode i karstne izdanske vode. U drugom kraju ležišta (jugo-istočni deo), u području starih rudarskih radova potkopa „Sv.Đorđe“, „Danica“ i dr., rudničke vode podležu znatnijoj metamorfizaciji i u tom delu se formiraju sulfatno-hidrokarbonatne vode. Hidrogeohemijskim modelom ležišta antracita „Vrška Čuka“, prikaz je na slici 192.



Slika 192. Hidrogeohemijski model ležišta antracita "Vrška Čuka"

1. tvorevine donje krede; 2. krečnjaci malma; 3. tvorevine dogera; 4. ugljonosna serija lijasa; 5. HCO₃-Ca (hidrokarbonatno-kalcijske vode); 6. HCO₃-Ca-Mg (hidrokarbonatno kalcijsko magnezijске vode);
7. SO₄-HCO₃-Mg-Ca (sulfatno hidrokarbonatno magnezijsko kalcijske vode);
8. HCO₃-Na (hidrokarbonatno natrijumske vode);

Mikrokomponentni hemijski sastav rudničkih voda, ispitivanih iz potkopa TN-1 (k.205) kao zbirne rudničke vode iz jame rudnika „Avramica“ i zatvorenog rudarskog potkopa „Sv.Đorđe“, ukazuje na povišene sadržaje ukupnog gvožđa (Fe) u granicama od 4,25-6,10 mg/L, mangana (Mn) od 0,06-0,167 mg/L, stroncijuma (Sr) od 2,38 mg/L, litijuma (Li) od 0,118 mg/L, kao i aluminijuma (Al) od 0,1 mg/L (tabela 39.).

Tabela 39. Mikrokomponenti hemijski sastav rudničkih voda rudnika antracita „Avramica“

Parametar (mg/L)	Li Al	Ni Pb	Sr Cr	Zn As	Cd Cu	Se SiO ₂	Mn Fe
TH-1 31.01.2011.	-	<0,005	-	<0,0049	<0,002	-	0,060
	-	<0,018	<0,002	0,003	<0,004	-	4,250
TN-1 07.03.2012.	-	<0,005	-	<0,049	<0,002	-	0,167
	-	<0,018	0,005	0,001	0,013	-	5,494
„Sv.Đorđe“* 02.10.2009.	0,118 0,10	0,004 <0,005	2,38 0,003	0,002 0,0004	<0,001 <0,001	<0,0002 16,5	0,120 6,10

*/Dragišić i dr. 2009

Hemijski sastav rudničkih voda „Ibarskih rudnika“

Jama „Jarando“. Hidrohemijska ispitivanja rudničkih voda u jami rudnika „Jarando“, vršena su u dva perioda i to tokom oktobra/novembra 2001. godine, kada se eksploatacija uglja odvijala u „otkopnom polju 2“ okvirno do k.117, i tokom 2011. godine, kada su se rudarski radovi izvodili u „spuštenom delu“ ležišta, odnosno u „otkopnom polju 3“ do približno k.60. Ovim ispitivanjima su obuhvaćene i rudničke vode koje su potopile jamsku prostoriju PTN-1 do k.79.

Tokom 2001. godine, laboratorijskim ispitivanjima površinskih voda Ibra koji protiče jugozapadnim obodom ležišta, potvrđeno je da ih karakteriše mala mineralizacija (400 mg/L) i hidrokarbonatno-kalcijski sastav (C_{III}^{Ca}), tabela 40.

Za razliku od površinskih voda, rudničke vode iz stare jame koje gravitaciono ističu potkopom „Baljevac“, imaju nešto višu mineralizaciju (804,9 mg/L), a po klasifikaciji Alekina, pripadaju hidrokarbonatnoj klasi, kalcijskoj grupi II tipa (C_{II}^{Ca}).

Potkop „Baljevac“ u sadašnjim uslovima rudarenja u području „jarandolskog“ revira, predstavlja glavnu prostoriju za dovod sveže vazdušne struje za provetravanje nove jame „Jarando“. Na taj način, deo vazdušne struje, dospeva i do pojedinih rudarskih prostorija stare jame, što dovodi do veoma

intenzivne oksidacije zaostalih rezervi uglja u zaštitnim stubovima. Obzirom na dobru rastvorljivost sulfata u vodi, njegovo poreklo iz uglja, dovodi do visoke sadržaje ovog jona u rudničkim vodama stare jame ($\text{SO}_4 = 280 \text{ mg/L}$), tabela 40.

Tabela 40. Makrokomponentni hemijski sastav ispitivanih voda rudnika „Jarando“

Parametar (mg/L)	reka Ibar *	Potkop *	GVN-2*	VNp-1*	VNp-1*	PTN-1**
	k.380	k.404	k.345	k.172	k.138	k.79,7
Na ⁺	9,51	59,5	169,4	123,6	228,05	267,75
K ⁺	3,6	3,3	2,2	0,6	0,7	1,0
Ca ²⁺	73,8	206,9	103,5	38,7	39,1	2,8
Mg ²⁺	10,6	9,1	100,0	12,9	16,2	1,02
NH ₄ ⁺	0,2	2,8	0,80	0,40	0,90	2,11
HCO ₃ ⁻	224,5	463,6	414,8	305,0	390,4	670,0
SO ₄ ²⁻	30,4	280,0	654,5	145,2	318,3	40,0
Cl ⁻	20,0	13,3	14,7	13,3	21,4	3,55
NO ₂ ⁻	0,90	0,60	0,015	0,010	0,015	0,004
NO ₃ ⁻	13,8	1,40	0,39	0,080	0,08	11,3
Fe (uk.)	-	1,06	0,11	0,11	0,02	0,01
KMnO ₄	3,0	1,7	7,48	1,82	1,73	18,6
Elektprov. (μS/cm)	320	900	1200	610	1050	950
Uk.tvrdoća (°dH)	12,68	31,0	37,46	8,37	9,18	0,62
T (°C)	-	19,7	23,9	23,9	26	24,5
pH	7,9	7,8	7,9	7,6	7,7	8,15
Suvi ostatak na 105°C	290	810	560	320	540	1105,9
M	273,0	804,9	1249,5	484,8	815,8	659,0

Datum uzorkovanja: */okt/nov.2001. god.; **/15.12.2011.

Rudničke vode koje se javljaju u plićim delovima nove jame „Jarando“, odnosno hipsometrijski ispod nivoa potkopa „Baljevac“ i to u niskopu GVN-1 koji se naniže nastavlja u GVN-2 (od k.371-345), imaju znatno složeniji hemijski sastav u odnosu na vode iz stare jame. Njihovo formiranje se jednim delom vrši na račun dreniranja rudničkih voda iz stare jame (ispod k.404, odnosno nivoa potkopa „Baljevac“), a delom i iz pukotinske izdani u ugljonosnom vulkanogeno-sedimentnom kompleksu miocena. Rudničke vode imaju povišenu mineralizaciju (1249,5 mg/L) i pripadaju po klasifikaciji Alekina sulfatnoj klasi, magnezijско-natrijumskoj grupi II tipa ($S_{II}^{\text{Mg-Na}}$), tabela 40.

U dubljim delovima jame „Jarando“, u niskopu VNp-1, rudničke vode se formiraju u području vetrene veze 1., na k.172 i to usled dreniranja podzemnih voda iz rasedne zone u andezitskim stenama i ugljonosnom vulkanogeno-sedimentnom kompleksu. Na ovoj pojavi, konstatovane su rudničke vode male

mineralizacije (484,8 mg/L) i pripadaju hidrokarbonatnoj klasi, natrijumskoj grupi I tipa (C_I^{Ca}).

U ovim rudničkim vodama je konstatovan nešto povećan sadržaj jona sulfata od 145,2 mg/L, a na mestu isticanja u niskopu VNp-1, stvara se beli talog i u vazduhu se oseća karakteristični miris vodonik-sulfida (H₂S).

Slično ovoj pojavi, prilivi se stvaraju i u nešto nižem delu niskopa VNp-1, kod vetrene veze 3., na k.138. Prilivi su najpre bili uslovljeni izradom magacina za eksploziv u andezitima, a potom i izradom jedne jamske bušotine. Rudničke vode su malomineralizovane sa 815,8 mg/l i pripadaju hidrokarbonato-sulfatnoj klasi, natrijumskoj grupi I tipa (C_S^{Na}). Karakteriše ih visok sadržaj jona sulfata (318,3 mg/l), tabela 40.

U najdubljem delu jame, rudničke vode koje su potopile niskop PTN-1 do k.79, imaju malu mineralizaciju (659 mg/L) i pripadaju izrazito hidrokarbonatnoj klasi, natrijumskoj grupi I tipa (C_I^{Na}).

Mikrokomponentni hemijski sastav ispitivanih rudničkih vode, ukazuje na povišeni sadržaj litijuma (Li) u granicama od 0,167-0,293 mg/l i aluminijuma (Al) koji je maksimalno konstatovan do 0,4 mg/l u rudničkoj vodi iz vodosabirnika u glavnom izvoznom niskopu GIN. Posebno je karakteristično prisustvo stroncijuma (Sr) u granicama od 1,48-4,43 mg/L (tabela 41.).

Tabela 41. Sadržaji ispitivanih mikrokomponenti u rudničkim vodama jame „Jarando“ (okt/nov.2001.)

Parametar (mg/L)	Li	Al	Zn	Mn	Cu	Cr	Cs	Sr	Rg	F
Pot. „Baljevac“ k.404	0,167	0,0	0,0	0,15	0,0	0,0	0,0	4,43	0,15	0,26
GIN k.212	0,293	0,4	0,06	0,28	0,0	0,0	0,0	1,48	0,0	0,40

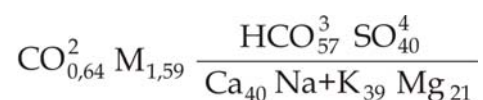
Površinski kop „Progorelica“. Na površinskom kopu kamenog uglja „Progorelica“, rudničke vode se javljaju iz miocenskih sedimenata povlate ugljonosnog horizonta, a njihovo prikupljanje se vrši u vodosabirniku na najnižoj etaži kopa. Usled veoma dinamičkih radova na otkopu uglja i rudne jalovine, dolazi relativno stalno do pomeranja lokacije vodosabirnika na kopu, a u određenim fazama razrade ležišta, izrađuje se i u samom sloju uglja (slika 193.).



Slika 193. Vodosabirnik u sloju uglja na površinskom kopu kamenog uglja „Progorelica“ (foto B.Miladinović)

Pored toga, na hemijski sastav rudničkih voda, utiču i kišni periodi ili velika isparenja sa vodene površine koja se vrši tokom dugih i sušnih letnjih perioda.

Za potrebe ovih istraživanja, hidrohemijaska ispitivanja rudničkih voda iz vodosabirnika na kopu, vršena su jednokratno i to uzorkovanjem koje izvršeno nakon kraćeg kišnog perioda i to 17.10.2012. godine. Laboratorijskim ispitivanjima hemijskog sastava, utvrđeno je da se radi o rudničkim vodama sa povišenom mineralizacijom od 1590 mg/L i da pripadaju hidrokarbonatnoj klasi, kalcijско-natrijumskoj grupi II tipa (C_{II}^{Ca-Na}). Hemijski sastav ovih voda, predstavljen formulom Kurlova je:



Hemijski sastav rudničkih voda rudnika „Rembas“-a

Hidrohemijaskim ispitivanjima u području rudnika resavsko-moravskog basena, bile su obuhvaćene površinske vode većih rečnih tokova, kao i sve značajnije pojave rudničkih voda koje se javljaju u rudarske radove jame „Strmosten“, „Jelovac“ i „Senjski Rudnik“.

U području ležišta uglja "Strmosten", hidrohemijaska ispitivanja su ukazala da površinske vode reke Resave i Vodničkog potoka koji protiču po krečnjačkoj podlozi, karakteriše mala mineralizacija i hidrokarbonatno-kalcijски sastav (tabela 42.).

Tabela 42. Rezultati laboratorijskih ispitivanja hemijskog sasta voda rudnika "Strmosten" (13.05.1994. god.)

Parametar (mg/L)	reka Resava (k.280)	Vodnički potok (k.300)	Prekop (k.45)		
			rasedna zona	betonska kaptaza	ugljonosni horizont
Na ⁺⁺ K ⁺	14,9	55,4	65,98	165,07	253,46
Ca ²⁺	61,34	140,2	84,88	21,04	160,32
Mg ²⁺	10,33	3,6	9,12	20,06	19,45
HCO ₃ ⁻	247,66	353,8	423,35	372,10	1037,0
SO ₄ ²⁻	7,97	76,4	14,05	32,48	145,03
Cl ⁻	12,0	18,4	22,68	14,18	21,27
NO ₃ ⁻	8,42	2,70	3,27	0,46	3,51
CO ₂	21,1	25,8	14,50	-	21,12
KMnO ₄	1,1	-	1,40	0,98	2,78
Fe (uk.)	0,04	0,01	0,02	0,01	0,19
E.provod. (μS/cm)	-	-	630	560	1630
Uk.tvrdoća (°dH)	10,95	15,39	13,94	7,56	26,88
pH	7,40	7,0	7,76	7,95	6,80
M	236,7	434,7	408,18	436,29	1113
T (°C)	-	-	14,0	16,5	17,5

Podzemne vode iz karstne izdani koje se javljaju u rudarskom hodniku (prekop na k.45, iz rasedne zone kod izvoznog okna SIO-1), takođe imaju malu mineralizaciju, a po klasifikaciji Alekina, pripadaju hidrokarbonatnoj klasi, kalcijskoj grupi I tipa (C_I^{Ca}), tabela 42.

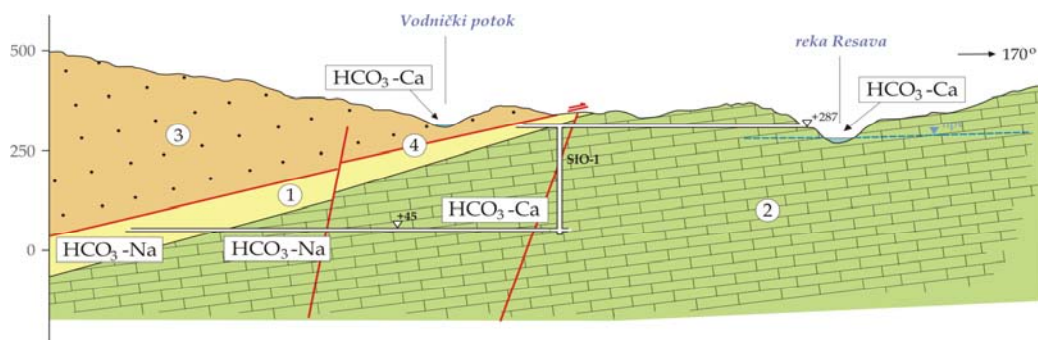
Prilivi podzemnih voda iz karstne izdani koji se javljaju u rudarskom hodniku na k.45, ali bliže kontaktu sa ugljonom serijom (u području "betonske kaptaze"), imaju malu mineralizaciju (436,29 mg/L), ali pripadaju hidrokarbonatnoj klasi, natrijumskoj grupi I tipu (C_I^{Na}). Ovako konstatovan hemijski sastav, ukazuje na usporenije procese vodozamene podzemnih voda u navedenom delu karstnog akvifera, a to je dovelo do jonske izmene (Ca → Na), tabela 42.

Rudničke vode koje uslovljavaju prilive u rudarskim radovima izvedenih kroz ugljonom seriju, imaju složeniji hemijski sastav usled usporenih procesa vodozamene i hemijskih procesa koji se odvijaju u samom ugljonom horizontu. Mineralizacija ovih voda je konstatovana od 1113 mg/L.

U anjonskom sastavu preovlađuje sadržaj jona hidrokarbonata (1037 mg/L), uz povećan sadržaj jona sulfata od 145,03 mg/L što je karakteristično za

rudne vode koje su formirane u području ležištu uglja. Po klasifikaciji Alekina, ove vode bi pripadale hidrokarbonatnoj klasi, natrijumskoj grupi I tipa (C_1^{Na}).

Grafički prikaz konstatovanog hemijskog sastava rudničkih voda u jami "Strmosten", prikazan je hidrogeohemijskim modelom ovog ležišta (slika 194.).



Slika 194. Hidrogeohemijski model ležišta mrkog uglja "Strmosten"

1. ugljonošna miocenska serija; 2. krečnjaci krede; 3. peščari perma; 4. površ navlake; 5. HCO_3-Ca (hidrokarbonatno kalcijski tip voda); 6. HCO_3-Na (hidrokarbonatno natrijumski tip voda)

U području ležišta uglja „Jelovac“, hidrohemijskim ispitivanjima su obuhvaćene najvećim delom rudničke vode koje se formiraju na račun dreniranja karstne izdani, a delom su ispitivane i podzemne vode koje se javljaju iz same ugljonošne serije.

Kroz karstnu sredinu, najdublje je izrađen glavni transportni niskop GTN-2 i to do k.190,7. Podzemne vode iz karstne izdani koje se javljaju u ovoj rudarskoj prostoriji, imaju malu mineralizaciju (313,3 mg/L) i pripadaju hidrokarbonatnoj klasi, kalcijskoj grupi III tipa (C_{III}^{Ca}), tabela 43.

U nešto višim delovima karstnog akvifera na k.209, u delu gde je došlo do potapanja niskopa GTN-1, karstne podzemne vode karakteriše sličan hemijski sastav kao iz dubljih delova akvifera. Radi se o termalnim vodama, temperature od 22,5-28°C. Male su mineralizacije (311,66 mg/L) i pripadaju izrazito hidrokarbonatnoj klasi, kalcijskoj grupi I tipa (C_I^{Ca}), tabela 43.

Karstne podzemne vode koje se na k.265, javljaju u hodniku IH-4 iz istražnih bušotina B-1 i B-2, dreniraju deo karstnog akvifera koji je bliži kontaktu sa ugljonošnom miocenskom serijom. Usled usporenih procesa vodozamene u ovom delu akvifera, karakteriše ih složeniji hemijski sastav.

Zapravo, radi se o malo mineralizovanoj vodi (414,87 mg/L), koja pripada hidrokarbonatnoj klasi, ali natrijumskoj grupi I tipa (C_I^{Na}), tabela 43.

Tabela 43. Rezultati laboratorijskih ispitivanja hemijskog sastava rudničkih voda jame "Jelovac"

Parametar (mg/L)	GTN-1 k.209 (18.02.2004.)	GTN-2 k.190,7 (18.02.2004.)	IH-4 k.265 (12.05.1994.)	OH-1 k.202 (12.05.1994.)
Na ⁺	17,9	7,0	138,41	415,0
K ⁺	2,95	1,72		11,5
Ca ²⁺	81,7	98,4	18,0	18,7
Mg ²⁺	13,4	5,02	13,37	25,4
NH ₄ ⁺	1,0	0,05	-	2,5
Fe (uk.)	0,07	0,01	0,05	0,1
HCO ₃ ⁻	366,0	324,52	463,6	1220,0
SO ₄ ²⁻	8,4	18,18	2,17	47,5
Cl ⁻	5,3	14,2	10,63	18,3
NO ₂ ⁻	0,02	0,01	-	0,05
NO ₃ ⁻	0,92	9,1	4,29	0,5
KMnO ₄	9,48	0,56	1,56	-
E.provod. (μS/cm)	380	440	650	1250
Uk.tvrdoća (°dH)	14,45	14,92	5,59	8,43
pH	7,4	7,3	7,78	7,6
M	311,66	313,3	414,87	1139,5
T (°C)	27	19,0	17,5	19,0

Male količine podzemnih voda koje se javljaju u delu hodnika OH-1 izrađenog kroz ugljunosnu seriju, imaju hemijski sastav koji je karakterističan za rudne vode ležišta uglja. Mineralizacija ovih voda iznosi 1139,5 mg/L i pripadaju hidrokarbonatnoj klasi, natrijumskoj grupi I tipa (C_I^{Na}), tabela 43.

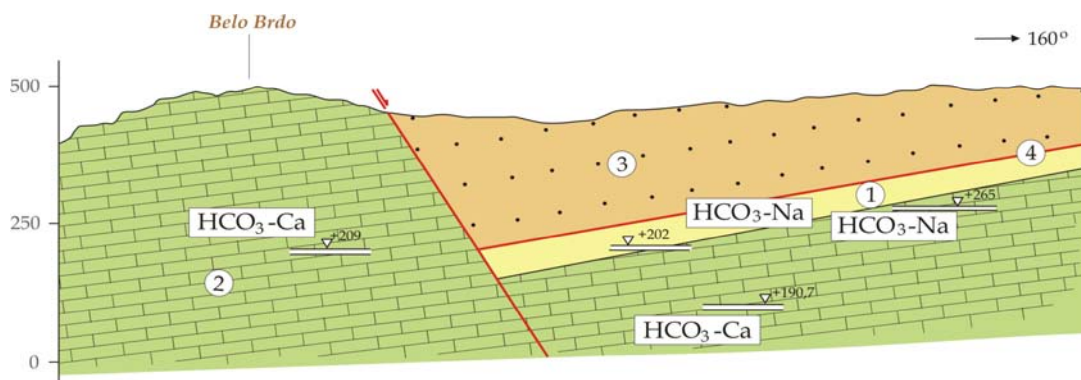
Mikrokomponentni hemijski sastav rudničkih voda iz karstnog akvifera (GTN-1, GTN-2) i ugljunosnog horizonta (OH-1), prikazan je tabelom 44.

Tabela 44. Mikrokomponentni hemijski sastav ispitivanih rudničkih voda jame „Jelovac“

Parametar (mg/L)	Li Al	Rb As	Sr Sb	Se Ti	Ag Ni	Pb Zn	Cd Mn	Cu Cr	Br SiO ₂	U (μg/l)
GTN-1 (18.2.2004.)	0,012 0,10	0,006 0,010	0,280 <0,001	<0,001 -	- -	0,024 0,023	0,006 0,001	0,004 <0,001	- 14,06	1
GTN-2 (18.2.2004.)	- 0,14	- -	0,001 -	- 0,024	0,003 0,010	0,013 0,010	0,001 0,005	0,003 0,009	- -	-
OH-1 (12.5.1994.)	0,10 <0,01	0,015 -	0,08 -	- -	- -	<0,01 <0,01	- 0,02	<0,001 <0,001	0,02 5,0	0,2

Laboratorijski nalazi ovih voda ukazuju na male sadržaje teških metala i nisku radioaktivnost.

Na osnovu makrokomponentnog hemijskog sastava ispitivanih rudničkih voda, hidrogeohemijski model ležišta uglja "Jelovac", prikazan je na slici 195.



Slika 195. Hidrogeohemijski model ležišta mrkog uglja "Jelovac"

1. ugljonošna miocenska serija; 2. kredni krečnjaci; 3. peščari perma; 4. površ navlake;
5. $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ (hidrokarbonatno kalcijski tip voda); 6. $\text{HCO}_3\text{-Na}$ (hidrokarbonatno natrijumski tip voda)

U području ležišta uglja "Senjski Rudnik", hidrohemijским ispitivanjima su obuhvaćene površinske vode reke Ravanice, kao i rudničke vode koje se javljaju kako u plićim delovima jame (područje "Krovne Galerije", k.439), tako i u dubljim delova jame u uskopu VU-1 (k.331) i na raskršću niskopa N-9 i N-4 (k.222).

Površinske vode Ravanice imaju malu mineralizaciju (do 220,12 mg/l), a po klasifikaciji Alekina, pripadaju hidrokarbonatnoj klasi, kalcijskoj grupi III tipa ($\text{C}_{III}^{\text{Ca}}$), tabela 45.

Rudničke vode koje se javljaju u plićim delovima jame "Senjski Rudnik" (područje starih radova - "Krovna Galerija", k.439), dreniraju se iz alohtonih krečnjaka Stenke i karakteriše ih mala mineralizacija (340 mg/L) i pripadaju hidrokarbonatnoj klasi, kalcijskoj grupi II tipa ($\text{C}_{II}^{\text{Ca}}$), tabela 45.

Bez obzira što dreniraju karstnu izdan, interesantan je nešto povišeni sadržaj jona sulfata u ovim vodama (52,17 mg/L), koji može ukazati na njihovo mešanje sa rudničkim vodama iz starih rudarskih radova izvedenih kroz ugljonošnu seruju u hipsometrijski višem delu ležišta.

U dubljim delovima ugljonošne miocenske serije, gde vladaju otežani procesi vodozamene, rudničke vode imaju znatno složeniji hemijski sastav.

Tako, rudničke vode koje se iz starih rudarskih radova, javljaju u uskopu VU-1 na k.331, imaju povišenu mineralizaciju (1381,2 mg/L) i po Alekinu su sulfatne klase, natrijumske grupe I tipa (S_I^{Na}), tabela 45.

Tabela 45. Hemijski sastav ispitivanih voda rudnika "Senjski Rudnik"
(27.07.1994.)

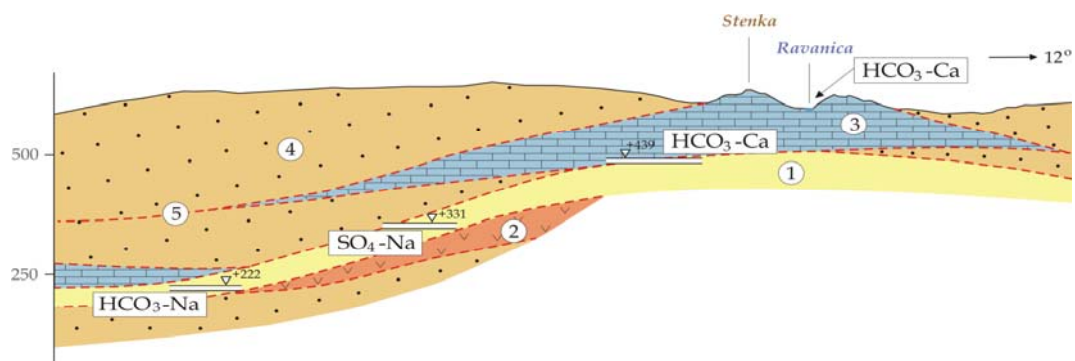
Parametar (mg/L)	Ravanica k.570	Kr. Galerija k.439	VU-1 k.331	N-9 / N-4 k.222
Na ⁺ +K ⁺	2,30	22,31	381,80	501,4
Ca ²⁺	68,13	81,16	54,10	45,08
Mg ²⁺	11,18	24,32	34,04	37,69
HCO ₃ ⁻	237,90	268,40	500,20	1579,90
SO ₄ ²⁻	5,87	52,17	648,50	24,0
Cl ⁻	14,20	26,94	14,18	26,94
NO ₃ ⁻	1,52	1,09	2,59	11,34
CO ₂	24,8	15,20	10,20	0,0
KMnO ₄	1,98	3,90	1,98	1,40
Fe (uk.)	0,01	0,98	0,47	0,59
E.provod. (μS/cm)	-	460	1630	2720
Uk.tvrdoća (°dH)	12,1	16,94	15,40	14,98
pH	7,80	7,67	7,87	8,30
M	220,12	340,0	1381,2	1423,4
T (°C)	-	13,8	17	-

U hipsometrijski nižim rudarskim prostorijama, rudničke vode koje se iz miocenske serije javljaju na raskršću niskopa N-9 i N-4, imaju visoku mineralizaciju (1423,44 mg/L), ali pripadaju hidrokarbonatnoj klasi, natrijumske grupe I tipa (C_I^{Na}), tabela 45. Na formiranje hemijskog sastava ovih rudničkih voda, najvećim delom ima karstna izdan iz zatvorene karstne hidrogeološke strukture jurskih krečnjaka, koji čine neposrednu tektonsku povlatu ugljonoj miocenskoj seriji (slika 149.).

Konstatovani hemijski sastav rudničkih voda jame "Senjski Rudnik", prikazan je hidrogeohemijskim modelom ležišta (slika 196.).

Hemijski sastav rudničkih voda rudnika „Jasenovac“

Hidrohemijska ispitivanja rudničkih voda u jami rudnika „Jasenovac“, vršena su u dva perioda i to 2001. godine, kada se eksploatacija uglja odvijala najdulje do k.238, i tokom 2012. godine, kada su se rudarski radovi u „spuštenom delu“ centralnog polja, izvodili do okvirno k.170.



Slika 196. Hidrogeohemijski model ležišta mrkog uglja "Senjski Rudnik"

1. ugljonosna miocenska serija; 2. dacito-andeziti; 3. krečnjaci jure (alohton); 4. peščari perma (alohton); 5. ----- površ naolake; 6. HCO₃-Ca (hidrokarbonatno kalcijski tip voda); 7. SO₄-Na (sulfatno natrijumski tip voda); 8. HCO₃-Na (hidrokarbonatno natrijumski tip voda)

Na ovaj način, hidrohemijskim ispitivanjima su bile obuhvaćene:

- karstne podzemne vode formirane u alohtonim trijaskim krečnjacima (povlata ležišta uglja), odnosno sa „rudničkog izvora“ koji je kaptiran za potrebe vodosnabdevanja rudnika, k.400;
- rudničke vode koje su se iz starih rudarskih radova (OH-2, IH-3) u plićem delu jame, javljale u niskopu VN-3 na k.273 i rudničke vode koje su se iz dubljih starih rudarskih radova (IH-4), javljale u istražnom hodniku IH-4a na k.256;
- rudne vode koje su se u OH-22 (k.180,6), javljale iz sloja uglja, odnosno iz ležišta uglja „spuštenog dela“ centralnog polja.

Karstne podzemne vode u hemijskom pogledu, kakarakteriše mala mineralizacija (248,8 mg/L) i po Alekinu, pripadaju hidrokarbonatnoj kalasi, kalcijskoj grupi III tipa (C_{III}^{Ca}), tabela 46.

Tabela 46. Makrokomponentni hemijski sastav rudničkih voda rudnika "Jasenovac"

Parametar (mg/L)	Na ⁺ Cl ⁻	K ⁺ SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺ HCO ₃ ⁻	Mg ²⁺ NO ₂ ⁻	Fe (uk.) NO ₃ ⁻	Eletropro. (μS/cm) Uk.tvrđ. (°dH)	T (°C) pH	M
Rudnički izvor*	4,9	1,1	74,2	12,4	0,0	-	11	
k.400	17,0	12,6	257,4	-	4,0	13,2	6,9	248,8
VN-3*	6,21	2,3	172,7	58,1	0,30	1100	16,5	
k.273	3,5	248,0	519,1	-	1,0	37,6	7,0	746,1
IH-4a*	17,0	6,8	145,8	48,6	3,2	990	20	
k.256	7,7	160,0	531,3	-	7,0	31,6	6,6	647,2
OH-22**	15,3	5,97	130,0	49,9	0,214	950	19,5	
k.180,6	4,9	395,7	282,4	<0,006	1,7	29,8	7,69	742,3

Datum uzorkovanja: */06.07.2001. god.; **/16.11.2012. god.

Ispitivane rudničke vode iz starih rudarskih radova koje se javljaju na k.273 (VN-3) i k.256 (IH-4a), pripadaju hidrokarbonatnoj klasi, kalcijskoj grupi II tipa (C_{II}^{Ca}) i karakteriše ih povišeni sadržaj jona sulfata (160 – 248 mg/L).

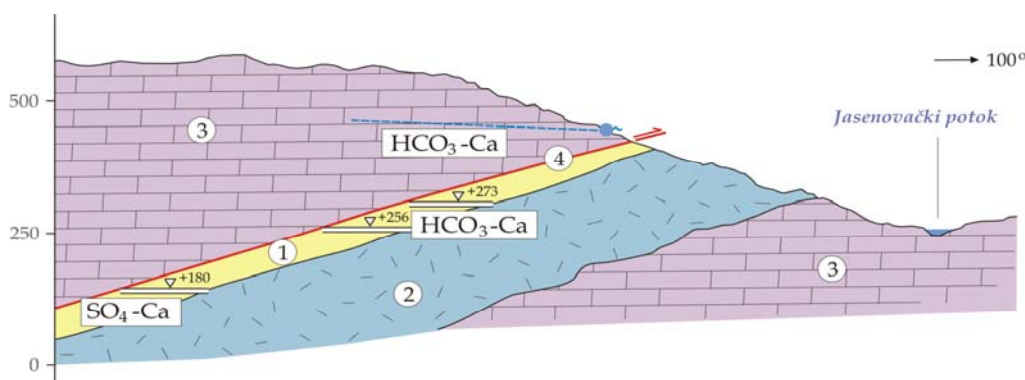
U dubljim delovima jame u OH-22 na k.180,6 gde su ispitivane rudne vode iz sloja uglja, laboratorijska ispitivanja su ukazala na znatnu metamorfizaciju ovih voda u odnosu na rudničke vode iz starih rudarskih radova sa viših kota. Zapravo, usled izražene rastvorljivosti sulfata, a njegovo poreklo je iz ležišta uglja, uslovljena je pripadnost rudnih voda sulfatnoj klasi, kalcijskoj grupi II tipa (S_{II}^{Ca}), tabela 46.

U mikrokomponentnom hemijskom sastavu, ispitivane rudne vode obzirom da se formiraju u ležištu na račun karstnih podzemnih voda iz plićih delova terena, imaju niske vrednosti teških metala (tabela 47.).

Tabela 47. Sadržaji ispitivanih mikrokomponenti u rudnim vodama jame rudnika „Jasenovac“ (16.11.2012.)

Parametar (mg/L)	Li Al	Ni Pb	Ti Cr	Zn As	Mn Cu	Co Hg	Be Cd	Ba V	Mo SiO ₂	Sr F
OH-22	0,0074	0,005	<0,0006	0,007	0,032	<0,005	<0,0002	0,081	0,005	4,5
k.180,6	0,021	<0,009	<0,002	0,028	0,001	<0,0005	<0,0008	0,005	11,4	0,6

Hidrohemijski model ležišta uglja „Jasenovac“ na osnovu izdvojenih tipova rudničkih voda, prikazan je na slici 197.

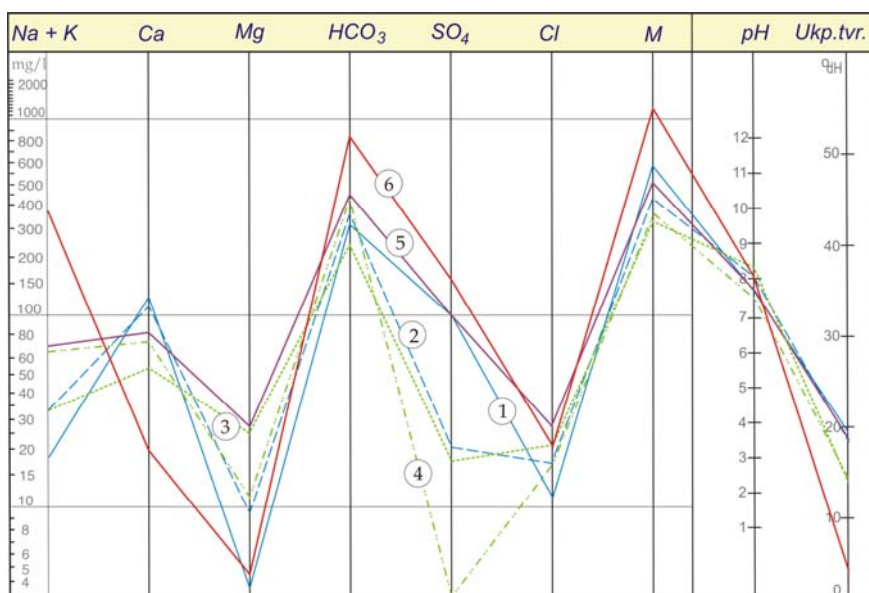


Slika 197. Šematski hidrohemijski model ležišta uglja „Jasenovac“

1. ugljonosni miocenska serija; 2. krečnjaci jure; 3. krečnjaci trijasa; 4. površ navlake;
5. HCO_3-Ca (hidrokarbonatno kalcijski tip voda); 7. SO_4-Ca (sulfatno kalcijski tip voda)

Hemijski sastav rudničkih voda rudnika „Bogovina“

U području ležišta uglja „Bogovina“- istočno polje, hidrohemijska ispitivanja podzemnih i rudničkih voda su vršena u nešto većem obimu u periodu 1984-1987. god., odnosno u početnim fazama razrade ovog ležišta za eksploataciju (Filipović i dr. 1988). Tom prilikom je urađen značajan broj hemijskih analiza kako površinskih voda (Crnog Timoka i Bogovinske reke), tako i podzemnih voda sa mnogih izvora, kopanih bunara i istražnih bušotina. Predmet ovih ispitivanja su bile i rudničke vode iz ventilacionog okna (VO) i glavnog izvoznog niskopa GIN-1. Prikaz jednog dela laboratorijskih rezultata hemijskog sastava ovih voda, prikazan je dijagramom (slika 198.).



Slika 198. Semilogaritamski dijagram makrokomponentnog hemijskog sastava ispitivanih voda rudnika „Bogovina“- istočno polje u toku 1984. (po podacima Filipović i dr. 1988)

1. reka C.Timok; 2. Bogovinska reka; 3. pijez. B-3; 4. pijez. B-4; 5. ven. okno (VO); 6. niskop GIN-1

Hidrohemijska ispitivanja su ukazala da su površinske vode male mineralizacije i hidrokarbonatno-kalcijskog sastava ($\text{HCO}_3\text{-Ca}$), ali da su u dubljim delovima ugljonosne mioplionske serije (pijezometzi B-3 i B-4, kao i VO), podzemne vode sa nešto složenijim hemijskim sastavom i da pripadaju hidrokarbonatnoj klasi, kalcijsko-natrijumskoj grupi ($\text{HCO}_3\text{-Ca-Na}$).

U niskopu GIN-1, konstatovan je relativno visoka mineralizacija rudničkih voda (1028,2 mg/L). U anjonskom sastavu preovlađujući sadržaj jona

hidrokarbonata (841,8 mg/L) i visok sadržaj jona sulfata (156,6 mg/L), a u katjonskom sastavu, dominira sadržaj jona natrijuma (385,9 mg/L).

Tokom ovih istraživanja (aprila 2011. godine), ispitivane su rudničke vode iz najdubljih delova jame i to iz: transportnog uskopa TU-2 (k.-4,9) i potopljenog dela niskopa TN-2 (k.-15,2).

Sprovedena hidrohemijska ispitivanja su ukazala da su rudne vode koje se javljaju iz sloja uglja (TU-2 na k.-4,9), malo mineralizovane (761,2 mg/L) i da pripadaju hidrokarbonatnoj klasi, natrijumskoj grupi I tipa (C_{I}^{Na}), tabela 48.

Tabela 48. Makrokomponentni hemijski sastav rudničkih voda rudnika "Bogovina"- istočno polje (29.04.2011.)

Parametar (mg/L)	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe (uk.)	Eletropro. (μ S/cm)	T (°C)	M
	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	Uk.tvrđ. (°dH)	pH	
TU-2	295	4,07	18,5	2,12	2,09	1070	16,5	761,2
k.- 4,9	25,2	44,5	756,0	0,049	3,7	3,1	8,2	
TN-2	446	6,24	157	9,69	1,21	1770	16,2	1399,0
k.- 15,2	31,5	140,7	1236,0	0,041	4,5	24,2	7,5	

Rudničke vode iz starih rudarskih radova koji se javljaju u niskopu TN-2 (k.-15,2), imaju relativno visoku mineralizaciju (1399 mg/L), hidrokarbonatne su klase, natrijumske grupe I tipa (C_{I}^{Na}). U ovim voda je konstatovan relativno visoki sadržaj jona sulfata od 140,7 mg/L, što je karakteristično za ležištima uglja.

Mikrokomponentni hemijski sastav ispitivanih rudničkih vode, ukazuje na povišeni sadržaj aluminijuma (Al) i to u granicama od 1,12-4,45 mg/l, silicijum-dioksida (SiO₂) od 30,8-38,7 mg/L (tabela 49.).

Tabela 49. Sadržaji ispitivanih mikrokomponenti u rudničkim vodama jame rudnika „Bogovina“- istočno polje (29.04.2011.)

Parametar (mg/L)	Li	Ni	Ti	Zn	Mn	Co	Be	Ba	Mo	Sr
	Al	Pb	Cr	As	Cu	Hg	Cd	V	SiO ₂	
TU-2	0,022	<0,005	0,0376	0,020	0,093	<0,005	<0,0002	0,040	0,010	0,14
	4,45	<0,009	0,004	0,027	0,006	<0,002	<0,0008	0,028	38,7	
TN-2	0,038	<0,008	0,0174	0,016	0,074	<0,005	<0,0002	0,201	0,005	1,03
	1,12	<0,009	0,010	0,247	0,009	<0,002	<0,0008	0,007	30,8	

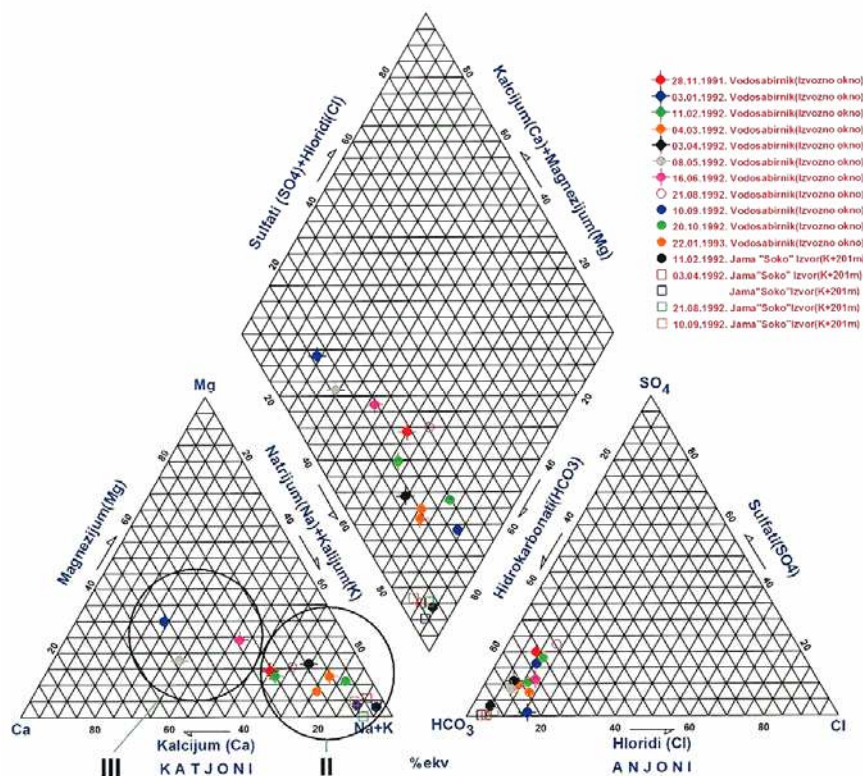
Posebno je karakterističan povišeni sadržaj nekih mikrokomponenti u rudničkim vodama iz starih rudarskih radova kao: arsena (As) od 0,247 mg/L, barijuma (Ba) od 0,201 mg/L i stroncijuma (Sr) od 1,03 mg/L. Njihovo poreklo u

rudničkim vodama, može se smatrati da je vezano za mioplIOCenske gline iz povlate ležišta uglja, kao i iz samog uglja u kome je laboratorijskim ispitivanjima, takođe konstatovano prisustvo glina od 31 % (Milenković i Ramović 2004).

Hemijski sastav rudničkih voda rudnika „Soko“

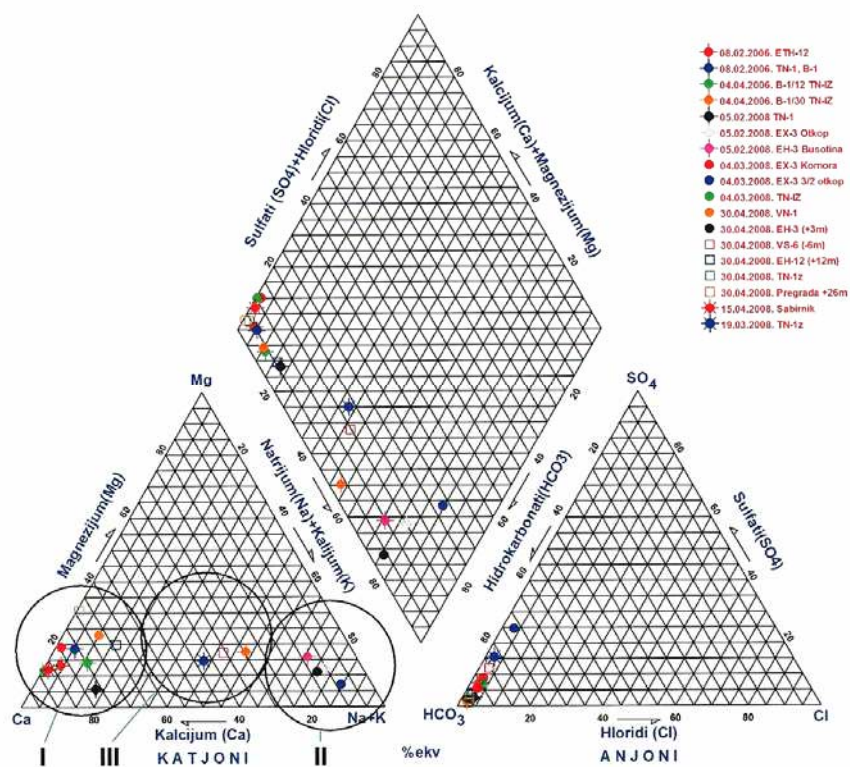
Hidrohemijska ispitivanja rudničkih voda rudnika „Soko“, vršena su detaljno tokom 1992. godine, u sklopu hidrogeoloških istraživanja za potrebe otvaranja zapadnog polja ležišta uglja „Soko“ (Dragišić i Miladinović 1993). Ovim ispitivanjima je bio sveobuhvatno sagledan hemijski sastav površinskih i podzemnih voda šireg područja, kao i rudničke vode iz jame rudnika „Soko“. Značajno je istaći da su rudarski radovi u tom periodu, izvođeni isključivo kroz ugljonosnu miocensku seriju.

Monitoringom u periodu 21.11.1991. - 06.11.1992. god., utvrđena je najčešće visoka mineralizacija ispitivanih rudničkih voda (do 2100 mg/L), a u hemijskom pogledu pripadnost hidrokarbonatnoj klasi, natrijumskoj grupi. Hemijski sastav ispitivanih rudničkih voda je prikazan trilinearnim dijagramom, slika 199.



Slika 199. Trilinearni dijagram hemijskog sastava rudničkih voda jame rudnika „Soko“ za period ispitivanja 1991-1992. (Dragišić i dr. 2008)
II (HCO₃-Na vode); III (HCO₃-Na-Ca vode)

Hemijski sastav zbirnih rudničkih voda u jami „Soko“, značajno se međutim promenio nakon 2006. godine, odnosno posle iznenadnih priliva do kojih je došlo iz urgonskih krečnjaka južnog oboda ležišta. Utvrđeni hemijski sastav ovih rudničkih voda u periodu 2006-2008. godine (Dragišić i dr. 2008), prikazan je trilinearnim dijagramom (slika 200.).



Slika 200. Trilinearni dijagram hemijskog sastava rudničkih voda jame rudnika „Soko“ za period ispitivanja 2006-2008. (Dragišić i dr. 2008)

I ($\text{HCO}_3\text{-Ca}$ vode); II ($\text{HCO}_3\text{-Na}$ vode); III ($\text{HCO}_3\text{-Na-Ca}$ vode)

Ove rudničke vode koje se javljaju u TN-1z, VN-1z, ETH-1 i drugim rudarskim prostorija na k.55 do k.12. zapadnog polja, imaju malu mineralizaciju do 372 mg/L, hidrokarbonatno-kalcijski i hidrokarbonatno-natrijumski sastav (tabela 50.).

Za razliku od njih, rudničke vode koje se u rudarske radove javljaju iz laporovitih naslaga miocenske serije i ugljonosnog horizonta, imaju znatno složeniji hemijski sastav, tako da se to odražava na hemijski sastav zbirnih rudničkih voda koje se u jami skupljaju u vodosabirniku (tabela 50.).

Za zbirne rudničke vode, karakterističan je znatno viši sadržaj jona sulfata od 87,5 mg/L, za razliku od karstnih podzemnih voda gde sadržaji ne prelaze 13

mg/L, kao i nešto povišena mineralizacija. Ovo ukazuje da u jami, usled obimnog priliva karstnih podzemnih voda, dolazi do znatnog razblaženja hemijskog sastava rudnih voda.

Tabela 50. Hemijski sastav nekih karakterističnih ispitivanih rudničkih voda iz jame rudnika "Soko" (Dragišić i dr. 2008)

Parametar (mg/L)	podzemne vode iz krečnjaka				Vodosabirnik VS-6 k.- 6 (30.04.08)
	TN-1 B-1 (08.02.06)	ETH-12 k.12 (08.02.06)	TN-1z B-1/12 (04.04.06)	TN-1z B-1/30 (04.04.06)	
Na ⁺ +K ⁺	7,36	5,52	17,02	88,13	93,58
Ca ²⁺	90,18	98,19	100,2	42,69	62,12
Mg ²⁺	13,37	9,72	11,55	15,44	18,24
HCO ₃ ⁻	323,3	323,3	370,73	407,28	391,62
SO ₄ ²⁻	12,1	12,1	13,0	10,70	87,50
Cl ⁻	11,34	11,34	8,51	8,51	14,18
NO ₃ ⁻	3,1	4,65	6,29	5,69	1,60
CO ₂	8,8	8,8	35,2	22	7,04
KMnO ₄	2,65	2,36	2,64	2,56	2,18
Fe (uk.)	0,04	0,02	0,24	0,58	0,16
E.provod. (μS/cm)	500	500	521,0	572	662,0
Uk.tvrdoća (°dH)	15,68	15,96	16,66	9,52	12,88
pH	7,35	7,6	7,46	7,85	7,72
M	296,44	300,51	339,13	372,04	469,99

Hidrohemijski model ležišta uglja „Soko“ na osnovu prikazanog hemijskog sastava ispitivanih rudničkih voda u periodu 2006.-2008. god., prikazan je na slici 201.

Hemijski sastav rudničkih voda rudnika „Štavalj“

Rudničke vode ležišta uglja „Štavalj“- centralno polje, bile su predmet obimnijih hidrohemijskih ispitivanja koja su u toku 1987. godine, sproveli stručnjaci „Geoinstitut“-a iz Beograda i 1990. godine stručnjaci sa Rudarsko-geološkog fakulteta iz Beograda.

Predmet ovih ispitivanja pored rudničkih voda iz jame rudnika „Štavalj“, bile su i površinske vode, kao i karstne podzemne vode sa obližnjih vrela i istražnih bušotina koje se javljaju u vidu samoizliva (slika 202.).

Sprovedena hidrohemijska ispitivanja su ukazala na ujednačenost hemijskog sastava rudničkih voda. Posmatrano u celini, sve ispitivane vode u

Za potrebe ovih istraživanja, hidrohemijским ispitivanjima su vršena u:

- OH-800 na k.847 gde se rudničke vode javljaju iz rasedne zone;
- TN-1 na k.810,7 gde se rudničke vode iz starih rudarskih radova iz 2011. godine, javljaju na ispustu blende koja je postavljena na zatvorenom otkopnom hodniku OH-810.

Ove ispitivane rudničke vode, imaju malu mineralizaciju, ali je potvrđeno da za razliku od rudničkih voda iz rasedne zone (OH-800) čija je mineralizacija 238,5 mg/L, rudničke vode iz starih rudarskih radova (OH-810), imaju nešto veću mineralizaciju koja iznosi 463,8 (tabela 51.).

Tabela 51. Makrokomponentni hemijski sastav rudničkih voda rudnika "Štavalj" (19.10.2012.)

Parametar (mg/L)	Na ⁺ Cl ⁻	K ⁺ SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺ HCO ₃ ⁻	Mg ²⁺ NO ₂ ⁻	Fe(uk.) NO ₃ ⁻	Eletropro. (μS/cm) Uk.tvrđ. (°dH)	T (°C) pH	M
OH-800	2,29	3,45	77,2	6,30	0,005	400	13,2	238,5
k.847	1,4	6,4	286,4	0,140	<0,5	12,3	8,1	
OH-810	2,96	4,56	146,0	13,5	0,416	680	13,6	463,8
k.810,8	4,9	48,2	494,0	0,037	0,7	23,6	6,8	

U makrokomponentnom hemijskom sastavu, konstatovane su izvesne sličnosti obzirom da rudničke vode u otkopnom hodniku OH-800, pripadaju hidrokarbonatnoj klasi, kalcijskoj grupi I tipa (C_I^{Ca}), a i rudničke vode iz starih rudarskih radova otkopnog hodnika OH-810, pripadaju takođe hidrokarbonatnoj klasi, kalcijskoj grupi, ali II tipa (C_{II}^{Ca}).

Usled usporene vodozamenе i dužeg zadržavanja rudničkih voda u starim rudarskim radovima, primećen je i značajno veći sadržaj jona sulfata (SO₄²⁻) u ispitivanim rudničkim vodama iz OH-810, koji je iznosio 48,2 mg/L, u odnosu na vode iz rasedne zone gde taj sadržaj iznosi samo 6,4 mg/L (tabela 51.).

U mikrokomponentnom hemijskom sastavu, obzirom na uslove formiranja, rudničke vode karakterišu niski sadržaji teških metala (tabela 52.).

Tabela 52. Mikrokomponentni hemijski sastav rudničkih voda rudnika „Štavalj“ (19.10.2012.)

Parametar (mg/L)	Li Al	Ni Pb	Ti Cr	Zn As	Mn Cu	Co Hg	Be Cd	Ba V	Mo SiO ₂	Sr F
OH-800	0,0045	<0,005	<0,0006	<0,0008	0,022	<0,005	<0,0002	0,134	<0,003	0,538
k.847	0,004	<0,009	<0,002	0,002	<0,001	<0,0005	<0,0008	<0,001	52,5	0,15
OH-810	0,078	<0,005	<0,0006	<0,0008	0,106	<0,005	<0,0002	0,252	<0,003	1,25
k.810,7	<0,002	<0,009	<0,002	0,001	<0,001	<0,0005	<0,0008	<0,001	45,9	0,11

Od ispitivanih mikrokomponenti, nešto povišeni sadržaj ima barijum (Ba) koji se kreće u granicama od 0,134-0,252 mg/L, kao i silicijum-dioksida (SiO₂) od 45,9-52,5 mg/L, čije poreklo u ispitivanim rudničkim vodama, može biti vezano za silikatne minerale u tufovima i vulkanskim piroklastitima koji se sreću u ugljonoj miocenskoj (vulkano-seimentnoj) seriji „Štavlja“.

Hemijski sastav rudničkih voda rudnika „Lubnica“

Ležište uglja „Lubnica“, spada u red slabo odvodjenih ležišta, tako da pažnja hemijskom sastavu rudničkih voda, nije u dosadašnjem periodu pridavana veća pažnja. Za potrebe ovih istrživanja, predmet hidrohemijjskih ispitivanja (april 2011. god.), bile su dve najznačajnije pojave rudničkih voda u jami i to: rudničke vode koje se javljaju iz starih rudarskih radova u otkopnom niskopu ON-1 (k.68) i rudne vode koje se javljale iz sloja uglja sa čela otkopnog hodnika OH-4 (k.65). Pored toga, laboratorijskim ispitivanjima su bile podvrgnute i površinske vode Lubničke reke, koja protiče neposredno duž severnog oboda ovog ležišta.

Sprovedena hidrohemijjska ispitivanja su ukazala da površinske vode Lubničke reke (neposredno pre rudnika), karakteriše mala mineralizacija (198,8 mg/L) i preovlađujući sadržaj jona hidrokarbonata u anjonskom sastavu (158,6 mg/L) i jona kalcijuma u katjonskom sastavu (54,0 mg/L), tabela 53.

Tabela 53. Rezultati laboratorijskih ispitivanja hemijskog sastava rudničkih voda jame rudnika „Lubnica“ i površinske vode Lubničke reke (28.04.2011. god.)

Parametar (mg/L)	Na ⁺ Cl ⁻	K ⁺ SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺ HCO ₃ ⁻	Mg ²⁺ NO ₂ ⁻	Fe (uk.) NO ₃ ⁻	Eletropro. (μS/cm) Uk.tvrđ. (°dH)	T (°C) pH	M
Lubnička reka k.209	5,2 16,0	0,9 35,0	54,0 158,6	9,7 0,02	0,1 -	- 9,8	- 7,6	198,8
ON-1 k.68	682,0 39,4	34,5 128,3	169 2880,0	90,5 0,061	0,598 5,9	3380 44,8	16,1 7,0	2560
OH-4 k.65	621,0 664,8	23,9 244,5	124,0 708,0	48,0 <0,002	1,53 108,6	3870 28,5	16,5 7,6	2074

Za razliku od površinskih voda, rudničke vode koje se formiraju u rudarskim radovima, imaju znatno složeniji hemijski sastav. Radi se zapravo o vodama sa visokom mineralizacijom i to od 2074 - 2560 mg/L. U hemijskom sastavu, utvrđeno je da su rudničke vode koje se u ON-1 javljaju iz starih

rudarskih radova, izrazito hidrokarbonatne klase, natrijumske grupe I tipa ($ClNa$), tabela 53.

Rudne vode iz sloja uglja (OH-4), imaju nešto nižu mineralizaciju (2074 mg/L), ali po klasifikaciji Alekina, pripadaju hloridnoj klasi, natrijumskoj grupi I tipa ($ClNa$).

Veoma je karakterističan visok sadržaj jona hlorida (Cl) u ovim vodama i to od 664,8 mg/L, kao i sulfata (SO_4) od 244,5 mg/L, tako da se u tom pogledu mogu porediti sa rudničkim vodama iz nekih rudnika uglja u Češkoj kao što je Šverma, Odra.

Visok sadržaj hlorida u rudnim vodama, može voditi poreklo od prirodnih minerala iz sedimenata miocenske serije, obzirom da su dosadašnjim hidrogeološkim istraživanjima severoistočno od Lubnice, u području Važogrnjaca, već konstatovane slane podzemne vode u vodonosnim neogenim horizontima. Takođe i andezitske intruzije koje se javljaju u paleoreljefu ugljonosne serije, mogu usloviti povišene sadržaje ovog jona.

U pogledu mikrokomponentnog hemijskog sastava ispitivanih rudničkih voda, karakterističan je sadržaj litijuma (Li) od 0,762 mg/L u rudničkim vodama iz starih radova (ON-1), što je značajno više u odnosu na rudne vode (OH-4) iz sloja uglja (0,371 mg/L), tabela 54.

Tabela 54. Sadržaji ispitivanih mikrokomponentni u rudničkim vodama rudnika „Lubnica“ (28.04.2011. god.)

Parametar (mg/L)	Li Al	Ni Pb	Ti Cr	Zn As	Mn Cu	Co Hg	Be Cd	Ba V	Mo SiO ₂	Sr
ON-1	0,762	<0,005	0,0071	0,009	0,111	<0,005	<0,0002	0,368	0,003	5,01
	0,137	<0,009	<0,002	0,031	0,042	<0,002	<0,0008	0,003	67,6	
OH-4	0,371	<0,005	0,0205	0,005	0,077	<0,005	<0,0002	0,097	0,004	3,33
	0,436	0,015	<0,002	0,099	0,012	<0,002	<0,0008	0,001	57,9	

Povišeni sadržaji silicijum-dioksida (SiO_2) u ovim vodama od 57,9-67,6 mg/L, kao i aluminijuma (Al) u granicama od 0,137-0,436 mg/L, može ukazati na njihovo poreklo iz glinovitih sedimenata miocenske serije, obzirom da gline predstavljaju jednu smešu aluminijum-silikata. Pored toga, silikati se nalaze i u vulkanskim stenama, tako da poreklo SiO_2 u ispitivanim rudničkim vodama, može biti vezano i za silikatne minerale u andezitima koji čine paleoreljef ugljonosnoj seriji.

Barijum (Ba) u nešto povišenom sadržaju od 0,368 mg/L (rudničke vode iz starih rudarskih radova), može biti vezana za složene geohemijske procese koji je odvijaju tokom karbonizacije uglja.

3.4.5. Uslovi formiranja hemijskog sastava rudničkih voda rudnika kamenih i mrkih ugljeva

Sprovedena hidrohemijska ispitivanja rudničkih voda koje se javljaju u rudarskim radovima tokom eksploatacije kamenih i mrkih ugljeva, ukazala su na složene uslove njihovog formiranja. Od površine pa prema dubljim delovima terena, odnosno dubljih delova ležišta uglja, dolazi do značajne izmene hemijskog sastava podzemnih voda. Tako površinske i pozemne vode iz plićih delova terena koje su najčešće male mineralizacije i HCO₃-Ca sastava, podležu metamorfizaciji hemijskog sastava pod uticajem brojnih faktora, ali poseban značaj imaju:

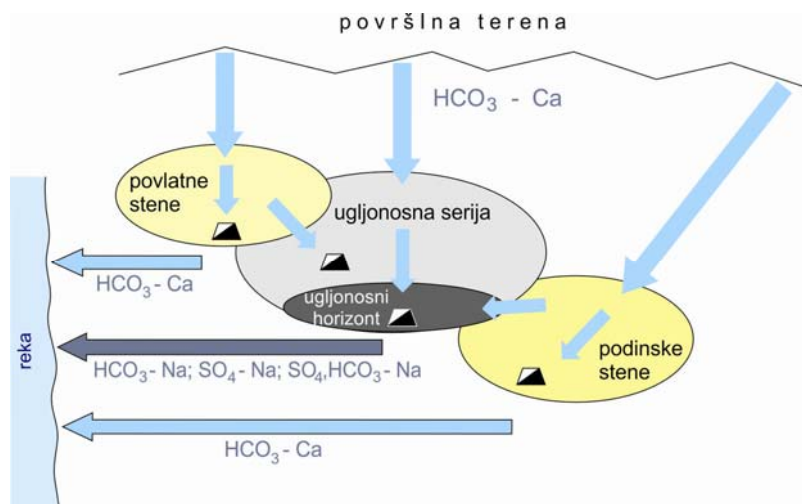
- geološko-tektonske karakteristike litološke sredine u okviru koje je formirano samo ležište uglja, stena njegovog paleoreljefa i povlate;
- filtracione karakteristike litološke sredine kroz koje se izvode rudarski radovi;
- biohemijski i geohemijski procesi koji se odvijaju u samom ležištu uglja (mikroorganizmi, hemijska svojstva elemenata, rastvorljivost hemijskih jedinjenja, pH i oksidaciono-redukциони uslovi);
- antropogeni procesi koji nastaju u geološkoj sredini sa otvaranjem ležišta i njegovog odvodnjavanja tokom eksploatacije uglja, čime se narušava prirodni režim podzemnih voda.

Sprovedena hidrohemijska ispitivanja rudničkih voda rudnika kamenih i mrkih ugljeva Srbije, ukazuju da se zavisno od geološke sredine kroz koju su izrađene rudarske prostorije, jasno izražene razlike u hemijskom sastavu i to kod:

- 1) rudničkih voda koje se javljaju iz ugljonosne serije sedimenata i
- 2) rudničkih voda koje se javljaju iz stena podine ili povlate ugljonosne serije.

Podzemne vode u ugljonosnoj seriji, formiraju se na račun direktne infiltracije površinskih voda ili indirektno preko akvifera koji su formirani u stenama koje čine neposrednu povlatu, odnosno podinu ugljonosnoj seriji (slika 203.). Usled bržih procesa vodozamene, u podinskim i povlatnim stenama

ugljonosne serije, formiran je najčešće hidrokarbonatno-kalcijumskim tip podzemnim voda ($\text{HCO}_3\text{-Ca}$), mineralizacije ispod $M < 1000 \text{ mg/l}$.



Slika 203. Šema formiranja hemijskog sastava rudničkih voda u sedimentima ugljonosne serije i okolnih stena ležišta kamenih i mrkih ugljeva Srbije

Kada se podzemne vode nađu u ugljonosnoj seriji (ugljonosnom horizontu), tada usled usporenih procesa vodozmena koji vladaju u toj sredini, dolazi do metamorfizacije hemijskog sastava voda sa dubinom. U ugljonosnoj seriji se tako formiraju $\text{HCO}_3\text{-Na}$, $\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Na}$ ili $\text{SO}_4\text{-Na}$ tipa voda (slika 203.). Mineralizacijom ovih voda je obično veća od $M > 1000 \text{ mg/L}$.

Formiranje hemijskog sastava izdvojenih grupa rudničkih voda, uslovljen je često uticajem mnogih već navedenih faktora, tako da se u okviru svake izdvojene grupe, javljaju izvesne specifičnosti.

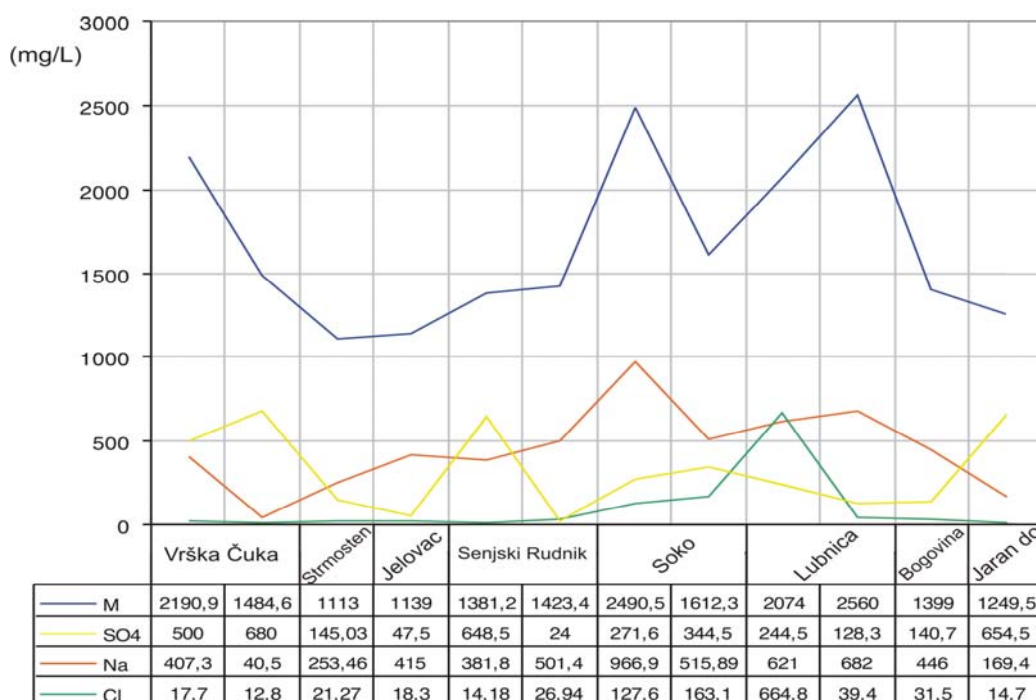
3.4.5.1. Uslovi formiranja hemijskog sastava rudničkih voda u ugljonosnoj seriji

Posebno hidrohemijško obeležje rudničkim vodama koje se javljaju u rudarskim radovima izvedenih kroz ugljonosnu seriju i sam ugljonosni horizont, daje im u prvom redu povišeni sadržaj jona sulfata (SO_4^{2-}), a zatim i joni natrijuma (Na^+). U pojedinim slučajevima, treći karakteristični jon u ovim rudničkim vodama se javlja jon hlorida (Cl^-).

U pogledu mineralizacije, javljaju se međutim izvesne razlike, tako da rudničke vode istog hemijskog tipa, mogu u jednom slučaju biti sa povišenom

mineralizacijom ($M > 1000$ mg/L), a u drugom slučaju da imaju mineralizaciju $M < 1000$ mg/L. Iz tog razloga, njihov prikaz će na ovom mestu, biće posredno dat.

Rudničke vode sa povišenom mineralizacijom u ugljonoj seriji javlja se u većini analiziranih ležišta kamenih i mrkih ugljeva. Na uporednom dijagramu (slika 204.), prikazana su ležišta uglja u kojima su konstatovane rudničke vode povišene mineralizacije (M) i to uporedo sa sadržajima karakterističnih jona SO_4^{2-} , Na^+ , Cl^- .



Slika 204. Uporedni dijagram sadržaja karakterističnih makrokomponenti hemijskog sastava rudničkih voda ($M > 1000$ mg/L) u ugljonoj seriji ležišta kamenih i mrkih ugljeva

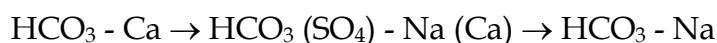
Analizirane rudničke vode, prema klasifikaciji O.A.Alekina, pripadaju tipovima voda kao što je to prikazano u tabeli 55.

Hidrokarbonatno-natrijumske rudničke vode (HCO_3-Na) se najčešće sreću u rudarskim radovima koji se izvode kroz ugljonoj seriju. Ove vode se nazivaju i sodne vode (Na_2CO_3). Na osnovu opšte prihvaćene teorije, osnovni proces formiranja ovih voda, pored jonske izmene ($Ca \rightarrow Na$), jeste desulfatizacija u prisustvu bakterija za šta je neophodan izvor organske materije (ugalj), sulfatnih jona, ali i postojanje anaerobne sredine, na šta ukazuje pojava metana u gasnom sastavu rudničkih voda.

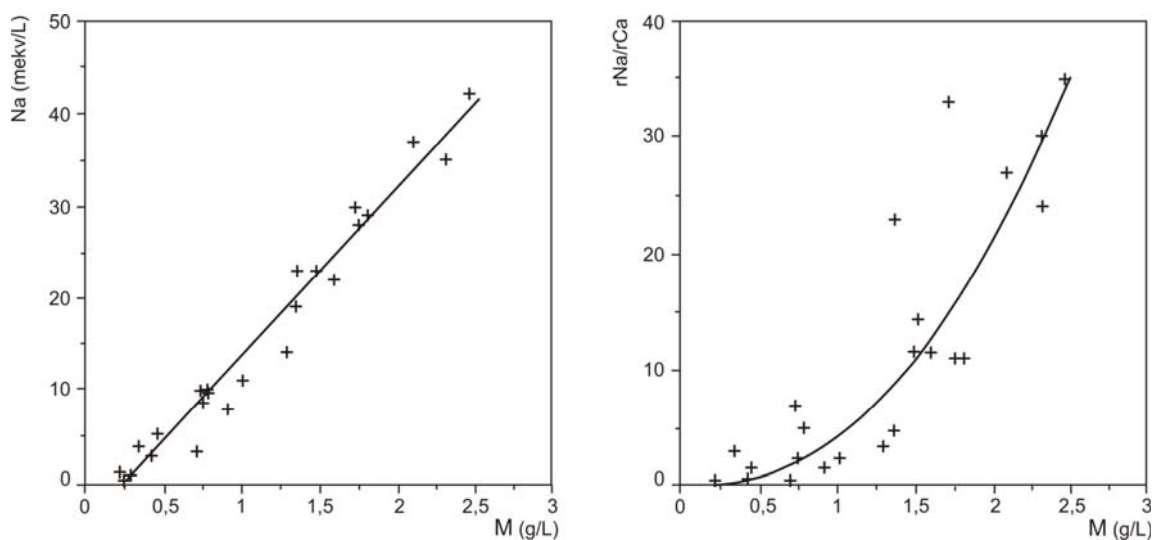
Tabela 55. Hidrohemijski tipovi rudničkih voda mineralizacije $M > 1000$ mg/L u ugljonoj seriji kamenih i mrkih ugljeva Srbije

Hidrokarbonatne vode	C_I^{Na} Strmosten, Jelovac, Senjski R., Soko, Lubnica, Bogovina	C_{II}^{Na} Vrška Čuka	
Sulfatne (sulfatno-hidrokarbonatne) vode	S_I^{Na} Senjski Rudnik	S_{II}^{Mg-Na} Jaran do	SC_{II}^{Mg-Na} Vrška Čuka
Hloridne vode	Cl_I^{Na} Lubnica		

Gledajući u profilu od površine terena pa prema dubljim delovima ugljonoj serije, podzemne vode podležu metamorfizaciji hemijskog sastava u pravcu:

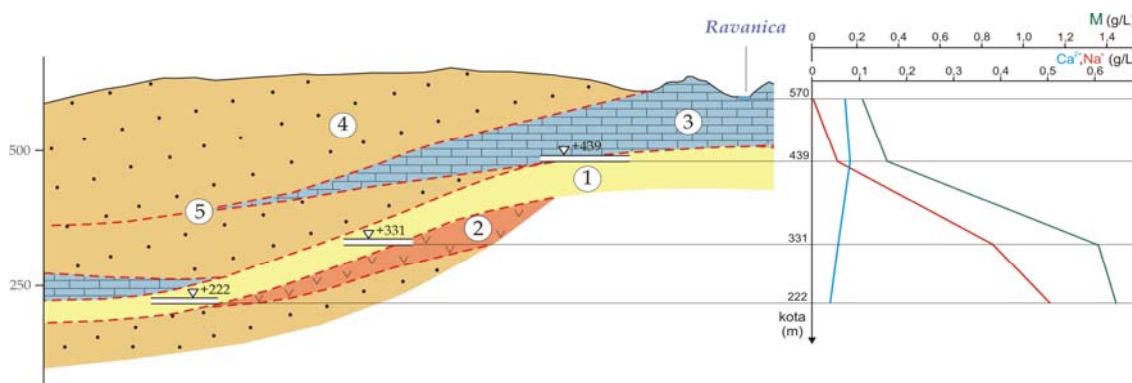


Na primeru ispitivanih rudničkih voda rudnika „Soko”, postoji pravilna izmena hemijskog sastava. Sa mineralizacijom, raste sa dubinom sadržaj natrijumovih jona (izrazita korelacija), kao i izmene koeficijenta rNa/rCa (slika 205.).



Slika 205. Korelacioni dijagram zavisnosti mineralizacije i koncentracije jona natrijuma (a) i mineralizacije i koef. rNa/rCa za ispitivane vode svih tipova izdani u ležištu uglja „Soko” (Dragišić i dr. 1994)

Hidrohemijaska pravilnost u formiranju hidrokarbonatno-natrijumskih rudničkih voda je konstatovana i u rudnicima resavsko-moravskog basena („Strmosten“, „Senjski Rudnik“). Na slici 206, grafički je prikazan primer metamorfizacije hemijskog sastava rudničkih voda u jami „Senjski Rudnik“.



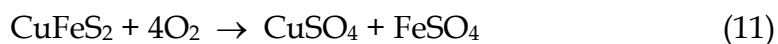
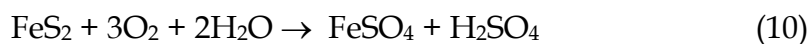
Slika 206. Šematski geološki profil sa uporednim dijagramom promene mineralizacije (M) i sadržaja jona Ca^{2+} i Na^+ u rudničkim vodama jame „Senjski Rudnik“ (Miladinović 2004)

1. ugljonošna miocenska serija; 2. dacito-andeziti; 3. krečnjaci jure (alohton);
4. crveni permški peščari (alohton); 5. - - - - površ navlake

Sulfatne rudničke vode su jako zastupljene u rudnicima kamenih i mrkih ugljeva, pri čemu imaju jako raznoliku katjonsku pripadnost (tabela 55.). Povišen sadržaj jona sulfata u rudničkim vodama, najčešće ukazuje na njihovo poreklo od rudnih voda iz sloja uglja (poglavlje 3.4.1.).

Veliki značaj kod obogaćenja rudnih, odnosno rudničkih voda jonima sulfata, imaju procesi oksidacije uglja u ugljonošnom horizontu, u kome sumpor može imati *organsko* poreklo gde potiče ih protoplazme biljnih ćelija, zatim *sulfidno* gde je vezan za sulfidne minerale (pirit, halkopirit, galenit), kao i *sulfatno* vezan za gips, anhidrit i dr. Dakle, u zoni neposrednog rasprostranjenja ležišta uglja, na formiranje sulfatnih rudničkih voda, uticaj ima kako proces oksidacije organske materije, tako i oksidacija neorganskih komponenata u uglju.

Proces oksidacije sulfida (pirita, halkopirita i galenita) u uglju, odvija se po sledećim jednačinama:



Pirit (FeS_2) u uglju nastaje redukcijom sulfata, pomoću organske materije. Izgled zrna pirita u uglju ležišta „Lubnica“, prikazan je na slici 207.



Slika 207. Izgled grudvastih agregata pirita (FeS_2) u uglju lubničkog ugljonosnog basena (foto B.Miladinović)

Kod uslova formiranja sulfatnih rudničkih voda, značaj ima hemijski sastav izdanskih voda od kojih su prvobitno nastale rudničke vode, kao i stadijum oksidacije uglja.

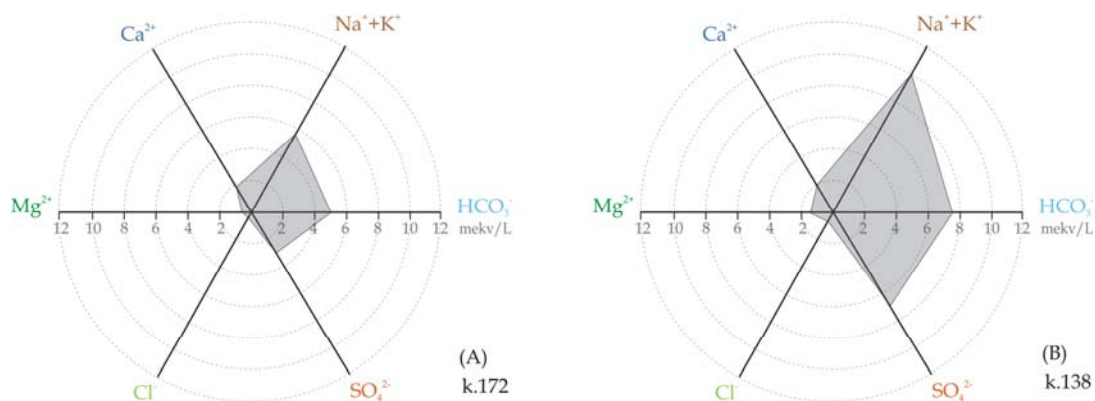
Sprovedena hidrohemijaska ispitivanja ukazuju da se razmatrane sulfatne rudničke vode povišene mineralizacije, formiraju isključivo u ležištima uglja ili u delovima nekih ležišta, koja nisu u kontaktu sa vodoobilnom krečnjačkom

sredinom za koju su karakteristične malomineralizovane podzemne vode hidrokarbonatno-kalcijskog sastava i brz proces vodozamene.

Sulfatne rudničke vode se javljaju u sledećim ležištima uglja: „Jarando“, „Ušće“, „Dobra Sreća“ i delovi ležišta „Senjski Rudnik“, „Vrška Čuka“ – stara jama „Sv.Đorđe“.

Sulfatno-natrijumske rudničke vode su karakteristične za jamu „Senjski Rudnik“ i jamu „Jarando“. Za formiranje sulfatno-natrijumskih rudničkih voda u jami „Senjski Rudnik“ (k.331), najznačajniju ulogu pored oksidacije uglja, koja je uslovljena intenzivnim provetravanjem rudarskih prostorija (duž trase dovoda sveže vazdušne struje), imaju i andeziti koji čine tektonsku podinu jednog dela ležišta uglja. Metamorfizacija hidrokarbonatno-natrijumskih rudničkih voda u sulfatno-natrijumske, ukazuje i na moguće postojanje sulfidnog orudnjenja u andezitima, odnosno intenzivnu oksidaciju sulfida u andezitima.

U rudniku „Jarando“, andeziti su mestimično probili i samu ugljonosnu seriju (slika 12.). Grafički prikaz metamorfizacije hidrokarbonatno-natrijumskih rudničkih voda u rudniku „Jarando“, u hidrokarbonatno-sulfatno-natrijumski tip, prikazan je na slici 208.



Slika 208. Uporedni radijalni dijagram hemijskog sastava rudničkih voda iz rudnika „Jarando“

(dijagram A: hidrokarbonatno-natrijumske rudničke vode sa kote 172;
dijagram B: hidrokarbonatno-sulfatno-natrijumske rudničke vode sa kote 138)

Sulfatno-magnezijske rudničke vode koje se sreću u nekim rudnicima kamenog uglja („Vrška Čuka“, „Jarando“), obično se formiraju u kontaktnim zonama ležišta uglja sa okolnim stenama određenog litološkog sastava. Ovaj proces se odvija usled delovanja sumporne kiseline koja se oslobađa pri oksidaciji pirita u uglju prema gore prikazanoj jednačini 10., na okolne stene koje sadrže kalcijske minerale (Dimitrijević i Papić 1989), kao na primer anortit u magmatskim stenama, odnosno stene koje sadrže dolomit (serpentinit, dolomitične kongrecije u uglju-ankerit i dr.).

U ovim zonama, rudničke vode imaju visoku mineralizaciju, međutim sama mineralizacija i hemijski sastav rudničkih voda je promenljiva i to zavisno od dinamičnosti procesa vodozamenje koja se vrši u ovoj sredini, kao i od stadijuma oksidacije sulfida u uglju. Kako je obično količina sulfidne mineralizacije u uglju relativno mala, vodeni rastvori zato i nisu tako bogati teškim metalima, što su potvrdile kompletne hemijske analize rudničkih voda iz uglja (Poglavlje 3.4.4.).

Hloridne rudničke vode, posebno su karakteristične za eksploataciono polje uglja „Osojno“ u lubničkom basenu. Sadržaj jona hlorida (Cl^-) u ovim rudničkim vodama, konstatovan je od 664,8 mg/L. Kod ostalih ležišta uglja, ovaj jon u rudničkim vodama retko dostiže sadržaj od 30 mg/L, osim u rudnim vodama ležišta uglja „Soko“, gde su hloridi sadržani u granicama od 127,6 – 163,1 mg/L (slika 204.).

Postojanje hloridno-natrijumskih podzemnih voda je relativno retko u prirodi i obično ukazuje na područja u kojima se vrši rastvaranje sonih ležišta.

Pored toga, ove vode mogu da se formiraju i u vodonosnom horizontu, bez obzira što u njemu nema kristala halita (Samarina 1963). Za nastanak hloridno-natrijumskih voda na ovaj način, značaj ima mešanje hidrokarbonatno-natrijumskih voda sa hloridno-kalcijskim vodama, što u izvesnoj meri odgovara slučaju koji postoji u ležištu uglja „Osojno“. Zapravo, u ovom ležištu, pored hloridno-natrijumskih rudnih voda, konstatovano je u starim rudarskim radovima i postojanje hidrokarbonatno-natrijumskih voda. Mešanje ovih voda, ide po sledećoj šemi (Dimitrijević 1988):

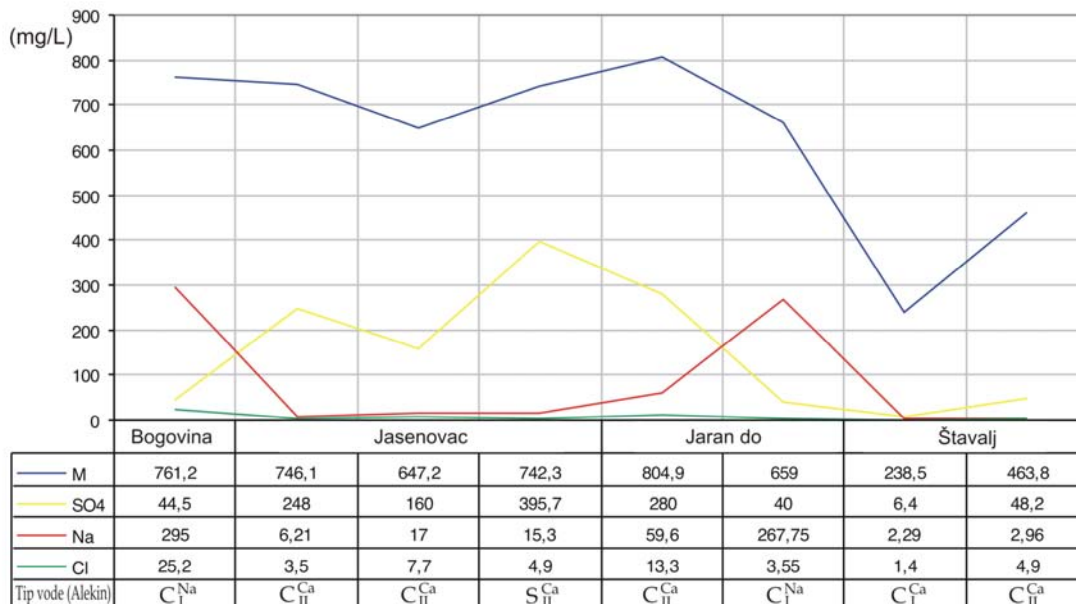


Kako je za hloridno-natrijumske vode veoma karakterističan odnos r_{Cl^-} i r_{Na^+} , u navedenom slučaju katjonske izmene, treba da je $r_{\text{Cl}^-} > r_{\text{Na}^+}$. Ipak, konstatovani slučaj u ležištu uglja „Osojno“ je takav da je $r_{\text{Cl}^-} < r_{\text{Na}^+}$ ($50 < 73$), što ukazuje da se formiranje hemijskog sastava ovih rudničkih voda, mora vezati za koru raspadanja eruptivnih stena koje su siromašne hlorom, a one su kao stene, zastupljene u paleoreljefu ugljonosne neogene serije „Lubnice“. U ovom slučaju, po Sulinu 1948, poreklo jona hlorida i natrijuma u vodi, može biti jako različito. Joni natrijuma dospevaju u podzemne vode, obično posle hidrolitičkog razlaganja natrijumskih alumosilikata (kaolinitske gline koje se sreću u uglju), a joni hlorida prilikom rušenja kristalne rešetke nekih drugih minerala koji sadrže hloride i to bez obzira da li u rasejanom obliku, u vidu tečnih inkluzija ili u nekom drugom stanju.

Malomineralizovane rudničke vode u ugljonosnoj seriji ($M < 1000$ mg/L), javljaju se u delovima analiziranih ležišta uglja u kojima postoji relativno brz proces vodozamenene, tako da one nisu zahvaćene značajnijom metamorfizacijom hemijskog sastava. U najvećem broju slučajeva se radi o hidrokarbonatno-kalcijskim vodama, a posebno su u tom pogledu karakteristične rudničke vode u jami „Štavalj“, koje su jako malo mineralizovane, čak i kada su u pitanju rudničke vode iz starih rudarskih radova ($M = 463,8$ mg/L), slika 209. Ovim je potvrđen izražen uticaj koji imaju površinske i karstne izdanske vode na ovodnjenost ovog ležišta uglja.

U dubljim delovima ležišta uglja „Bogovina“ (k.-15,2) koje je karakteristično po prisustvu povlatnih glina sa izraženim sposobnostima bubrenja, kao i u „spuštenom delu“ (otkopnom polju OP-3, k.63) ležišta uglja

„Jarando”, javljaju se hidrokarbonatno-natrijumske rudničke vode ili tzv. sodne vode. O osnovnom procesu formiranja ovih voda već je bilo reči.

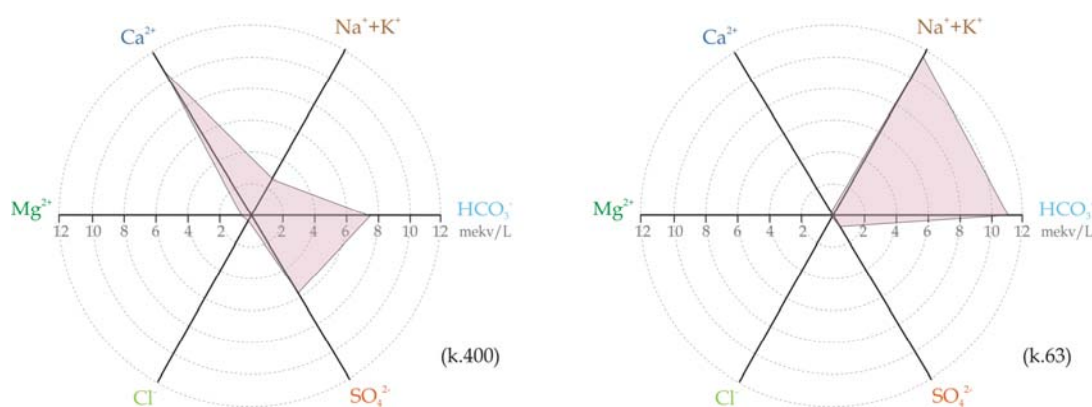


Slika 209. Uporedni dijagram sadržaja karakterističnih makrokomponenti hemijskog sastava rudničkih voda ($M < 1000$ mg/L) u ugljonoj seriji ležišta kamenih i mrkih ugljeva

U ležištu kamenog uglja „Jarando”, zapaženo je da u „staroj jami” koja se nalazi u plićim delovima ležišta i to iznad lokalnog erozionog bazisa (k.400), postoji izraženiji proces oksidacije uglja, tako da rudničke vode sadrže jone sulfata od 280 mg/L i mineralizaciju $M = 804,9$ mg/L.

U najdubljem delu jame u „spušenom delu” (k.63), gde vladaju usporeni procesi vodozamene i manje izražena oksidacija uglja (redukciona sredina), rudničke vode imaju mineralizaciju $M = 659$ mg/L, sadržaj jona sulfata od samo 40 mg/L, ali povećani sadržaj jona natrijuma od 267,75 mg/L (slika 210.).

U ležištu uglja „Jasenovac”, zbog uticaja karstnih izdanskih voda koje su formirane u alohtonim jurskim krečnjacima krovine ležišta, rudničke vode imaju uglavnom hidrokarbonatno-kalcijski sastav (slika 197.). Međutim, u najdubljem delu jame na k.180, konstatovane su **sulfatno-kalcijske rudničke vode**. Poreklo sulfata kalcijuma u ovim rudničkim vodama, jeste oksidacija sulfida (pirita po jednačini 10.), pri čemu se formira sumporna kiselina, a pri njenom dodiru sa jurskim krečnjacima povlate uglja, dolazi do povećanja sadržaja jona kalcijuma i sulfata u vodenom rastvoru, prema sledećoj jednačini:



Slika 210. Uporedni radijalni dujagram hemijskog sastava malomineralizovanih rudničkih voda sa pojedinih etaža ugljunosne serije ležišta „Jarando“

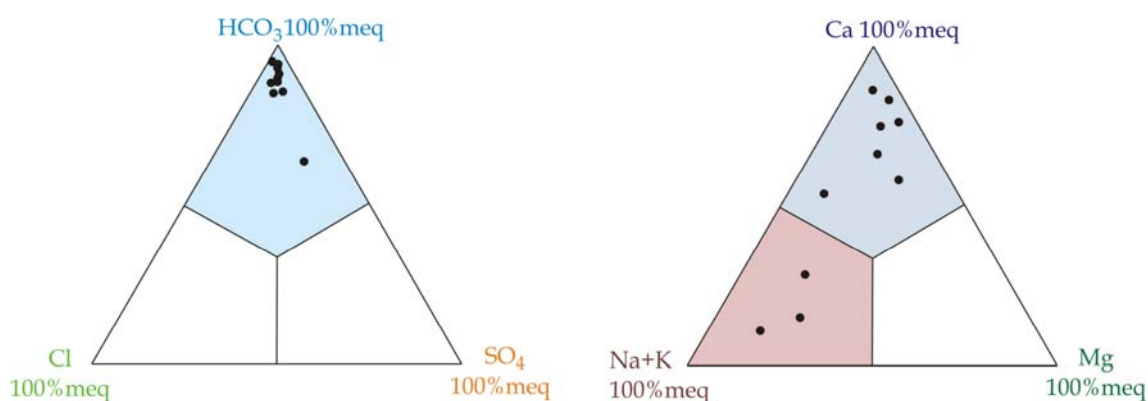
3.4.5.2. Uslovi formiranja hemijskog sastava rudničkih voda paleoreljefa i povlate ugljunosne serije

Zbog potrebe eksploatacije uglja, rudarske prostorije se često izrađuju kroz stene različitog litološkog sastava paleoreljefa ili povlate ugljunosne serije. Najčešće su to prostorije izvedene kroz: mezozojske krečnjake („Strmosten“, „Jelovac“, „Senjski Rudnik“, „Jasenovac“, „Soko“), permske pešcare („Strmosten“, „Jelovac“, „Senjski Rudnik“), rožnace („Jasenovac“), andezite („Jarando“, „Lubnica“), pliocenske tvorevine („Bogovina“, „Soko“) i dr.

Tokom hidrohemijških ispitivanja, najveća pažnja je posvećena hemijskom sastavu rudničkih voda iz karstne izdani. To su karakteristične **hidrokarbonatno-kalcijske vode** ($\text{HCO}_3\text{-Ca}$) za ovu sredinu, male mineralizacije koja se kreće od 296,44 mg/L (jama „Soko“ – iz jamske bušotine B-1 u TN-1), do 436,29 mg/L (jama „Strmosten“ – betonska kaptaža u prekopu na k.45).

Rezultati hemijskih ispitivanja karstnih podzemnih voda koje se javljaju u kontaktnoj zoni krečnjaka sa ugljunosnom serijom, ukazuju međutim na izvesne specifičnosti, jer je utvrđeno prisustvo malomineralizovanih, **hidrokarbonatno-natrijumskih voda** ($\text{HCO}_3\text{-Na}$), slika 211. Ove promene su uočene u zoni kontakta krečnjaka sa ugljunosnom serijom ležišta uglja

„Strmosten“, „Jelovac“, „Soko“, odnosno u svim rudnicima uglja u Srbije u kojima su rudarske prostorije izvedene kako kroz ugljonosnu seriju, tako jednim delom i kroz kontaktnu karstnu sredinu.



Slika 211. Fereev dijagram hemijskog sastava podzemnih voda koje se iz krečnjaka javljaju u rudarske radove jame „Strmosten“, „Jelovac“ i „Soko“

Hidrokarbonatno-natrijumski sastav podzemnih voda u ovom delu karstnog akvifera, predstavlja posledicu mešanja podzemnih voda iz ugljonosne miocenske serije koje su hidrokarbonatno-natrijumskog sastava i povišene mineralizacije, sa hidrokarbonatno-kalcijskim vodama male mineralizacije iz krečnjaka. Bitan uslov koji pri tome mora biti ispunjen je postojanje jako usporenog procesa vodozamenje u kontaktnom delu karstnog akvifera, a njega najčešće uslovljavaju glinovite sekundarne ispune.

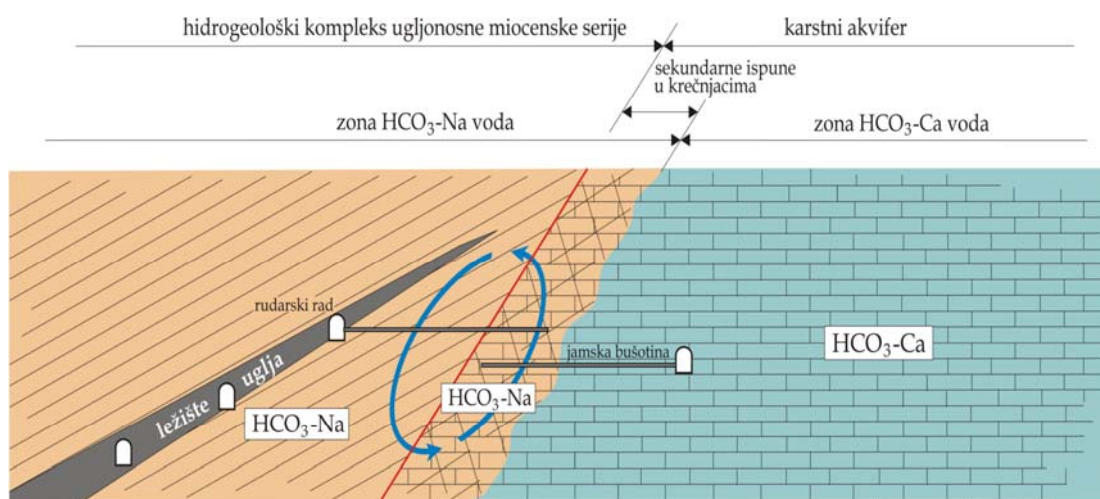
U jami „Strmosten“ (resavsko-moravski basen), zona hidrokarbonatno-natrijumskih podzemnih voda u krečnjacima je konstatovan u rudarskom hodniku (prekop, k.45) na udaljenosti oko 50 m od kontakta sa ugljonosnom serijom (slika 194.).

U jami „Jelovac“ (resavsko-moravski basen), ova zona je potvrđena istražnim bušotinama koje su iz rudarskog hodnika IH-4 u krečnjacima, bušene 61,5 m u pravcu ugljonosne serije. Slični rezultati su dobijeni i horizontalnim bušotinama u rudniku „Soko“ (sokobanjski basen), koje su iz niskopa TN-1z koji je u krečnjacima, izvedene u pravcu ugljonosne serije na dužini od 58,5 m. Hemijski sastav podzemnih voda iz navedenih rudarskih prostorija, prikazan je formulom Kurlova u tabeli 56.

Tabela 56. Karakteristični hemijski sastav podzemnih voda u zoni kontakta krečnjaka i ugljunosne serije ležišta uglja „Strmosten“, „Jelovac“ i „Soko“, prikazan formulom Kurlova

jama „Strmosten“	jama „Jelovac“	jama „Soko“
$M_{0,44} \frac{\text{HCO}_3^3 \text{ SO}_4^4 \text{ Cl}_6}{\text{Na+K}_{62} \text{ Mg}_{23} \text{ Ca}_{15}}$	$M_{0,42} \frac{\text{HCO}_3^3}{\text{Na+K}_{75} \text{ Mg}_{14} \text{ Ca}_{11}}$	$M_{0,37} \frac{\text{HCO}_3^3}{\text{Na+K}_{53} \text{ Ca}_{29} \text{ Mg}_{18}}$

Prikazani primeri, ukazuju na postojanje hidrohemijske zonalnosti podzemnih voda u kontaktnom delu karstnom akviferu prema ležištu uglja i to po šemi koja je prikazana na slici 212.



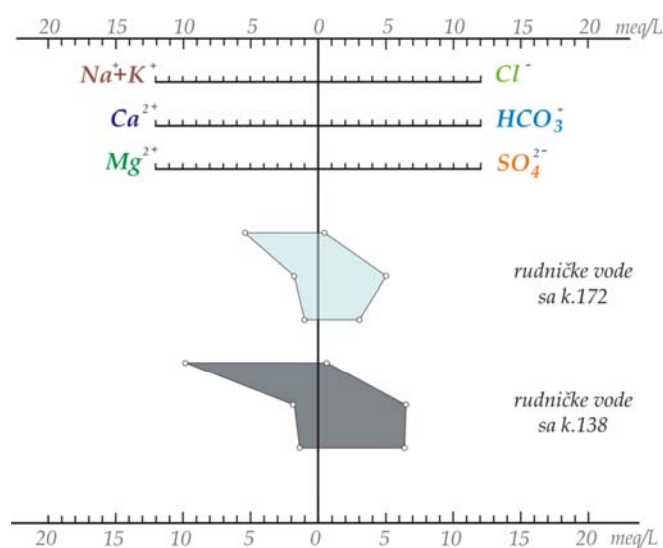
Slika 212. Šema hidrohemijske zonalnosti podzemnih voda u zoni kontakta krečnjaka i ugljunosne miocenske serije

Najznačajniji prilivi rudničkih voda u rudarske prostorije izvedene kroz andezite, javljaju se u jami „Jarando“ (ibarski basen). Hidrohemijska ispitivanja ovih voda su ukazala da se u andezitima sa dubinom, vrši takođe metamorfizacija hemijskog sastava podzemnih voda.

U vetrenom niskopu VNp-1 na k.172, odnosno u plićim delovima andezitskog proboja koji je zahvatio ugljunosnu seriju, konstatovane su rudničke vode **hidrokarbonatno-natrijumskog sastava** ($C_I\text{Na}$).

U dubljem delu niskopa VNp-1 (k.138), iz andezita se javljaju rudničke vode znatno složenijeg hemijskog sastava, **hidrokarbonatno-sulfatno-**

natrijumskog sastava (CS_{I}^{Na}). Hemijski sastav ovih voda je prikazan na slici 213., grafikonom H.Štiffa:



Slika 213. Dijagram ortogonalnih koordinata hemijskog sastava rudničkih voda iz andezita u jami „Jarando“ (Ibarski basen)

Konstatovan hidrokarbonatno-sulfatno-natrijumski sastav rudničkih voda u andezitima (k.138), može ukazati na izraženije procese oksidacije sulfida u samim andezitima, ali i na oksidaciju uglja u ležištu.

3.4.5.3. Karakteristike mikrokomponentnog hemijskog sastava rudničkih voda ležišta kamenih i mrkih ugljeva Srbije

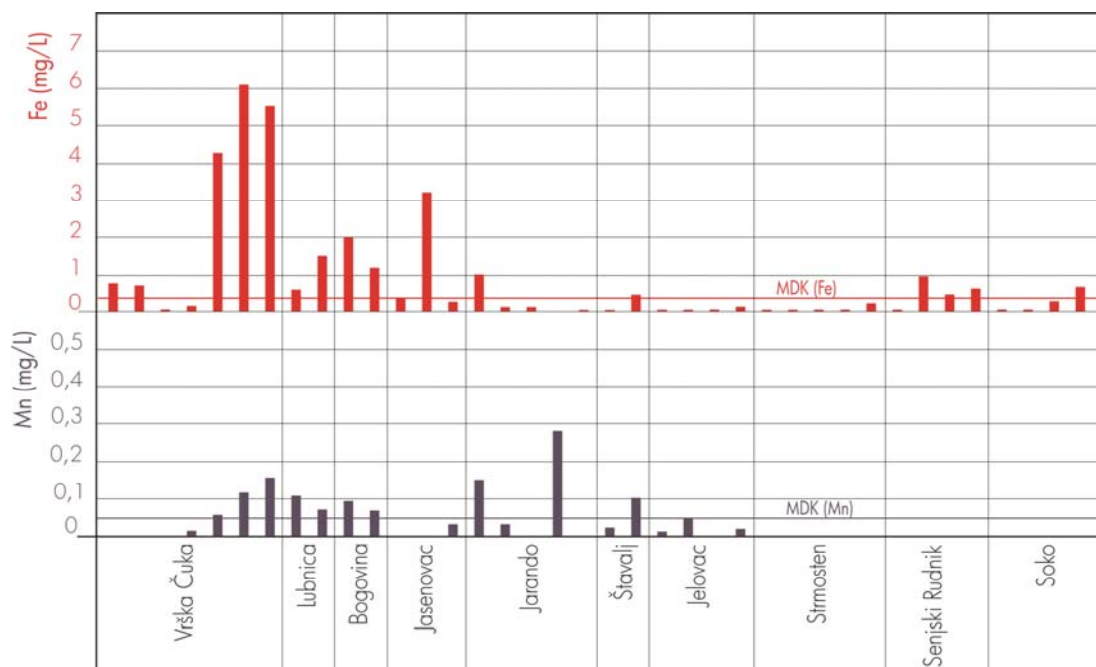
Teški metali se nalaze u jako malim sadržajima u ispitivanim rudničkim vodama ležišta uglja i to usled niske rastvorljivosti njihovih hidroksida i nestabilnosti hidrokarbonata koji ih hidrolizuju. Pored toga, na ograničenu pokretljivost mikroelemenata, uticaj ima i absorpcija glinovitih materijala, koji ih izvlače iz vodenih rastvora uz pomoć mikroorganizama.

U ispitivanim rudničkim vodama ležišta kamenih i mrkih ugljeva, konstatovani su povećani sadržaji veoma ograničenog broja mikroelemenata. Gvožđe (Fe) i mangan (Mn) se sreću u svim ispitivanim rudničkim vodama, a u povećanim koncentracijama ima i arsena (As), stroncijuma (Sr), ređe olova (Pb). Pored toga, silicijum-dipksid (SiO_{2}), litijum (Li) i alumunijum (Al), sreću se takođe u nešto povišenim koncentracijama.

Prisustvo **gvožđa** (Fe) u rudničkim vodama, predstavlja posledicu oksidacije sulfida gvožđa u uglju i ugljonosnim sedimentima, kao i drugih sulfida i sulfosola sa sadržajem gvožđa. Kao i u prirodnim vodama, tako i u rudničkim vodama ležišta uglja, gvožđe se nalazi u dvovalentnom obliku kao ferojon (Fe^{2+}), ali u oksidacionoj zoni i uz učešće često gvožđevitih bakterija, prelazi u trovalentno gvožđe (Fe^{3+}) i to brže u koliko je sredina alkalnija.

Gvožđe u rudničkim vodama prate i manganova jedinjenja i to u obliku hidrokarbonata-mangana $\text{Mn}(\text{HCO}_3)_2$, a u dubljim delovima ležišta u obliku sulfata mangana.

Sadržaj gvožđa i mangana u ispitivanim rudničkim vodala ležišta kamenih i mrkih uglja Srbije, prikazan je na slici 214.



Slika 214. Dijagram sadržaja gvoždja (Fe_{uk}) i mangana (Mn) u rudničkim vodama ležišta kamenih i mrkih ugljeva Srbije

Arsen (As) u rudničkim vodama se javlja u jako malim koncentracijama, bez obzira na njegovu veliku pokretljivost u prirodi nakon oslobađanja iz arseničkih rudnjenja koja se mogu naći i u peskovito-glinovitim tvorevinama koje su inače karakteristične sredine u kojima su formirana mnoga ležišta kamenih i mrkih ugljeva u Srbiji.

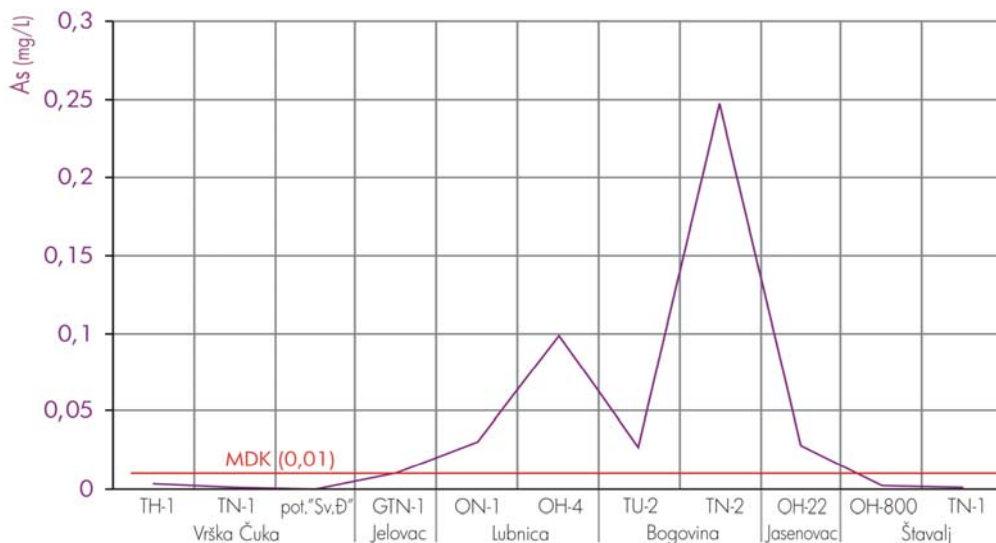
Osnovni oblici arsena u podzemnim vodama su neorganski trovalentni arsenit $\text{As}(\text{III})$ i petovalentni arsenat $\text{As}(\text{V})$, sa pratećim metilovanim formama

(Aker i Naudij 2006). Oblik As(III) je znatno prisutniji u podzemnim vodama, ali i toksičniji od As(V).

Oblici arsena u podzemnim vodama kao i njihovo valentno stanje, zavise od: oksidaciono-redukcionih uslova sredine i pH vode, biološke aktivnosti, sadržaja organskih materija, veličina čestica, kao i od filtracionih karakteristika samog akvifera.

U redukcionoj sredini, arsenit As(III) je stabilan u obliku nejonizovane arsenske kiseline H_3AsO_3 i arsenitnog anjona $H_2AsO_3^-$. U oksidacionoj sredini sa pH od 6-10, prisutniji je arsenat As(V) i to u anjonskim oblicima $H_2AsO_4^-$, $HAsO_4^{2-}$, AsO_4^{3-} (Yu i dr. 2003).

Najveći sadržaji arsena u ispitivanim rudničkim vodama, konstatovani su u ležištu uglja „Bogovina“, gde se kreće do 0,247 mg/l. Prikaz sadržaja arsena u rudničkim vodama ležišta kamenih i mrkih ugljeva Srbije, dat je na slici 215.



Slika 215. Dijagram promene sadržaja arsena (As) u rudničkim vodama ležišta kamenih i mrkih ugljeva Srbije

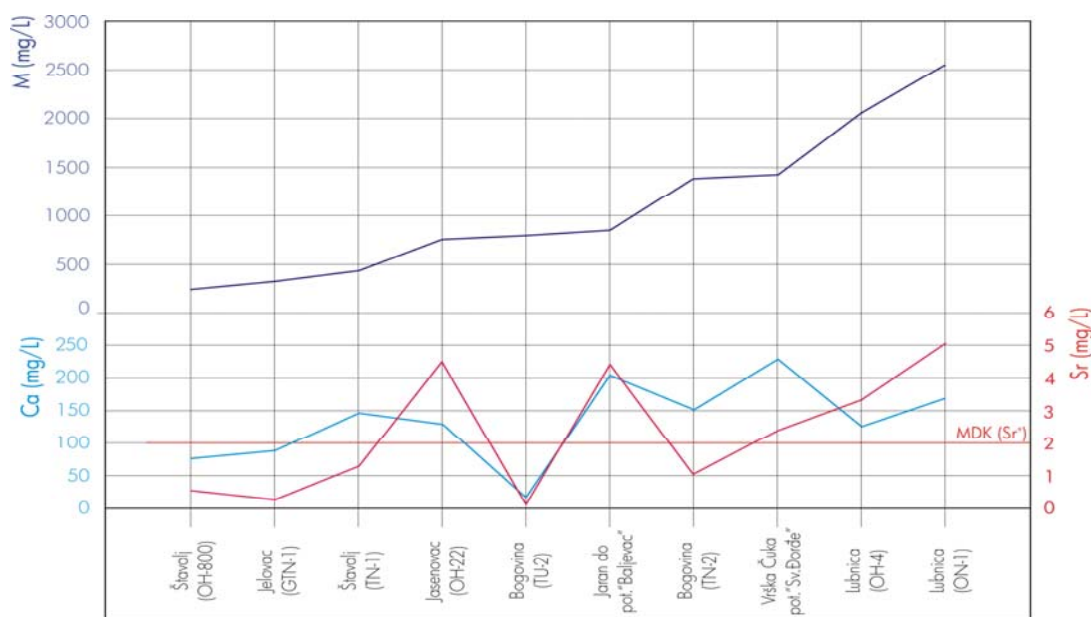
Stroncijum (Sr) predstavlja smešu četiri prirodna izotopa (^{84}Sr , ^{86}Sr , ^{87}Sr i ^{88}Sr). Relativno je malo zastupljen element i najčešće se u prirodi nalazi u obliku teško rastvorljivih minerala i to: celestina (stroncijum-sulfata $SrSO_4$) i stroncijanita (stroncijum-karbonata $SrCO_3$). U sedimentnim stenama, stroncijum je najzastupljeniji u stenama u kojima su formirana ležišta gipsa, kao i u glinovito-karbonatnim stenama, uz napomenu da ga najmanje ima u čistim glinama.

Stroncijum u podzemnim vodama prati kalcijum, a migraciona sposobnost mu je mnogo bolja u hloridnom i hidrokarbonatnom sastavu voda, kao što je slučaj sa utvrđenim hloridnim i hidrokarbonatnim rudničkim vodama ležišta uglja „Lubnica“. U ovim vodama, konstatovani su najveći sadržaju stroncijuma u rudničkim vodama od svih ležišta kamenih i mrkih ugljeva Srbije ($Sr^{+} = 5,01 \text{ mg/L}$) i to u skladu sa postojećim teorijama da njegov sadržaj raste sa porastom mineralizacije i sadržaja kalcijuma, kao što je prikazano u tabeli 57.

Tabela 57. Zavisnost porasta sadržaja stroncijuma (Sr^{+}) u rudničkim vodama ležišta uglja „Lubnica“ od mineralizacije (M) i sadržaja kalcijuma (Ca^{2+})

rudarska prostorija	mg/L		
	M	Ca ²⁺	Sr ⁺
OH-4	2074,0	124,0	3,33
ON-1	2560,0	169,0	5,01

Promena sadržaja stroncijuma u ispitivanim rudničkim vodama ležišta kamenih i mrkih ugljeva Srbije, zavisno od njihove mineralizacije i sadržaja kalcijuma, prikazan je na slici 216.



Slika 216. Uporedni dijagram mineralizacije (M), sadržaja kalcijuma (Ca) i stroncijuma (Sr) u rudničkim vodama ležišta kamenih i mrkih ugljeva Srbije

Obzirom na biološku aktivnost stroncijuma, preporuka je Svetke zdastvene organizacije, da vode koje se koriste za vodosnabdevanje, ne sadrže stroncijum iznad 2 mg/L (slika 216.).

Olovo (Pb) u rudničkim vodama ležišta uglja, sreće se relativno retko u sadržajima iznad 0,01 mg/L, kolika je propisana granica u vodi za piće. Njegovo prisustvo u vodama je vezano za veoma nisku rastvorljivost prirodnih jedinjenja olova kao što su anglezit $PbSO_4$, ceruzit $PbCO_3$ i dr. Zato, nešto povećani sadržaji olova u nekim rudničkim vodama ležišta uglja, vezan je za njihovu blizinu sa vulkanskim stenama (andezitima), u kojima postoji mogućnost prisustva orudnjenja polimetalčnih ležišta.

Pojava u rudničkim vodama jame „Jelovac“ (u GTN-1 sadržaji olova od 0,024 mg/L i u GTN-2 od 0,013 mg/L, koji su izvedeni kroz kredne krečnjake), olovo može imati poreklo od jedinjenja olova vezanih za andezitski masiv Orlovice u zapadnom obodu ležišta, a u jami „Lubnica“ (u OH-4 sadržaj olova od 0,015 mg/L), može imati poreklo iz andezitskih stena paleoreljefa ugljonosne serije.

Treba takođe naglasiti da je poznato da se naglo snižavaju sadržaji olova u neutralnim i slaboalkalnim vodenim rastvorima. Obzirom da su upravo takvog sastava rudničke vode rudnika uglja, time se mogu objasniti konstatovani mali sadržaji olova.

Silicijum-dioksid (SiO_2) u podzemnim vodama, odnosno rudničkim vodama, vodi poreklo iz silikatnih vulkanskih stena ili iz glina koje predstavljaju jednu vrstu smeša aluminijum-silikata.

Silicijum-dioksid može da se rastvara iz svih silikatnih stena, ali obično u malim količinama zbog slabe rastvorljivosti koju ima pri neutralnim pH vrednostima vode, kakve su najčešće rudničke vode analiziranih ležišta uglja.

U rudničkim vodama koje se ispumpavaju iz jama rudnika uglja, kao i uopšte u industrijskim vodama, nije poželjan silicijum-dioksid pri većim sadržajima, jer učestvuje u formiranju teškog za uklanjanje silikatnog kamenca na opremi, kakav je kalcijum silikat ili magnezijum silikat.

Kod analiziranih ležišta uglja, silicijum-dioksid je najzastupljeniji u rudničkim voda jame „Lubnica“ (57,9 - 67,6 mg/L), što predstavlja umerene sadržaje.

Litijum (Li) u rudničkim vodama ležišta uglja, vodi najčešće poreklo iz različitih glinovitih sedimenata i dolomita. U manjoj meri, njegovo poreklo može biti iz halogenih sedimenata kao što su gips ili anhidrit.

U ispitivanim rudničkim vodama, litijum je najzastupljeniji u rudničkim vodama ležišta uglja „Lubnica“ i to u granicama od 0,371 - 0,762 mg/L, zatim u

ležištu uglja „Jarando“ u granicama od 0,167 – 0,293 mg/L, u ležištu uglja „Vrška Čuka“ (potkop „Sv.Đorđe“) od 0,118 mg/L i u ležištu uglja „Jelovac“ (OH-1) od 0,1 mg/L. U svim ostalim ležištima, litijum je sadržan u rudničkim vodama ispod 0,1 mg/L.

Aluminijum (Al) je sadržan u relativno malim količinama u rudničkim vodama ležišta uglja. Maksimalni sadržaji su konstatovani u rudničkim vodama jame „Bogovina“ i to u granicama od 1,12 – 4,45 mg/L, a u svim ostalim ležištima, ispod 0,5 mg/L.

Radi se dakle o relativno malim sadržajima, jer poređenja radi, kroz ljudsku ishranu, prosečni dnevni unos aluminijuma iznosi 3-5 mg, stin da obično ljudski organizam od te količine, apsorbuje veoma malu dozu aluminijuma i to oko 10 µg.

Bez obzira međutim na veliku zastupljenost minerala aluminijuma u prirodi (feldspati, kaolinit, monmorionit, gipsit, bemit, dijaspor itd.), aluminijum je često malo zastupljen u podzemnim vodama, jer su hidroksidi aluminijuma nerastvorni u vodi sa neutralnim pH vrednostima (Dimitrijević 1988). Iz tog razloga je aluminijum u rudničkim vodama iz transportnog uskopa TU-2 jame „Bogovina“, sadržan u najvećoj količini od svih analiziranih ležišta uglja ($Al_{max} = 4,45$ mg/L), jer je ovo ležište posebno karakteristično po tome da je formirano u glinovitim tvorevina koje su jako podložne bubrenju sa jedne strane i sa druge strane, rudničke vode u uskopu TU-2, imaju najveću pH vrednost (pH= 8,2), od svih analiziranih rudničkih voda ležišta uglja Srbije.

3.4.6. Agresivnost rudničkih voda u rudnicima kamenih i mrkih ugljeva

Rudničke vode obično usled svog složenog hemijskog sastava, mogu veoma negativno da deluju u rudnicima na noseće betonske, kamene ili podgradne čelične konstrukcije. Ovo svojstvo rudničkih voda, naziva se *agresivnost rudničkih voda* (Dragišić 2005). Ispoljenost ovog svojstva, dolazi pri stupanju rudničkih voda određenog hemijskog sastava, u hemijske reakcije sa navedenim materijalima, što ima za posledicu njihovo oštećenje. Kao primer se može navesti stvaranje oksidacije i korozije na metalnim konstrukcijama u rudniku, koju uslovljavaju rudničke vode sa visokim sadržajem rastvorenog kiseonika.

Ova kiseonička agresivnost se povećava u prisustvu ugljeno-kiselinske agresivnosti rudničkih voda i ona je veća, u koliko postoje stalni prilivi rudničkih voda ili ako se oni u međuvremenu povećavaju (slika 127).



Slika 217. Izgled korodirane metalne podgrade u rudnicima uglja
(foto: slika levo časopis „Rudar“-Resavica, slika desno B.Miladinović)

Na betonske konstrukcije u rudnicima uglja, posebno je izražena sulfatna agresivnost. Kada se sulfatna rudnička voda, nađe u samom betonu, dolazi do kristalizacije gipsa i drugih jedinjenja. Usled povećanja zapremine novoobrazovanih kristala, dolazi do pucanja betona, a time i do njegovog slabljenja. Gubljenje kohezije u betonu, izaziva i prisustvo $MgSO_4$, koji deluje na krečno mleko u betonu. U slučaju jako sulfatnih rudničkih voda ($SO_4 \geq 3000$ mg/L), potrebno je upotrebljavati cimente koji su sulfatootporni (portland cement).

Kod betonskih konstrukcija, izražena je i ugljokisela agresivnost i to u vidu rastvaranja i ispiranja iz betona karbonatne komponente cementa.

Agresivnost rudničkih voda po vrsti i stepenu izraženosti (Vasić 2012), može biti:

1. Ugljokisela agresivnost koju uslovljava rastvoreni CO_2 u vodi
(izdvaja se: - slabo agresivna sa 25-30 mg/L,
- srednje agresivna sa 30-60 mg/L,
- jako agresivna sa sadržajem > 60 mg/L);
2. Karbonatna agresivnost koja se ispoljava na beton usled dejstva voda sa sadržajem HCO_3 manjim od 0,4-1,5 mg ekv/L;
3. Opšte-kiselinska agresivnost zavisno od pH vrednosti vode
(izdvaja se: - slabo agresivna sredina sa 5,5 – 6,5;
- srednje agresivna sredina sa 4,5 – 5,5;

- jako agresivna sredina sa <4,5);
- 4. Sulfatna agresivnost je prouzrokovana visokim sadržajima jona sulfata (SO_4^{2-})
 - (izdvaja se: - slaba agresivnost 200-600 mg/L,
 - srednja agresivna 600-3000 mg/L,
 - jaka agresivna > 3000 mg/L;
- 5. Magnezijumska agresivnost prouzrokovana visokim sadržajima jona magnezijuma (Mg^{2+})
 - (izdvaja se: - slaba agresivnost 100-300 mg/L,
 - srednja agresivna 300-1500 mg/L,
 - jaka agresivna > 1500 mg/L;
- 6. Kiseonička agresivnost je uslovljena sadržajem rastvoreng kiseonika (O_2) u vodi;
- 7. Agresivnost amonijaka je prouzrokovana visokim sadržajem amonijaka u vodi;
- 8. Agresivnost vode je uslovljena jakim bazama.

Pored izdvojenih tipova agresivnosti, rudničke vode mogu biti agresivne i po ukupnom sadržaju soli. Kod ove agresivnosti se razlikuju: slabo agresivne vode (10-20 g/L), srednje agresivne (20-50 g/L) i jako agresivne vode (> 50 g/L).

Rudničke vode rudnika kamenih i mrkih ugljeva, nemaju posebno izraženu agresivnost. U najvećem broju slučajeva se radi o slaboj agresivnosti, osim kod rudničkih voda jame „Jarando“ i „Senjskog Rudnika“, koje imaju *srednju sulfatnu agresivnost* (granična vrednost 600-3000 (mg/L).

U jami „Jarando“, rudničke vode iz vetrenog niskopa GVN-1 (k.345), imaju sadržaj jona sulfata od $\text{SO}_4= 654,5 \text{ mg/L}$, a rudničke vode „Senjskog Rudnika“ (uskopu VU-1, k.331), $\text{SO}_4=648,50 \text{ mg/L}$.

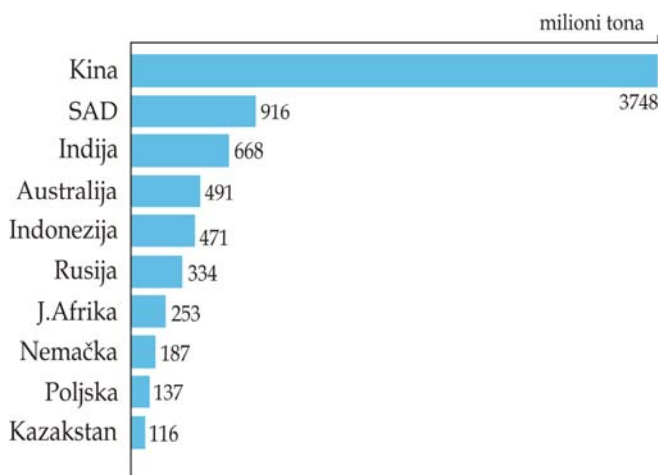
U rudnicima kamenih i mrkih ugljeva, posebno može biti izražena amonijačna agresivnost, obzirom da sadržaji amonijum jona (NH_3 , NH_4) u rudničkim vodama, može da iznosi i do 11,6 mg/L kao u slučaju rudnika „Lubnica“. Amonijum hidroksid izraženu agresivnost ispoljava prema obojenim metalima, a posebno prema bakru i bakarnim legurama. Iz tog razloga, u rudnicima uglja je potrebno posebnu pažnju posvetiti zaštiti svih predmeta i elemenata od bakra (elektroinstalacija, kablovi sistema za alarm i uzbuñivanje, telefonski kablovi i dr.).

4. UTICAJ EKSPLOATACIJE KAMENIH I MRKIH UGLJEVA NA ŽIVOTNU SREDINU - HIDROGEOLOŠKI ASPEKT

Tempo privrednog razvoja, kako kod ekonomski razvijenih, tako i kod zemalja u razvoju, prvenstveno se zasniva na podsticaju što većeg iskorišćenja raspoloživih prirodnih resursa i razvijanju i unapređenju rudarske delatnosti sa pratećom prerađivačkom industrijom. Međutim, eksploatacija mineralnih sirovina, a posebno tehnološki procesi njihove prerade, pod lošim ljudskim delovanjem i lošim upravljanjem (antropogeni faktor), ostavljaju čitav niz štetnih posledica na životnu sredinu (Vujasinović i Matić 2009).

Proizvodnja struje postupkom sagorevanja uglja, znatno je pouzdanija i jeftinija od energije dobijene radom vetro generatora, korišćenjem solarne energije ili radom nuklearnih elektrana. Međutim, od svih fosilnih goriva, ugalj ima najdestruktivniji uticaj na životnu sredinu. Njegovim otkopom iz ležišta, preradom, transportom i sagorevanjem u termoelektranama, prouzrokuje se nesagledivo zagađenje atmosfere, površinskih i podzemnih voda, kao i degradacija zemljišta na velikom prostoru.

Najdrastičniji primeri degradacije terena su u Kini, kao najvećeg proizvođača uglja na svetu (slika 218.). Rudnici sa podzemnom eksploatacijom, ostvaruju 25 % od ukupne proizvodnje uglja. Usled tako velikeg obima izvedenih podzemnih rudarskih radova, 1/7 površine teritorije severoistočne provincije



Slika 218. Deset najvećih proizvođači uglja u svetu u toku 2014. god. (www.worldcoal.org)

Shanhi je zahvaćena degradacijom koja se u najvećoj meri odnosi na sleganje površine terena (www.polywellnuclearfusion.com).

Po podacima međunarodne grupe za zaštitu životne sredine, kao što je Fondacija za energetiku i istraživačkog saveta odbrane iz 2006. godine, procene su da je u Kini, izgubljeno 4 mil.ha zemlje od rudarskih aktivnosti (slika 219.).



Slika 219. Deformacije tla prouzrokovane podzemnom eksploatacijom uglja u Kini

Oko 1900 sela u kojima živi preko 1 mil. ljudi je ugroženo ili na njih negativno utiče rudarska aktivnost jer se drastično menja pejzaž terena i stvaraju se površine koje su nepodobne za druge namene. Ovo je posebno izraženo u provincijama koje su bogate ležištima uglja kao što su: Shanhi, Shaanhi, unutrašnja Mongolija, Gansu, Ninghia i dr.

U Sjedinjenim Američkim Državama, površina degradiranog poljoprivrednog zemljišta, šuma i drugih površina prouzrokovana eksploatacijom uglja, iznosi 8,4 mil.ha od kog većina nije rekultivisana (www.coalswarm.org).

Zato se u svetu sve više primenjuje metoda otkopavanja sa zapunjavanjem otkopanog prostora rudnom jalovinom i drugim matrijalima. Na primeru rudnika kamenog uglja u Poljskoj, tokom 1992. godine, upotrebljeno je 6 mil.t rudne jalovine za zapunjavanje otkopanog prostora. Korišćenjem jalovine za hidrozasipanje, rešava se problem njenog sladištenja na površini terena i uticaja na životnu sredinu, što je svakako značajno jer se kao primer samo u Poljskoj otkopa godišnje oko 16 mil.t uglja.

Odvodnjavanjem ležišta uglja zbog potrebe eksploatacije, veliki prostori postaju suvi, a to ostavlja posledice ne samo na životnu sredinu, već dovodi u pitanje održivi razvoj tog područja. Suočena sa ovim problemom, najveći proizvođač uglja u Kini „Shenhua“ Grupa, radila je zato na projektu podzemnog skladištenja iscrpljenih kvalitetnih podzemnih voda u vodonosne horizonte van uticaja rudnika, kako bi se kasnije koristila za potrebe industrije i poljoprivrede.

Rudnik Daliuta trenutno ima kapacitet podzemnog skladištenja od 7,1 mil.m³ vode, a ovaj primer su pratili i drugi rudnici u rudarskoj oblasti Shendong (Bulianta, Changvan, Bulanmulun i dr.). Trenutno „Shenhua“ Grupa, radi nova 32 podzemna sladišta vode, čija će ukupna zapremina iznositi 32 mil.m³ (www.worldcoal.org).

Velikim deponijama jalovine uglja i otpadnog mulja iz separacija i termoeletrana na ugalj, vrši se degradacija zemljišta na velikom prostoru. Prosipanjem ili curenjem toksičnih materija iz otpadnog mulja, može se zagaditi zemljište, površinske i podzemne vode (www.greencoal.com).

Rudničke vode koje se javljaju u rudnicima uglja, često usled jako složenog hemijskog sastava, mogu negativno da se odraze na zdravlje rudara tokom otkopa uglja, a nakon ispumpavanja iz rudarskih jama, najčešće se vrši značajno zagađenje zemljišta, površinskih i podzemnih voda (slika 220.).



Slika 220. Izliv rudničkih voda iz rudnika uglja u površinske tokove (primeri iz Kine)

Prosečni sadržaj štetnih i opasnih elemenata u rudničkim vodama iz rudnika sa podzemnom eksploatacijom uglja u Sjedinjenim Američkim Državama, prikazan je u tabeli 58.

Tabela 58. Prosečni sadržaji štetnih i opasnih elemenata u rudničkim vodama iz rudnika sa podzemnom eksploatacijom u SAD izraženo u mg/l (www.cecra.dh.pmf.uns.ac.rs)

pH vode	Fe	Mn	Sb	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Hg	Ni	Ti	Zn
akalne	0,41	0,076	0,002	0,005	0,014	0,049	0,014	0,072	0,0007	0,057	0,187	0,056
kisele	135,0	4,9	0,025	0,023	0,006	0,030	0,082	0,051	0,00051	0,4	0,001	0,51

Na primeru rudnika iz Evrope, mogu se spomenuti zatvoreni rudnici uglja u Rurskoj oblasti u Nemačkoj, gde se rudničke vode u količini od 2,53 m³/s, ispustaju direktno u reku Rur, Emšer, Lipe i Rajnu (slika 221.). Karakteriše ih

povećani sadržaji sulfata (SO_4), natrijuma (Na), hlorida (Cl), gvožđa (Fe), a temperatura im se kreće od 20-40°C (Thien 2015).



Slika 221. Izliv termalnih rudničkih voda iz rudnika uglja kod Bohuma u reku Rur – Nemačka
(foto L.Thien)

Iz rudnika uglja Arnold kod Bohuma, do 2012. godine, isticalo je preko 300 l/s rudničkih voda temperature oko 20°C i to u reku Rur i Biker. Danas se ona koristi kao geotermalna energija za zagrevanja nekih javnih objekata u Bohumu.

Rudničke vode iz Čeških rudnika uglja Jeremenko, Zárubek, Šverna i dr., imaju takođe složeni hemijski sastav. Mineralizacija rudničkih voda iz rudnika uglja Jeremenko iznosi i do 15570 mg/L, a sadržaji hlorida do 8480 mg/L, natrijuma do 5170 mg/L, sulfata do 1640 mg/L (Grmela i Jelínek 1999). Ove rudničke vode se takođe ispustaju u površinske tokove.

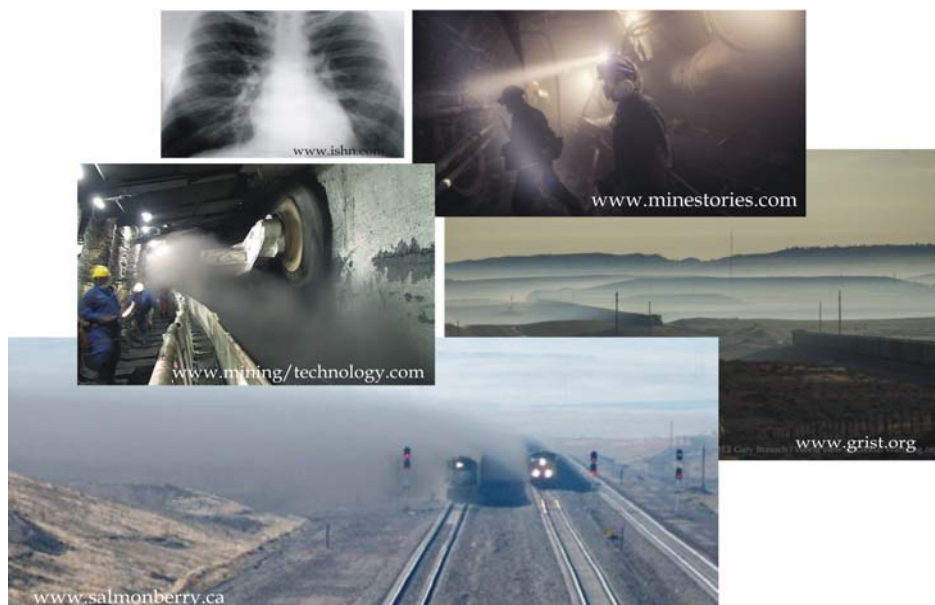
Provetravanjem rudarskih jama, vrši se zagađenje vazduha i to uglavnom zbog emisije čestica i gasova, uključujući metan (CH_4), sumpor dioksid (SO_2), azot oksidi (NO_x), ugljen monoksid (CO).

Ugljena prašina koja se stvara tokom otkopa uglja, kao i tokom transporta uglja do termoelektrana (transportnim trakama, kamionima, železnicom i velikim teretnim brodovima i baržama), može da izazove ozbiljne i potencijalno smrtonosne respiratorne probleme kod ljudi (www.thedirtytruthaboutcoal.com), slika 222.

U Kini koja je lider u Svetu po proizvodnji uglja, postoji oko 6000 lokacija za skladištenje uglja i to bez ikakvih objekata za zaštitu od vetrova koji raznose ugljenu prašinu na sve strane. Ovo ne samo da dovodi do zagađenja vazduha na velikom prostoru, već se time gubi oko 10 mil.t uglja godišnje (Yushi i dr. 2008).

Kada uglj krene transportom iz rudarskih bogatih provincija severne i zapadne Kine, prema južnim i istočnim provincijama, usput se kao ugljena

prašina izgubi još oko 11 mil.t (Yushi i dr. 2008). Na ovaj način ne samo da se gubi velika količina energentskog resursa, već se stvara neprocenljiva ekološka šteta (slika 222.).



Slika 222. Ugrožavanje životne sredine ugljenom prašinom u rudnicima i na deponijama uglja (primeri iz sveta)

Trenutno u Svetu je aktivno na hiljade jamskih požara i to kako u aktivnim i zatvorenim rudnicima uglja, tako i na deponijama jalovine uglja. Globalna posledica ovih požara je emisija od preko 40 t žive (Hg) koja godišnje na ovaj način odlazi u atmosferu i ugljen dioksida (CO₂) čije učešće iznosi 3% od ukupne svetske emisije (Cray 2010, Ohlson 2011).

U termoelektranama zavisno od kvaliteta, ugalj se izlaže tretmanu „pranja“ kako bi se uklonile nečistoće. Za tu svrhu se koristi voda sa odgovarajućim hemijskim sredstvima. Na primeru Sjedinjenih Američkih Država, za ove potrebe i hlađenje termoelektrana u toku 2008. godine, dnevno je bilo zahvatano od 60 do 170 mil.m³ slatke vode iz rečnih tokova, jezera, izdani (Averyt i dr. 2011). Od 400 do 2106 rečnih slivova širom SAD je time bilo ugroženo, a to se odrazilo i na potrebe vodosnabdevanja. Posebno je bila ugrožena Severna i Južna Karolina, Misuri i Mičigen.

Otpadne vode sa muljem nakon „pranja“ uglja, predstavljaju značajnu opasnost za životnu sredinu. Poseban problem se stvara termo zagađenjem, jer kada se voda iz elektrana ispusti nazad u reke, to može da izazove uginuće riblje populacije ili da potstakne prekomerni rast mnogih algi.

Tokom sagorevanja uglja u termoelektranama, emituje se velika količina zagađujućih materija, čađi, pepela, uključujući u sumpor diosid (SO_2), ugljen dioksid (CO_2), azotnih oksida i žive (EPA 2013). Sumpor dioksid i azotni oksidi, učestvuju u formiranju kiselih kiša, koje dovode do povećanja kiselosti zemljišta, površinskih i podzemnih voda i ostavljaju posledice na biljni i životinjski svet. Količina od 10.000 t sumpor dioksida (SO_2), koja uzrokuje pojavu kiselih kiša, sadrže i sitne čestice koje mogu izazvati oštećenja pluća, bolesti srca i drugih bolesti. Azotni oksidi dovode do formiranja smoga koji utiču na plućna tkiva i time porast respiratornih oboljenja (www.coalpowerairpollution).

Prekomerna emisija ugljen dioksida (CO_2) je glavni antropogeni uzrok globalnog zagrevanja i klimatskih promena sa kojima se svet danas suočava (slika 223.). Po oceni „Grinpis“-a (Greenpeace), tri četvrtine gasova koji izazivaju efekat staklene bašte, nastaju sagorevanjem uglja, nafte i gasa.



Slika 223. Emisija zagađujućih materija, čađi i gasova iz termoelektrana na uglj u Kini

Na osnovu studije objavljene u *Annals of the New York Academy of Sciences*, kojom je izvršena ekonomska procena troškova zdravstvene zaštite i svih troškova zaštite životne sredine vezano za eksploataciju uglja iz ležišta, transport, preradu i sagorevanje uglja u termoelektranama, ukazano je da to košta poreske obveznike Sjedinjenih Američkih Država između 175 i 500 milijardi dolara godišnje (Romm 2011). Samo troškovi zdravstvene zaštite vezani za uvećane povrede i smrt, iznose 74,6 milijardi dolara, a izazvane klimatske promene između 61,7 i 205,8 milijardi dolara.

Studija je razmatrala i druge uticaje i efekte koji nisu lako merljivi, uključujući i uticaj teških metala i drugih toksičnih i kancerogenih materija koje se kao rudničke vode ili otpadne vode nakon separacije i pranja uglja, ispuštaju u

površinske tokove, zatim smrt i povrede rudara, društveni uticaji u rudarskim sredinama i dr. (Romm 2011).

Podaci sadržani u studiji koju su 2013. godine, izradili stručnjaci iz Instituta za ekonomiju energije, Univerziteta iz Stutgarta (*„Procena uticaja uglja na zdravlje ljudi u Nemačkoj“*), ukazuju da čestice koje emituju termoelektrane na ugalj, uslovljavaju oko 3100 preranih smrti godišnje u Nemačkoj. Obzirom da Nemačka zajedno sa Poljskom i Češkom, ostvaruje nešto više od pola proizvodnje uglja u odnosu na ostale članice EU, Nemačka izdvaja godišnje 28 milijardi €, za izazvane klimatske promene.

Ovim je svakako naveden samo deo posledica koje za sobom donosi eksploatacija uglja i njegovo korišćenje u energentske svrhe, ali s pravom svetska javnost postavlja pitanje o stvarnoj ceni uglja koja se danas plaća.

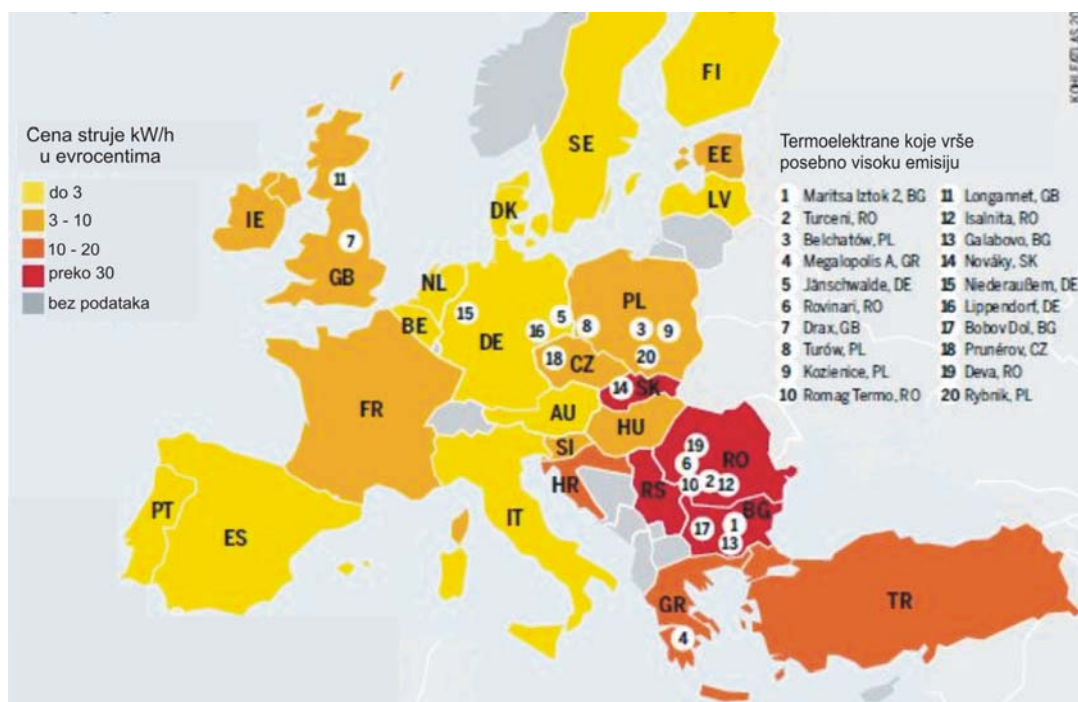
Suočena sa ovim globalnim problemom zvanična energentska politika EU je usmerena ka težnji da njena privreda značajno smanji emisiju CO₂. U tom smislu EU je 2007. godine zacrtala tri globalna cilja kojima treba težiti do 2020. godine i to: 1) smanjenje emisije gasova staklene bašte za 20% u odnosu na 1990. godinu; 2) povećanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora za 20%; 3) smanjenje potrošnje energije za 20% (Groll i dr. 2015).

I dok zvaničnici smatraju da je danas EU na dobrom putu realizacije postavljenih ciljeva, „Evropska agencija za zaštitu životne sredine“, ukazuje da trenutno samo devet od dvadesetosam zemalja EU, sprovodi dosledno postavljene ciljeve. Pored činjenice da su u prethodnom periodu otvorene neke nove termoelektrane na ugalj, može se reći da se sada taj trend zaustavlja.

Bez obzira što je federalni budžet Nemačke u 2015. godini, subvencionisao industriju uglja sa 1,2 milijarde €, generalno ove subvencije od 2008. godine su sve manje kao i u Italiji, Švedskoj, Češkoj (Groll i dr. 2015).

U Srbiji proizvodnja električne energije od uglja je primarna. U toku 2012. godine, od ukupno ostvarene proizvodnje energije u elektranama od 34.546 GWh, termoelektrane na ugalj su proizvele 70,3% (www.aers.rs). Ovu proizvodnju svakako da prate i problemi koji se odnose na zagađenje životne sredine, počev od rudnika kojima se vrši eksploatacija uglja iz ležišta i kasnije kroz njegovu preradu i konačno spaljivanje u termoeletranama. Ipak, treba istaći da u trenutnim uslovima ekonomske recesije i relativno male industrijske proizvodnje, Srbija sa svojom ugljarskom privredom, nema značajniji uticaj na globalne klimatske promene sa kojim je svet suočen. Značajan podatak je svakako i to da trenutno ni

jedna srpska termoelektrana na uglj, nije na listi od 20 najprljavijih u Evropi (Groll i dr. 2015), slika 224.



Slika 224 . Lokacije termoeletrana na uglj u Evropi sa posebno visokom emisijom otrovnih gasova (Groll i dr. 2015)

Veći razvoj industrije koji se očekuje u narednom periodu u Srbiji i njen put u priključenju EU, svakako da donosi i strožije mere zaštite životne sredine nego što je to do sada bio slučaj. U cilju harmonizacije propisa iz oblasti zaštite životne sredine jedna od prvih u nizu Direktiva EU koja je sadržana u zakonodavstvu R.Srbije je Integrated Pollution Prevention and Control - IPPC Direktiva (96/61/EC i nova verzija 2008/1/EC) i to u Zakonu o integrisanom sprečavanju i kontroli zagađivanja životne sredine (Sl.glasnik RS, br.135/04 i 25/15). Direktiva IPPC je zamenjena jednom od kompleksnijih EU direktiva, Direktivom o industrijskim emisijama (IED 2010/75/EU).

Direktivom se definišu mere koje imaju za cilj sprečavanje i kontrolu zagađenja, kako bi se postigao visoki nivo očuvanja i zaštite životne sredine. One se odnose na: a) racionalno upravljanje nacionalnim resursima; b) delovanje na izvoru zagađenja u smislu smanjenja emisije u skladu sa graničnim vrednostima emisije; c) definisanje graničnih vrednosti emisije na bazi primene BAT tehnologije (Best Available Technique - Najbolja dostupna

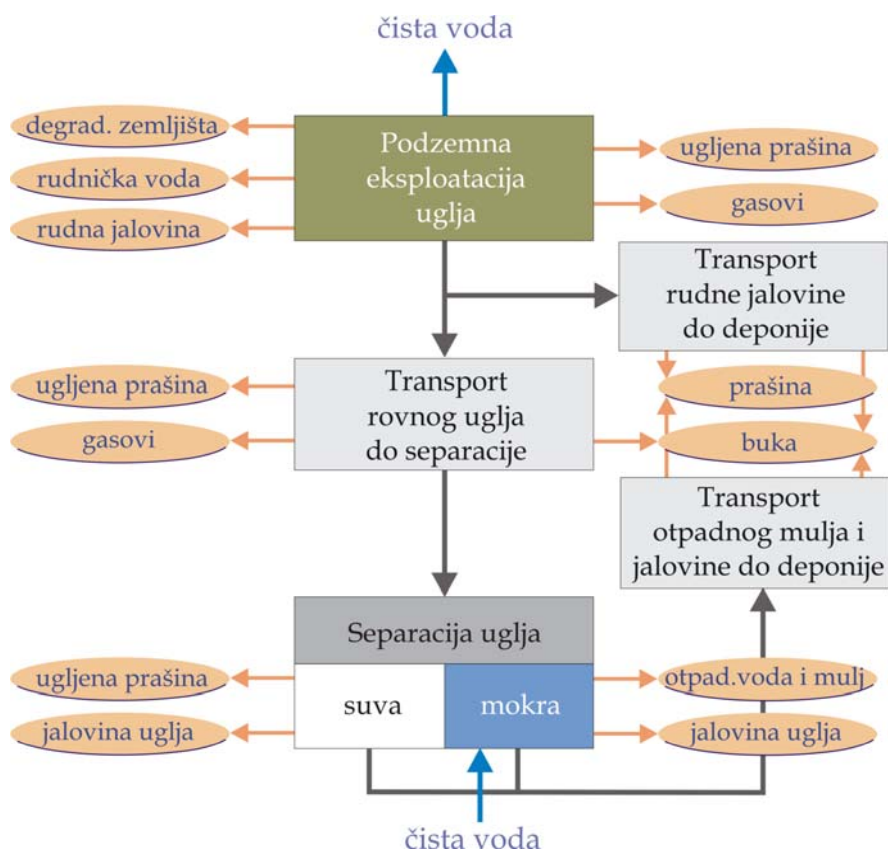
tehnika); d) razvoj procesa razmene informacija između zemalja EU u cilju unapređenja i primene BAT.

Direktivom IPPC kao i IED tj., navedenim nacionalnim Zakonom i podzakonskim aktima se definišu i uslovi za dobijanje ekološke, integrisane dozvole kako za nova tako i za postojeća postrojenja i aktivnosti kao i uslovi za primenu najbolje raspoložive (BAT) tehnike, iskazane kroz Best Available Techniques Reference Document (BREF), koji donosi EU (www.eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF).

Uzevši u celini, uticaj eksploatacije kamenih i mrkih ugljeva na životnu sredinu u trenutnim uslovima poslovanja u Srbiji je ispoljen:

- a) rudarskim radovima na podzemnom otkopu uglja;
- b) transportom rudne jalovine, rovnog uglja i separacijske jalovine;
- c) preradom uglja (suva i mokra separacija).

Vrste nepoželjnih uticaja i zagađenja koja se stvaraju navedenim aktivnostima, prikazana su slikom 225.



Slika 225. Šema izvora zagađenja životne sredine i nepoželjnih uticaja koji se stvaraju tokom eksploatacije i prerade kamenih i mrkih ugljeva u Srbiji

4.1. Uticaj podzemnog otkopavanja ugljeva na životnu sredinu

Negativan uticaj podzemne eksploatacije uglja na životnu sredinu, odražava se na:

- zauzimanju poljoprivrednog zemljišta, šumskog kompleksa i rečnih dolina za deponovanje rudne jalovine i smeštaj infrastrukturnih objekata za potrebe eksploatacije uglja i njegove prerade;
- menjanju reljefa terena, izmeštanju postojećih objekata i saobraćajnica, izgradnji novih koji služe eksploataciji uglja;
- promeni režima podzemnih voda usled odvodnjavanja rudarskih prostorija;
- izmeni trasa površinskih tokova radi zaštite rudarskih radova od povećanih priliva rudničkih voda;
- promeni klime usled promene reljefa terena;
- zagađenju vazduha prašinom tokom transporta uglja i njegovog samozapaljenja na deponiji, izduvnim gasovima nakon provetravanja rudarskih jama;
- narušavanju estetske vrednosti okoline i pojave buke usled rada transportnih sredstava za odvoz uglja i jalovine, kao i rada separacijskih postrojenja;
- izmeni staništa životinjskih vrsta.

Dok se ležište uglja ne otvori za eksploataciju, ono u prirodnoj uspostavljenoj ravnoteži, ne predstavlja opasnost za životnu sredinu. Obzirom da se najčešće ova ležišta nalaze u brdskim i planinskim područjima sa sačuvanim eko sistemom, njegovo ugrožavanje počinje međutim da se javlja od prvih pripremnih radova na prosecanju prilaznih puteva, krčenju šuma, zemljanim radovima, izgradnji infrastrukturnih rudarskih objekata. Pod uticajem prekomerne buke radnih mašina, izduvnih gasova motora sa unutrašnjim sagorevanjem, svakodnevnim prisustvom ljudi, deo životinjskog sveta počinje da napušta svoje stanište, a neke biljne vrste i da nestaju pod uticajem sve izraženije degradacije terena.

Sa eksploatacijom ležišta, počinje najpre da se sve više menja morfologija okolnog terena. Na površini terena, u jednom delu počinje da se formiraju sve veća uzdignuća usled deponovanja rudne jalovine (slika 226.), a u drugom delu

moguće je da se javljaju ulegnuća usled zarušavanja krovinskih naslaga nakon iskopa sloja uglja i stvorenog deficita masa. Ovo skupa dovodi do lokalne izmene slivnih područja i remećenja vodnog režima površinskih voda, a to ima uticaja i na režim podzemnih voda.



Slika 226. Deponija jalovine zatvorenog rudnika uglja „Dobra sreća“ u selu Vina kod Knjaževca (foto B.Miladinović)

Primer gde je došlo do izraženog tonjenja površine terena se sreće u području ležišta uglja „Soko“. U zoni otkopa zapadnog polja je došlo do sleganja terena, tako da često tokom godine, dolazi do akumuliranja površinskih voda i formiranja manjeg jezera (slika 227.).



Slika 227. Jezero formirano nakon tonjenja terena prouzrokovano otkopom uglja u zapadnom polju ležišta „Soko“ (foto S.Kokerić)

Duž stvorenih razlomnih struktura usled sleganja terena, dolazi do brže infiltracije površinskih voda, odnosno do intenzivnijeg prihranjivanja

podzemnih voda i stvaranja većih hidrostatičkih pritisaka u akviferima, a to često prouzrokuje veću odvodnjenost ležišta uglja i povećane prilive rudničkih voda u jamske rudarske radove.

Pored navedenog primera, izraženije pojave sleganja terena su registrovane i u području ležišta uglja „Štavalj“, tako da je ono postalo neupotrebljivo na značajnom prostoru za bilo koju svrh (slika 228.).



Slika 228. Deformacije terena nastale usled sleganja povlatnih tvorevina u zoni otkopa uglja u rudniku „Štavalj“ (foto V.Lojanica)

Slične deformacije postoje i u području rudnika „Strmosten“, „Jarando“, „Jasenovac“, „Senjski Rudnik“ (slika 113.).

Podzemna eksploatacija uglja, najčešće uslovljava izvođenje jamskih rudarskih radova, hipsometrijski duboko ispod lokalnih erozionih bazisa ili u podini jako vodonosnih tvorevina (slika 149.). Obzirom da podzemne rudarske prostorije često imaju dužinu kroz ugljonosnu seriju i okolne stene i po više desetina kilometara, time je podspješeno dreniranje podzemnih voda sa velikog prostora.

Kod jako odvodnjenih ležišta, u cilju stvaranja uslova izrade pripremnih rudarskih prostorija za eksploataciju ležišta, neophodno je često sprovesti predhodno odvodnjavanje ležišta i okolnih stena. Usled konstantnih priliva, sistemi za odvodnjavanje su u neprekidnom radu, a njihov rad se nastavlja u kontinuitetu i tokom faze eksploatacije ležišta.

Odvodnjavanjem ležišta u celini, dolazi veoma često do značajnih izmena osnovnih elemenata režima i to kako podzemnih tako i površinskih voda (Plotnikov i Roginec 1987). Podzemne rudarske prostorije sa svojim položajem duboko ispod lokalnih erozionih bazisa, uslovljavaju spustanje kote

dreniranja podzemnih voda iz okolnih hidrogeoloških struktura, čime se remete prirodni smerovi i brzina izdanskih tokova, obaraju jako duboko nivoo izdanskih voda ili potpuno presušuju pojedini vodonosni horizonti.

U navedenim uslovima i površinski tokovi mogu da izgube svoju funkciju. Umesto drena podzemnih voda, one često postaju reke ponornice i to sve kao posledica spuštavanja nivoa podzemnih voda na širem prostoru ležišta koje je u eksploataciji. Takav slučaj je postojao u zapadnom polju ležišta uglja „Bogovina“, kada je svoju funkciju izgubila Bogovinska reka. Da se nebi rečne vode direktno odražavale na prilive rudničkih voda u jamu, korito Bogovinske reke je bilo prekriveno gumenim folijama.

Slične okolnosti prate danas i eksploataciju uglja u ležištu uglja „Jarando“. Usled intenzivnog odvodnjavanja jame, Jarandolski potok formira svoj tok samo nakon dužeg kišnog perioda ili tokom naglog topljenja snega, bez obzira što je njegovo korito obloženo kamenom.

Generalno spuštanje nivoa podzemnih voda u širem području istočnog polja rudnika uglja „Bogovina“, odrazilo se i na vodosnabdevanje lokalnih naselja. U severnom delu jame, presušili su kopanih bunara na privatnim posedima, a ovaj slučaj je registrovan i u selu Kaličani, u neposrednoj blizini rudnika „Štavalj“.

Problem sa niskim nivoom podzemnih voda u područjima rudnika uglja, odražava se i na vegetacioni pokrivač. Manje otporne vrste na sušu, počinju da nestaju, tako da ova pojava zajedno sa površima gde se odlaže jalovina uglja, odaju sliku značajne degradiranosti životne sredine (slika 229.).



*Slika 229. Deponija jalovine u bogovinskom basenu – zapadno polje
(foto B.Miladinović)*

Ovim svakako nisu obuhvaćene sve negativne posledice na životnu sredinu, koje sa sobom donosi neposredni podzemni otkop ugljeva, ali su nabrojane posledice svakako najizraženije.

4.2. Uticaj rudničkih voda iz rudnika kamenih i mrkih ugljeva na životnu sredinu

Rudničke vode koje se sistemima za odvodnjavanje ispumpavaju iz jama rudnika uglja, predstavljaju najčešće zbirne rudničke vode koje se javljaju u jami. Njihovo prikupljanje u jami se vrši najčešće u glavnom vodosabirniku, a nastaju kako na račun rudnih voda koje se dreniraju iz samog ležišta uglja, tako i na račun dreniranja podzemnih voda iz okolnih stena kroz koje su izvedene rudarske prostorije (poglavlje 3.2.).

Zavisno od procentualnog odnosa mešanja rudnih voda i pozemnih voda (rudničkih voda) u glavnom vodosabirniku jame, zavisi i hemijski sastav zbirnih rudničkih voda. Kako se ove vode nakon ispumpavanja na površinu terena, obično pustaju da slobodno otiču u površinske tokove bez predhodnog tretmana i prečišćavanja, jasno je da u određenim slučajevima hemijske opterećenosti, one mogu imati štetan uticaj na životnu sredinu i to prvenstveno na kvalitet površinskih i podzemnih voda.

Pre detaljnijeg prikaza hemijskog sastava zbirnih rudničkih voda od kog zavisi i intenzitet zagađivanja životne sredine, u daljem delu teksta biće prikazan u osnovnim crtama rad postojećih sistema za odvodnjavanje aktivnih jama rudnika uglja Srbije, a time prikazan i način kako se formiraju i nastaju zbirne rudničke vode u jami.

Kod zatvorenih rudnika uglja, odnosno jama u kojima je obustavljena eksploatacija uglja, rudničke vode ističu najčešće slobodno i to gravitaciono duž potkopa, obzirom na položaj koji imaju iznad lokalnog erozionog bazisa.

U dubljim delovima ležišta, rudarski radovi su potopljeni do nivoa potkopa, tako da potkop kao dren, prihvata doticaje rudničkih voda iz starih rudarskih prostorija i sprovodi ih do površine terena. Takvi primeri se sreću kod mnogih zatvorenih rudnika uglja u Srbiji kao što je: „Jerma“, „Stari Jasenovac“ (krepoljinski basen), „Makvište“ (Rembas), stara jama „Jarando“ i

„Ušće“ (Ibarski rudnici), „Sv.Đorđe“ (Vrška Čuka), „Vlaško Polje“, „Podvis“, „Dobra Sreća“, „Aliksar“, „Jelašnica“, „Vidlič“.

Pored navedenog, postoje slučajevi da se povremeno dreniranje rudarskih prostorija zatvorenih rudnika, vrši i u vidu samoizliva rudničkih voda iz starih rudarskih okana, kao što je rudarsko okno „Avramica“ (rudnik „Vrška Čuka“), zatim okno „Makvište“ (stara jama „Resava“ u resavsko-moravskom basenu) ili rudarsko okno br.10 i niskop u zapadnom polju rudnika „Bogovina“.

U slučaju da se ulaz u napuštene rudnike uglja, nalazi hipsometrijski znatno više u odnosu na lokalni erozioni bazis, onda iz njih najčešće nema pojava isticanja rudničkih voda, bez obzira što su potopljeni. Takav slučaj je sa zatvorenim jamom rudnika „Rtanj“, a u resavsko-moravskom basenu su to rudarska okna: „Orlovica“, „Crveni Breg“, „Simina kuća“, „Zubrava“.

4.2.1. Sistemi za odvodnjavanje aktivnih jama rudnika uglja

Zavisno od geomorfoloških uslova u kojima je formirano ležište uglja, kao i od projektovanog načina njegovog otvaranja za eksploataciju, u primeni su najčešće tri šeme za odvodnjavanje rudnika uglja Srbije sa jamskom eksploatacijom:

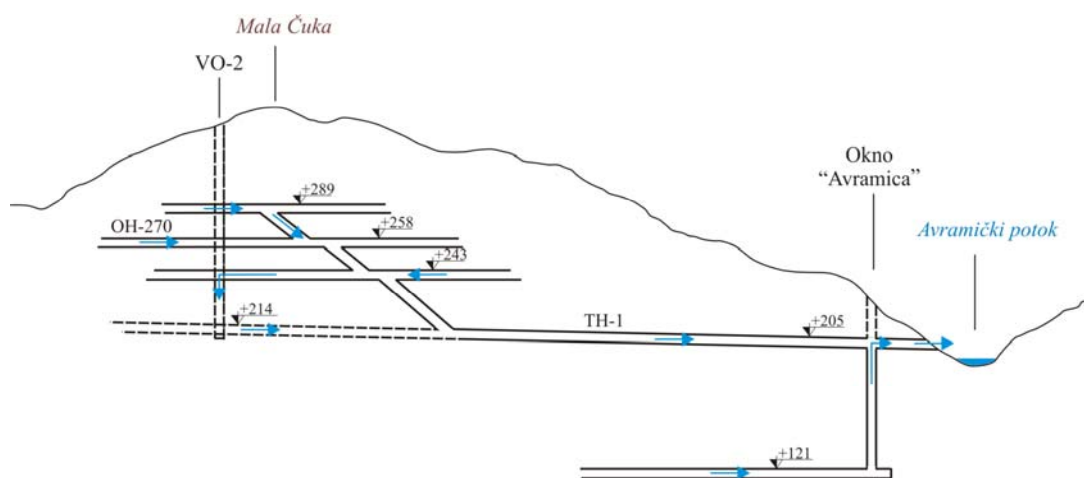
1. Gravitaciono odvodnjavanje rudarskih radova se primenjuje u uslovima kada se eksploatacija uglja odvija iznad lokalnog erozionog bazisa. Pomoću sistema odvodnih kanala izrađenih duž rudarskih prostorija ili postavljenih odvodnih cevi kroz njih, rudničke vode se gravitaciono usmeravaju prema potkopu kojim je ležište otvoreno za eksploataciju i njime se one dovode do površine terena. Takav način odvodnjavanja se primenjuje jednim delom u rudniku antracita „Vrška Čuka“ (eksploataciono polje „Mala Čuka“);
2. Odvodnjavanje pomoću centrifugalnih pumpi se primenjuje u slučajevima kada se eksploatacija uglja odvija ispod lokalnih erozionih bazisa, a njegovo otvaranje za eksploataciju je izvršeno izradom rudarskog okna ili niskopa. U tom slučaju, obično se izrađuje centralni vodosabirnik na najnižoj koti u jami i pomoću pumpi, rudničke vode se isumpavaju na površinu terena. Ovaj način odvodnjavanja rudarskih radova se primenjuje u rudnicima: „Bogovina“, „Soko“, „Lubnica“, „Jarando“, „Tadenje“, „Štavalj“;

3. Kombinovano odvodnjavanje rudnika se zasniva na korišćenju potkopa za gravitaciono odvodnjavanje dela ležišta i starih rudarskih radova koji se nalaze iznad lokalnih erozionih bazisa, a za odvodnjavanje dubljih delova ležišta (ispod lokalnih erozionih bazisa), koristi se centrifugalne pumpe kojima se rudničke vode iz vodosabirnika iz najdubljeg dela jame, pumpaju do nivoa potkopa, a dalje one gravitaciono ističu do površine terena. Ovaj sistem odvodnjavanja se delom koristi u rudnicima „Rembas“-a („Strmosten“, „Jelovac“, „Senjski Rudnik“), u rudniku „Jasenovac“, kao i jednim delom u rudniku „Vrška Čuka“.

Odvodnjavanje rudnika antracita „Vrška Čuka“, - Avramica

Odvodnjavanje ovog rudnika se vrši relativno jednostavnim sistemom za odvodnjavanje. Obzirom da se eksploatacija antracita u reonu „Mala Čuka“, odvija iznad lokalnog erozionog bazisa Avramičkog potoka, sistem za odvodnjavanje rudarskih radova je zasnovan na potkopu TH-1 (ulaz k.205), prema kome se usmeravaju sve rudničke vode. Odvodnim kanalom u ovom potkopu, rudničke vode se gravitaciono usmeravaju prema izlazu iz jame, odnosno prema Avramičkom potoku (k.~200).

U jami, gravitaciono se vrši odvodnjavanje prostorija kao što je uskop U-289, kao i stari rudarski radovi na k.270 (OH-270), gde se rudničke vode usmeravaju prema napuštenom vetrenom oknu VO-2 m (slika 230).



Slika 230. Uprošćena šema odvodnjavanja rudarskih radova rudnika antracita „Vrška Čuka“

Preko ovog okna i drugih starih rudarskih prostorija koji su spojeni sa njim, rudničke vode se dreniraju prema transportnom hodniku TH-1 (k.214) i duž njega se usmeravaju prema izlazu iz jame. Gravitaciono se odvodnjavaju i stari radovi na k.212 (raskršće H-12 i TH-1).

Potopljeni rudarski radovi na k.121, dreniraju se samoizlivom preko rudarskog okna „Avramica“ u TH-1 (slika 230.).

Jedan deo rudarskih prostorija u jami iz tehničkih ograničenja, ne može da se gravitaciono odvodnjava, pa se zato vrši prempumpavanje rudničkih voda preko hipsometrijski viših prostorija. Prepumpavanje rudničkih voda se vrši iz niskopa N-274 i uskopa U-230. Rudničke vode koje se javljaju u uskopu U-230, najpre se gravitaciono skupljaju u vodosabirniku na k.225, a onda se odatle prepumpavaju u vodosabirnik u N-274. Zbirne rudničke vode se zatim izbacuju u TH-3 na k.214, a nadalje one gravitaciono odvodnim kanalom, otiču ka TH-1, odnosno izlazu iz jame.

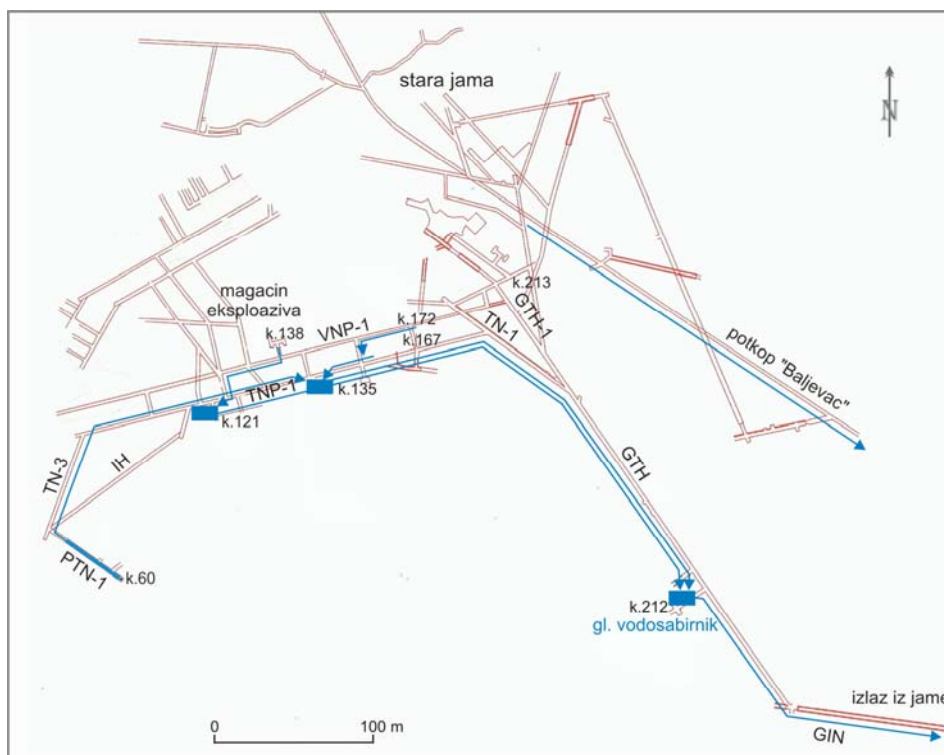
Odvodnjavanje jame „Jarando“ - Ibarski rudnici

Odvodnjavanje stare jame “Jarando”, vrši se gravitaciono obzirom da su rudarski radovi u ovom delu ležišta kamenog uglja, izvedeni iznad lokalnog erozionog bazisa Jarandolskog potoka (k.~400). U tu svrhu, koristi se potkop „Baljevac“ (ulaz k.404) kojim je ležište svojevremeno otvoreno za eksploataciju (slika 126.). Rudničke vode se gravitaciono prikupljaju u odvodnom kanalu ovog potkopa i obzirom na pad koji ima od 6 ‰ prema izlazu, usmeravaju se prema površini terena.

Rudničke vode iz rudarskih radova koji se nalaze hipsometrijski ispod nivoa potkopa „Baljevac“, ispumpavaju se kroz izvozni niskop GIN do površine terena.

Najniži vodosabirnik u jami se nalazi u rudarskoj prostoriji TNP-1 na k.121. U ovom vodosabirniku se gravitaciono prikupljaju rudničke vode iz vetrenog niskopa VNP-1 (područje magacina eksploziva, k.138), rudničke vode koje se javljaju u TNP-1 i okolnih rudarskih prostorija od k.135 do k.121.

Vodosabirnik u TNP-1 (k.135), gravitaciono prihvata rudničku vodu iz VNP-1, kao i rudničke vode koje se pumpom izbacaju iz potopljene rudarske prostorije PTN-1 sa k.79 (slika 231.).



Slika 231. Šema odvodnjavanja rudarskih radova jame „Jarando“ - Ibarski rudnici
(podloga: geodetski plan jame S.Bošković – Ibarski rudnici)

Glavni vodosabirnik u jami „Jarando“ se nalazi u rudarskoj prostoriji GTH (k.212). U njega se ispumpavaju rudničke vode iz hipsometrijski nižih vodosabirnika sa k.121 i k.135. Pored ovih voda iz dubljih delova jame, u



Slika 232. Mesto ispusta rudničkih voda iz jame
„Jarando“ u korito Jarandolskog potoka
(foto B.Miladinović)

vodosabirniku na k.212, gravitaciono se prikupljaju rudničke vode sa viših kota u GTH, kao i drugih rudarskih prostorija u ovom delu jame.

Iz vodosabirnika na k.212, rudničke vode se centrifugalnim pumpama tipa CVNRL-7-8 kapaciteta oko 70 l/s, izbacaju pomoću cevovoda na površinu terena (k.404) i pustaju u Jarandolski potok (slika 232.).

Odvodnjavanje jame „Tadenje“ - Ibarski rudnici

Jama „Tadnje“ je slabo odvodnjena i u njoj se javljaju rudničke vode u vidu manjih procurivanja i to u više rudarskih prostorija. Zato je u ovoj jami, izrađeno više manjih vodosabirnika.

U nižim delovima jame, iz privremenog vodosabirnika koji se nalazi u transportnom niskopu TU-4, rudničke vode se najpre pumpaju do hipsometrijski višeg vodosabirnika u VU_V/4, a odatle do potkopa GVH-1. Odvodnim kanalom u ovom potkopu, rudničke vode se gravitacijski dovode do površine terena (k.493,21), a onda se dalje pustaju u korito reke Raduše.

Na sličan način se vrši odvodnjavanje i rudarske prostorije TN-3. Rudničke vode iz vodosabirnika u ovoj prostoriji, pumpaju se najpre do vodosabirnika u VU_V/1, a zatim iz njega do odvodnog kanala u potkop „Tadenje“.

Rudničke vode iz vodosabirnika koji su izrađeni u GTH-1, VU-5, niskopu 3 i na raskršću prostorija GTH-1 i VU-4, direktno se pumpaju u odvodni kanal niskopa „Tadenje“, a odatle kao što je već naglašeno, gravitacijski se usmeravaju prema površini terena.

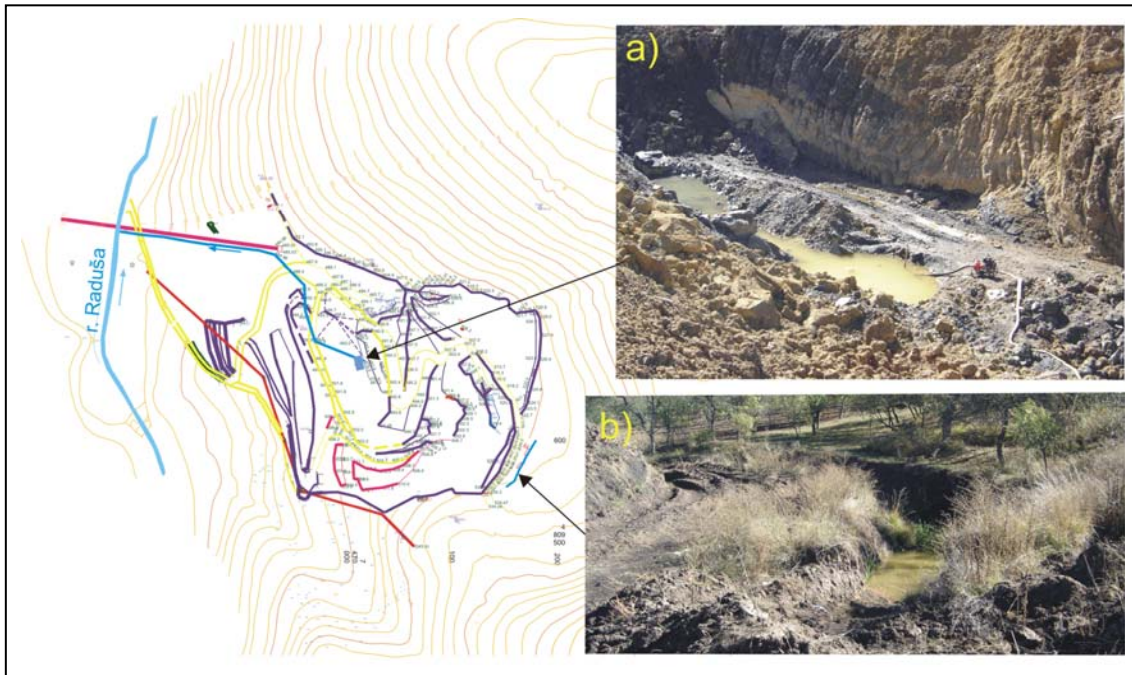
Odvodnjavanje površinskog kopa „Progorelica“

Površinski kop kamenog uglja „Progorelica“, predstavlja pličić-brtski tip površinskog kopa, tako da ima relativno jednostavan sistem za odvodnjavanje. Sastoji se od vodosabirnika koji je izrađen na najnižoj etaži kopa, u kome se gravitaciono prihvataju podzemne vode sa radnih etaža, kao i vode koje se od padavina izluče na slivnu površini kopa. Centrifugalnom pumpom i postavljenim cevovodom, rudničke vode iz vodosabirnika, prema potrebi se ispumpavaju i pustaju u tok reke Raduše (slika 233.).

U cilju delimičnog sprečavanja doticaja podzemnih voda iz prve izdani u rudarske radove, po obodu kopa, ispred fronta radova na otkrivci, izrađen je u jednom delu obodni kanal. Iz njega, rudničke vode se takođe ispumpavaju i pustaju u korito reke Raduše.

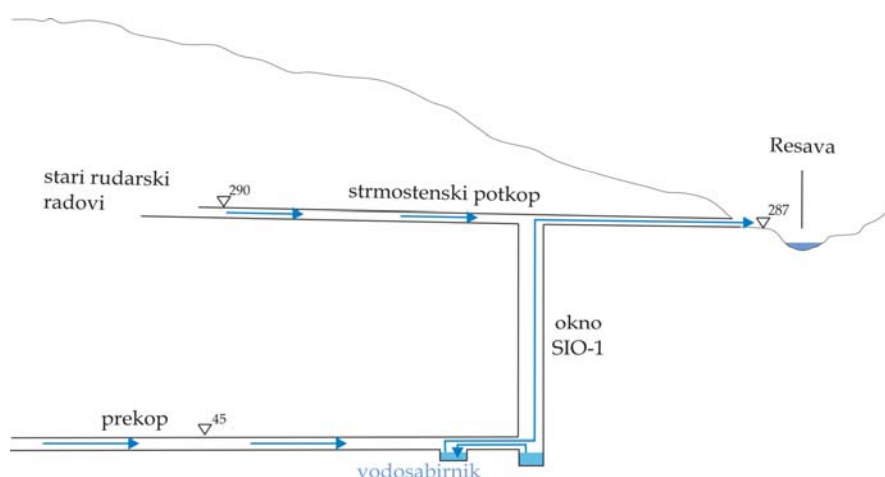
Odvodnjavanje jame „Strmosten“ (Rembas)

Stara jama „Strmosten“ koja se nalazi u pličićem delu ležišta (iznad lokalnog erozionog bazisa Resave, k.280), odvodnjava se gravitaciono pomoću odvodnog kanala „strmostenskog“ potkopa (Miladinović 1995).



Slika 233. Šema odvodnjavanja površinskog kopa kamenog uglja „Progorelica“
 slika a – vodosabirnik na najnižoj etaži kopa; slika b – obodni kanal (foto B.Miladinović)
 geodetski plan kopa S.Bošković – Ibarski rudnici

Sa otvaranjem dubljih delova ležišta uglja za eksploataciju i to izradom rudarskog okna SIO-1 do k.45, rudničke vode su prikupljane u vodosabirniku koji je izgrađen neposredno pored okna. Iz vodosabirnika, rudničke vode se ispumpavaju u glavni odvodni kanal "strmostenski potkop" (k.290) i njime usmeravaju prema izlazu iz jame (slika 234.).

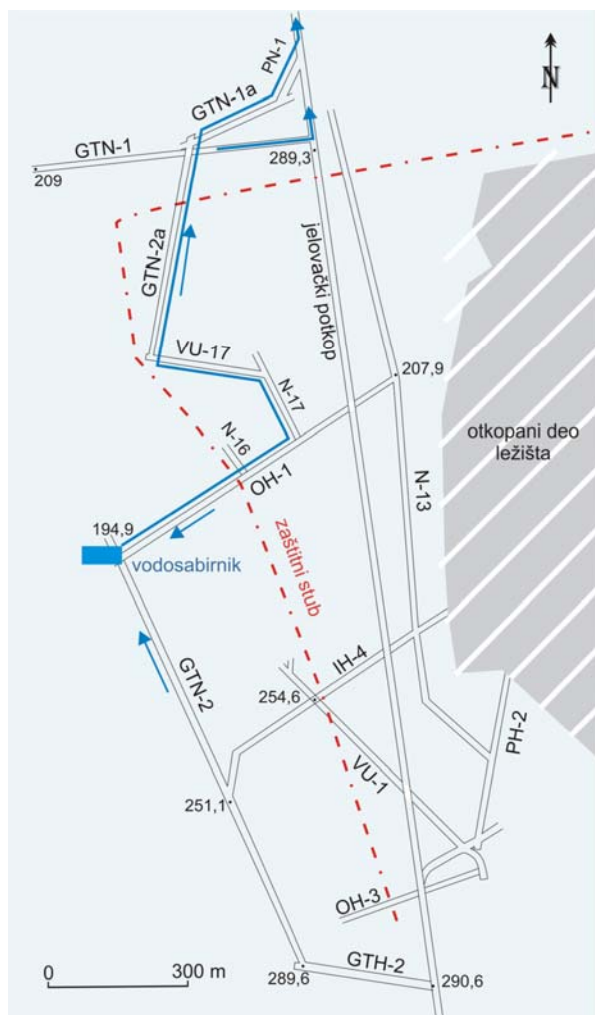


Slika 234. Šema odvodnjavanja rudarskih prostorija jame "Strmosten"

Rudničke vode iz najdubljih delova jame (ispod k.0) izbacuju se pomoću centrifugalnih pumpi i izgrađenim sistemom vodosabirnika na različitim kotama u glavnom niskopu GN-1 (Miladinović 1995).

Odvodnjavanje jame „Jelovac“ (Rembas)

Sistem za odvodnjavanje jame „Jelovac“, zasnovan je na izgrađenom glavnom vodosabirniku koji se nalazi na raskršću glavnog transportnog niskopa



Slika 235. Šema odvodnjavanja jame „Jelovac“
(podloga plan jame: Bačić-Vlahović 2006)

gravitaciono usmerava sa ostalim rudničkim vodama iz jame, prema izlazu.

Odvodnjavanje jame „Senjski Rudnik“ (Rembas)

Bez obzira na podzemnu eksploataciju uglja koja se vrši duboko ispod lokalnog erozionog bazisa reke Ravanice, odvodnjavanje rudarskih prostorija ove

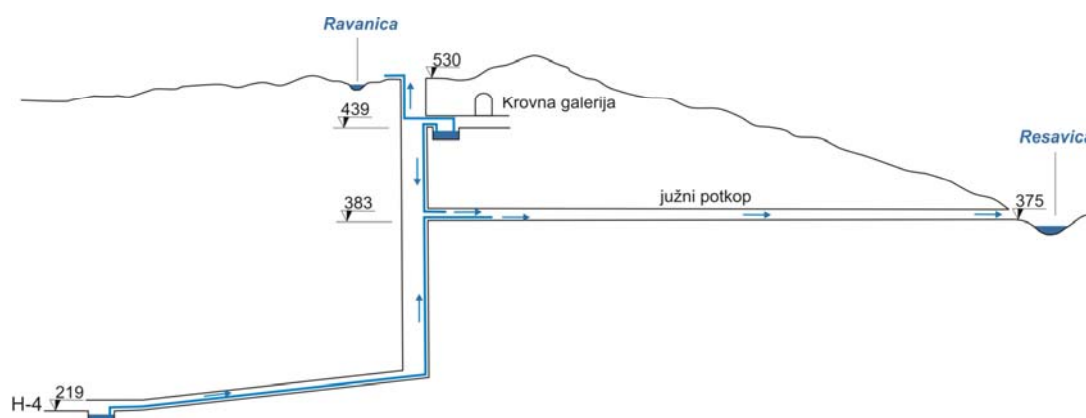
GTN-2 i otkopnog hodnika OH-1 (k.194,9). U ovom vodosabirniku se gravitaciono prikupljaju rudničke vode iz GTN-2, OH-1 i drugih rudarskih prostorija (slika 235.).

Prikupljene rudničke vode se ispumpavaju pomoću centrifugalnih pumpi i postavljenog cevovoda kroz rudarske prostorije OH-1, N-17, VU-17, GTN-2a, GTN-1a i PN-1, do odvodnog kanala „jelovačkog potkopa“. Ovim kanalom se rudničke vode gravitaciono usmeravaju prema izlazu iz jame (slika 235.).

Nezavisno od navedenog sistema odvodnjavanja jame, postoje i prilivi rudničkih voda koji se javljaju u niskopu GTN-1 (slika 235.). Obzirom da se ove rudničke vode javljaju pod pritiskom, samoizliv koji postoji na k.289,3 prihvata se u odvodni kanal „jelovačkog potkopa“, a onda se

jame se vrši najvećim delom gravitaciono. Najveći značaj u tom pogledu, ima „južni potkop“, kojim je jama „Senjski Rudnik“, spojena sa rudarskim naseljem Resavica zbog transporta rovnog uglja na separaciju.

Sve rudničke vode koje se javljaju u jami iznad nivoa "južnog potkopa" (k.383), usmeravaju se gravitaciono do odvodnog kanala ovog potkopa (slika 236.). Pri većim prilivima, jedan deo rudničkih voda se iz vodosabirnika kod "krovne galerije", izbacuje pomoću pumpi, direktno na površinu terena (k.530), u korito reke Ravanice.



Slika 236. Šema odvodnjavanja rudarskih prostorija jame "Senjski Rudnik"

U najdubljim delovima jame "Senjski Rudnik", rudničke vode se gravitaciono prikupljaju pomoću sistema kanala ili pomoću istaliranih pumpi i cevovoda, u glavni vodosabirnik koji je izgrađen u hodniku H-4 (k.219). Iz glavnog vodosabirnika, rudničke vode se pumpama izbacuju do nivoa "južnog potkopa" (k.383), a dalje se gravitaciono sprovode do korita Resavice (slika 236.).

Odvodnjavanje rudnika mrkog uglja „Jasenovac“

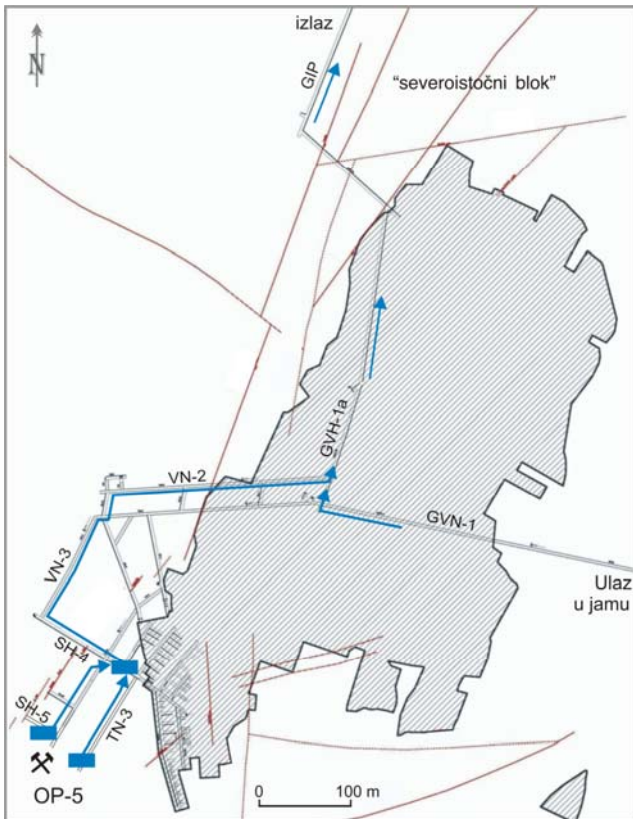
Odvodnjavanje jame rudnika „Jasenovac“, vrši se gravitaciono u delu koji se nalazi iznad lokalnog erozionog bazisa potoka Jasenovac. Dublji delovi jame se odvodnavaju pomoću izgrađenih vodosabirnika i centrifugalnih pumpi kojima se rudničke vode izbacaju do nivoa rudarskih prostorija koje se gravitaciono odvodnjavaju preko potkopa (GIP).

Odvodni kanal u GIP-u, ima dimenzije 20x43x30 cm i njegova propusna moć obzirom na generalno pad od 5 ‰, iznosi 44,6 l/s (slika 237.).



Slika 237. Mesto isticanja rudničkih voda iz potkopa GIP jame rudnika „Jasenovac“ (foto B.Miladinović)

(ispod k.271), bile su do 2009. godine, gravitaciono prikupljane u glavni vodosabirnik (GVS), koji je postojao u vetrenom niskopu VN-2 na k.219,35. Iz ovog vodosabirnika, rudničke vode su pumpama izbacivane u odvodni kanal



Slika 238. Šema odvodnjavanja rudnika „Jasenovac“ (podloga: plan jame Petrović i Ratković 2010)

Potkop je preko glavnog ventilacionog niskopa GVN-1a, u vezi sa niskopom GVN (na spoju k.274,6), tako da se rudničke vode koje se javljaju u ovim rudarskim prostorijama i iz svih starih rudarskih radova iznad k.274,6 (GVN, VN-5a, SH-1a i dr.), gravitaciono odvede iz jame.

Rudničke vode koje su se javljale u rudarske radove ispod nivoa GVH-1a i GIP-a (ispod k.271), bile su do 2009. godine, gravitaciono prikupljane u glavni vodosabirnik (GVS), koji je postojao u vetrenom niskopu VN-2 na k.219,35. Iz ovog vodosabirnika, rudničke vode su pumpama izbacivane u odvodni kanal GVH-1a (k.274,6), i dalje su gravitaciono oticale prema GIP-u, odnosno prema izlazu iz jame (slika 238.).

Sa spuštanjem radova prema dubljim delovima ležišta do okvirno k.175 u otkopnom polju OP-5 („spušteni blok“), glavni vodosabirnik GVS je izgubio svoju funkciju. Rudničke vode se trenutno u ovom delu jame, gravitaciono prikupljaju u vodosabirniku koji je izrađen u spojnom hodniku SH-5 na k.174,56 (slika 238.).

Iz ovog vodosabirnika, rudničke vode se pumpama napre izbacuju u vodosabirnik

na k.192,85 u SH-4, a onda u odvodni kanal GVH-1a (k.274,6) i dalje u GIP.

Odvodnjavanje rudnika mrkog uglja „Bogovina“

Sistem za odvodnjavanje jame „istočno polje“ rudnika „Bogovina“ je zasnovan na glavnom vodosabirniku, koji je lociran u dubljem delu jame (k.11,2).

Rudničke vode koje se javljaju na ortu ventilacionog okna VO (k.78,5) u severnom delu jame, gravitaciono se sprovode duž niskopa GVN, do glavnog vodosabirnika.

U jami postoji inače više privremenih vodosabirnika (VS-1, VS-2, VS-3, VS-4, PVS-1), u kojima se gravitaciono prikupljaju rudničke vode, a odatle se ispumpavaju u glavni vodosabirnik na k.11,2.

Rudničke vode iz glavnog vodosabirnika, ispumpavaju se na površinu terena (k.223,9), pomoću postavljenog cevovoda duž glavnog transportnog niskopa GTN.

Odvodnjavanje rudnika mrkog uglja „Soko“

Eksploatacija uglja ovim rudnikom se vrši jamskim radovima, koji su se spustili duboko ispod lokalnog erozionog bazisa reke Izgare. Iz tog razloga, njihovo odvodnjavanje se vrši pomoću vodosabirnika u kojima se gravitaciono prikupljaju rudničke vode iz hipsometrijski viših rudarskih prostorija, a onda se centrifugalnim pumpama, izbacuju na površinu terena u korito reke Izgare.

U otkopnom polju OP-4 zapadnog eksploatacionog polja, rudničke vode iz etažnih hodnika se gravitaciono skupljaju u tri privremena vodosabirnika i to:

- vodosabirnik PVS-1 u niskopu TN-1z;
- vodosabirnik PVS-2 u niskopu TN-2z;
- vodosabirnik PVS-3 na raskršću prostorija IN-124/VN-85.

Zapremina pomoćnog vodosabirnika PVS-1 je približno 500 m³ i on trenutno predstavlja protočni vodosabirnik, obzirom da je pomoću zacevljene jamske horizontalne bušotine, spojen sa vodosabirnikom PVS-2.

Privremeni vodosabirnik PVS-2 je zapremine 630 m³ i u njemu su postavljene tri centrifugalne pumpe, kojima se prikupljene rudničke vode pumpaju kroz postavljeni cevovod u vodosabirnik PVS-3.

Odvodnjavanje rudnika mrkog uglja „Štavalj“

Jama rudnika "Štavalj" u sadašnjim uslovima odvodnjavanja, ima jedan od najsloženijih rešenja odvodnjavanja rudarskih radova, od svih rudnika sa podzemnom eksploatacijom u Srbiji. Sa ukupno 11 vodosabirnika koliko ih je u ovom trenutku izgrađeno u jami (decembar 2012. god.), prihvataju se celokupni prilivi rudničkih voda koje se javljaju iz aktivnih i starih rudarskih radova. Iz vodosabirnika sa najnižih horizonata u jami, rudničke vode se najpre ispumpavaju centrifugalnim pumpama do vodosabirnika u plićim delovima jame, a odatle do površine terena (k.1050,7), gde se pustaju u korito reke Knešnice.

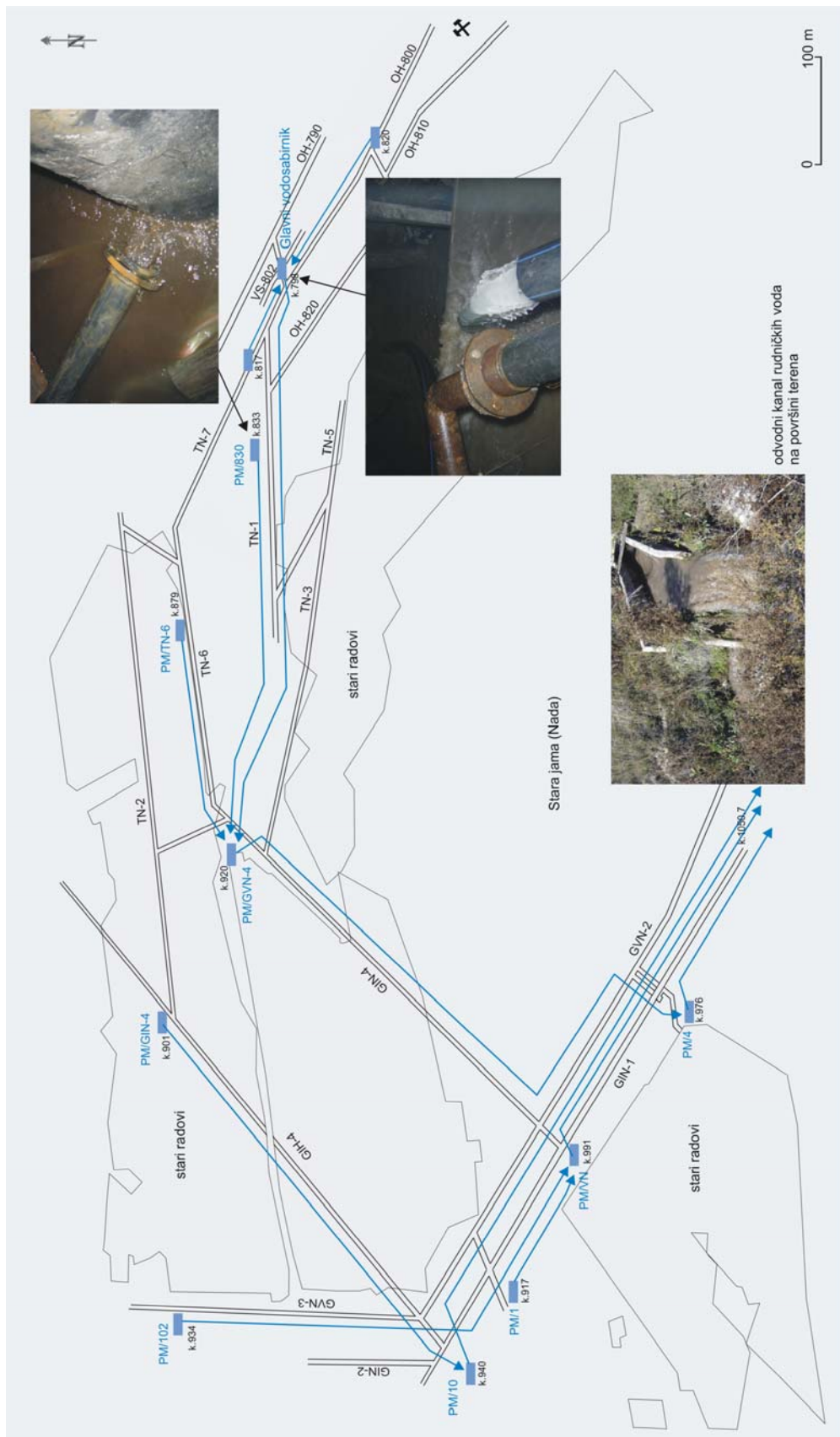
Glavni vodosabirnik se nalazi u najdubljem delu jame u VS-803 na k.798 (slika 240.). U njemu se gravitaciono prikupljaju rudničke vode sa čela radilišta, odnosno iz privremenog vodosabirnika koji je postavljen u otkopnom hodniku OH-800 na k.820, kao i rudničke vode iz privremenog vodosabirnika u TN-4 koji se nalazi na k.817.

Iz glavnog vodosabirnika VS-803 (k.798), rudničke vode se centrifugalnom pumpom izbacuju do prihvatnog vodosabirnika u GVN-4 (k.920). U ovaj prihvatni vodosabirnik se ispumpavaju i rudničke vode iz starih rudarskih radova, a koje se prikupljaju u vodosabirniku u TN-1 na k.833 i iz vodosabirnika u TN-6 na k.879. Iz prihvatnog vodosabirnika u GVN-4 (k.920), rudničke vode se prepumpavaju u prihvatni vodosabirnik na k.976, a odatle se ispumpavaju na površinu terena (k.1050,7).

Iz starog dela jame, rudničke vode se prikupljaju u više vodosabirnika. Iz vodosabirnika u GIN-4 (k.901), rudničke vode se ispumpavaju u prihvatni vodosabirnik na k.940, a odatle se izbacaju na površinu terena.

Rudničke vode iz vodosabirnika u GVN-3 (k.934), kao i iz vodosabirnika na k.917, ispumpavaju se do prihvatnog vodosabirnika na k.991, a odatle na površinu terena.

Ispumpane rudničke vode iz jame rudnika "Štavalj", prihvataju se na površini terena u betonski kanal. Njime se zatim na dužini od oko 200 m, ove vode gravitaciono usmeravaju i slobodno pustaju u koritu reke Knešnice (slika 240.).



odvodni kanal rudničkih voda na površini terena

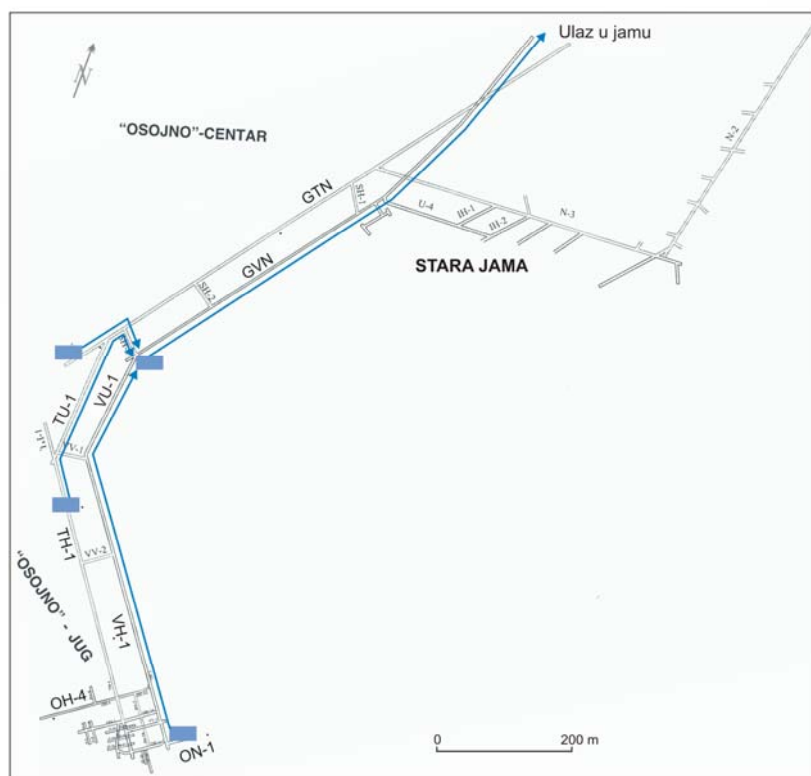
Stara jama (Nada)

Slika 240. Šema odvodnjavanja rudarskih radova rudnika mrkog uglja "Štavlaj" (dec.2012. God.)
(podloga: plan rudarskih prostorija Lojanica 2009)

Odvodnjavanje rudnika mrko-lignitskog uglja „Lubnica“

Jama rudnika „Lubnica“ je karakteristična po svojoj maloj ovodnjenosti i u tom pogledu se ističe u odnosu na ostale jame sa podzemnom eksploatacijom uglja u Srbiji. Rudničke vode u ovoj jami se javljaju samo u vidu manjih procurivanja i kapanja, tako da su u tim delovima rudarskih prostorija, izgrađeni obično privremeni vodosabirnici u kojima se gravitaciono prikupljaju rudničke vode, a zatim se njihova evakuacija do površine terena, vrši centrifugalnim pumpama.

Kako su se nešto značajniji prilivi rudničkih voda javili u decembru 2008. godine iz starih rudarskih radova u tu svrhu je bio izrađen vodosabirnik u ON-1 na k.65, odnosno na najnižoj koti u jami (slika 241.).



Slika 241. Šema odvodnjavanja jame rudnika mrko-lignitskog uglja „Lubnica“
(podloga: plan rudarskih prostorija Petrović 2009)

Pomoću centrifugalne pumpe i postavljenog cevovoda duž ventilacionog hodnika VN-1, rudničke vode se iz vodosabirnika, izbacuju u glavni vodosabirnik, koji se nalazi u ventilacionom niskopu GVN na k.75,2 (slika 241.).

Manji pomoćni vodosabirnici su locirani i u transportnom hodniku TH-1 (k.85,7) i na čelu GTN (k.76,5). Iz tehničkih ograničenja, rudničke vode iz ovih vodosabirnika se prepumpavaju do glavnog vodosabirnika u GVN, a odatle se izbacuju na površinu terena (k.246).

4.2.2. Uticaj rudničkih voda iz aktivnih rudnika uglja sa podzemnom eksploatacijom na životnu sredinu

Rudničke vode koje se ispumpavaju iz podzemnih rudarskih radova aktivnih rudnika kamenih i mrkih ugljeva Srbije, puštaju se kao otpadne vode, direktno u površinske tokove. Iz tog razloga, njihov hemijski sastav je od važnosti jer utiče na stanje životne sredine u širem području rudnika.

Hemijski sastav rudničkih voda koje se ispustaju u recipijente, prvenstveno zavisi od hemijskog sastava rudničkih voda koje se javljaju u pojedinim ugljonosnim revirima, odnosno od hemijskog sastava zbirnih rudničkih voda koji se formira u glavnom vodosabirniku rudarske jame. U koliko se formiranje zbirnih rudničkih voda u jami, vrši najvećim delom na račun priliva rudnih voda koje se dreniraju iz ugljonosne serije, onda su one najčešće složenog hemijskog sastava i veoma izražene mutnoće, o čemu je već bilo reči (poglavlje 3.4.4.). U tom slučaju, površinski tokovi kao recipijenti, pod stalnim su opterećenjem zagađivača (otpadnih rudničkih voda).

U sličajevima kada se formiranje zbirnih rudničkih voda u jami, vrši na račun većeg priliva rudničkih voda usled dreniranjem izdani iz hidrogeoloških struktura koje nisu u direktnoj hidrauličkoj vezi sa ugljonosnom serijom, onda one obično nemaju odraz na kvalitet voda površinskih tokova.

U cilju sagledavanja uticaja rudničkih voda kao efluenta koji se iz rudnika ispušta u površinske vode, analiziran je njihov hemijski sastav u skladu sa važećom *Uredbom o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vode i rokova za njihovo dostizanje* („Sl.glasnik RS“, br: 67/2011). Analiza je urađena prema: Prilogu 2. – Granične vrednosti za otpadne vode, Glavi I – Tehnološke otpadne vode, Poglavlju 3. – Granične vrednosti emisije otpadnih voda iz postrojenja i pogona za proizvodnju briketa mrkih ugljeva, Tabeli 3.1. – Granične vrednosti emisije na mestu ispusta u površinske vode.

Ovom analizom, razmatrano je tako za 11 jama rudnika uglja, ukupno 25 hemijskih analiza otpadnih rudničkih voda, koje su kvartarno rađene u Zavodima za javno zdravlje (Požarevac, Zaječar, Kraljevo) i to po nadzoru

„JP PEU“ iz Resavice, a jedan broj analiza je urađen u laboratoriji Anahema iz Bograda (tabela 59.).

Tabela 59. Prikaz površinskih tokova u koje se vrši izliv rudničkih voda iz rudnika kamenih i mrkih ugljeva Srbije

Broj analiza	Rudnik	Recipijent
5	Bogovina	Bogovinska reka
4	Jasenovac / Štavalj	Jasenovački p. / r. Knešnica
3	Jarando	Jarandolski potok
2	Vrška Čuka / Soko	Avramički p. / reka Izgara
1	Strmosten, Jelovac / Senjski Rudnik Lubnica / Tadenje	reka Resava / reka Resavica Lubnička reka / reka Raduša

Na ovaj način, prikupljeni podaci o laboratorijskim ispitivanja, odnosili su se za efluente koji su u vremenskom periodu od januara 2011., do novembra 2013. godine, direktno pustani u recipijente.

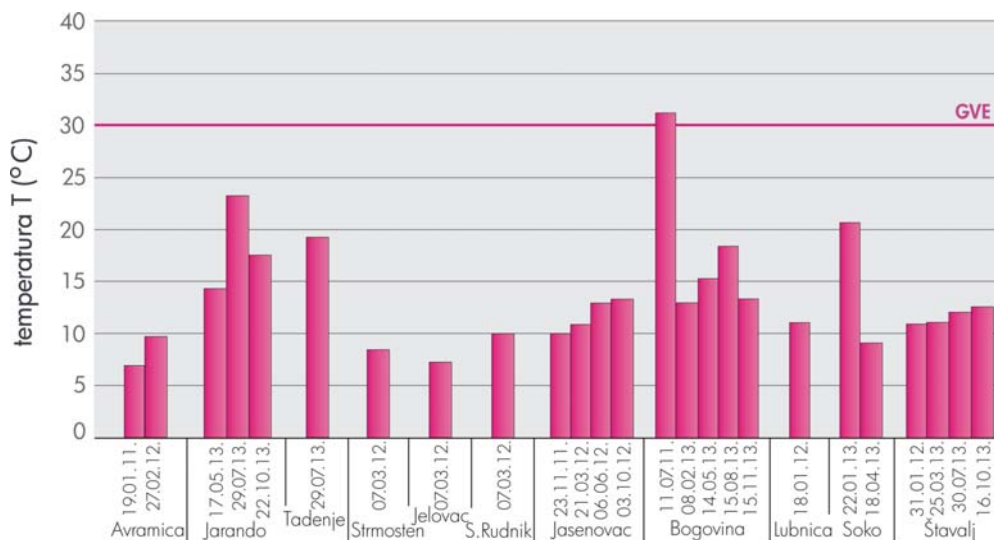
Prema već navedenoj uredbi o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vode, razmatrana su dakle 4 karakteristična parametra koji ukazuju na stanje efluenta i to: temperatura (GVE= 30°C), suspendovane materije (GVE= 50 mg/l), pH vrednost (GVE= 6,5-9) i hemijska potrošnja kiseonika HPK (GVE= 50 mg/l).

Temperatura predstavlja osnovni fizički parametar koji ukazuje na zagađenost otpadnih voda. Obzirom da utiče na dinamiku hemijskih i bioloških procesa u vodi, odnosno na promene hemijskog sastava vode, sadržaja gasova, a naročito kiseonika, temperatura otpadnih voda koje se neposredno ispuštaju u recipijent, po gore navedenoj uredbi, ne sme biti zato veća od 30°C.

Temperatura rudničkih voda koja je merena u periodu od I/2011.-VIII/2013. godine, na ispustu u površinske tokove, ukazuju da je samo u jednom slučaju, registrovano neznatno prekoračenje graničnih vrednosti emisije (slika 242.).

Otpadne rudničke vode rudnika uglja „Bogovina“, imale su temperaturu od 31,6°C, tokom jula 2011. godine, na ispustu u tok Bogovinske reke. U svim ostalim rudnicima uglja, zbirne rudničke vode (otpadne vode), imaju uglavnom znatno nižu temperaturu u odnosu na propisane granične vrednosti emisije (GVE) efluenta u recipijent.

Razmatrani rezultati, ukazuju takođe da je u dva slučaja i to u slučaju rudnika „Jarando“ i „Soko“, registrovana temperatura otpadnih rudničkih voda koja je iznosila nešto preko 20°C.



Slika 242. Emisija temperature rudničkih voda iz jama rudnika uglja na ispustu u površinske tokove

Kod najvećeg broja rudnika, temperatura je ispod 15°C, obzirom da se najvećim delom formiraju na račun dreniranja podzemnih voda koje nisu vezane za ugljunosnu seriju, već iz akvifere okolnih litoloških sredina u kojima se odvija relativno brži proces vodozamenje. Izuzimajući ekstremni slučaj u rudniku „Bogovina“ od 11.07.2011., opseg temperatura rudničkih voda iz jama rudnika kamenih i mrkih ugljeva za ispitivani period, kretao se od 7°C (rudnik „Vrška Čuka“), do 23,7°C (rudnik „Jarando“), slika 242.

Na osnovu prikazanih rezultata, može se konstatovati dakle da je temperatura otpadnih rudničkih voda koje se ispumpavaju iz jama rudnika kamenih i mrkih ugljeva, znatno ispod propisane GVE efluenta koji se sme ispustati u recipijent i da je u tom pogledu, neznatno odstupanje, registruje samo povremeno kod rudnika uglja „Bogovina“.

Suspendovane materije predstavljaju fizički pokazatelj zagađenosti voda i to u estetskom, ekološkom i zdravstvenom pogledu. Radi se zapravo o čvrstom materijalu koji nije rastvoren u vodi, tako da se sastoje od taloživih i koloidnih supstanci. Taložljive materije ugrožavaju živi svet na dnu voda, smanjuju prozirnost vode i na njih se adsorbuju joni i molekuli drugih materija.

Koloidne suspendovane materije, podložne su brzom truljenju i imaju važnu ulogu u tretiranju i dispoziciji zagađenih voda.

U otpadnim vodama koje se pustaju u recipijente, sadržaj suspendovanih materija, ne sme iznositi više od 50 mg/l.

Suspendovane materije u analiziranim otpadnim rudničkim vodama iz jama rudnika uglja, predstavljaju opterećujući parametar u najvećem broju slučaja (slika 243.). Problem u ovom pogledu čini otkop i čest pretovar uglja



Slika 243. Izliv otpadnih rudničkih voda iz jame rudnika „Štavalj“ u reku Knešnicu

tokom transporta kroz jamu. Time se uslovljava delimično mrvljenje, tako da rudničke vode najčešće sadrže grubo dispergovane čestice uglja, a pored njih i čestice drugih slabo vezanih stena.

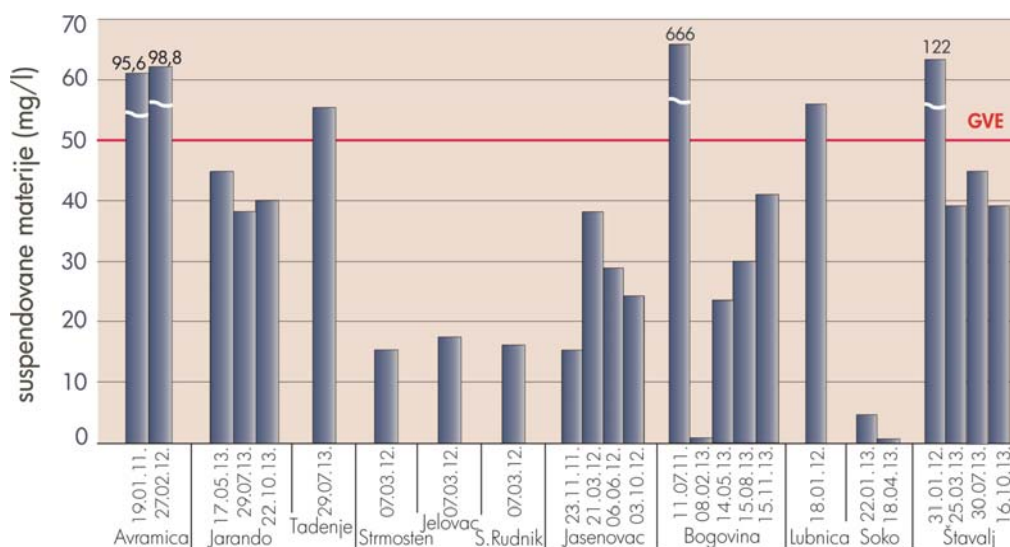
Za analizirani period I/2011.–XI/2013. god., konstatovan je jako promenljivi stepen disperzije suspendovanih materija u rudničkim vodama (slika 244.).

Najveća emisija suspendovanih materija, postojala je u rudniku „Bogovina“ na izlivu u Bogovinsku reku u julu 2011. godine i to sa ekstremnom vrednošću od 666 mg/l.

Više od dva puta veću vrednost od dozvoljene, imale su i rudničke vode rudnika „Štavalj“ na izlivu u reku Knešnicu u januaru 2012. godine i to sa 122 mg/l (slika 244.).

Prekoračenje granične vrednosti emisije je konstatovano i u slučaju rudnika „Vrška Čuka“, gde su se suspendovane materije kretale od 95,6 – 98,8 mg/l, pri izlivu otpadnih voda u Avramički potok tokom januara 2011. i februara 2012. god. (slika 244.).

Neznatna prekoračenja su postojala i kod otpadnih rudničkih voda rudnika „Tadenje“ od 55 mg/l. Rudničke vode su tokom jula 2013. god., ispuštane u reku Radušu. Sličan primer je i sa rudnikom „Lubnica“, gde su suspendovane materije u rudničkim vodama dostizale vrednost od 56,4 mg/l, uz napomenu da se ove otpadne vode zbog jako male količine, ne ispuštaju u površinski tok, već po tlu neposredno pred rudnika.

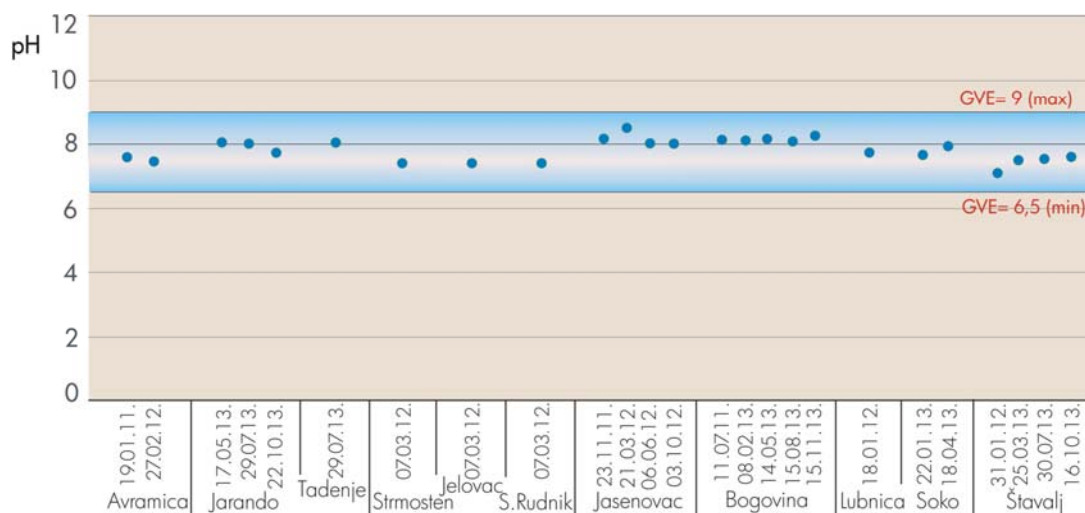


Slika 244. Emisija suspendovanih materija otpadnih rudničkih voda iz jama rudnika uglja na ispustu u površinske tokove

Prikazani rezultati, ukazuju dakle da su suspendovane materije u otpadnim rudničkim vodama iz jama rudnika uglja, veoma često iznad granične vrednosti, tako da se ne mogu direktno ispuštati u recipijente. Posebno u tom pogledu su izraženi problemi kod rudnika „Bogovina“, „Vrška Čuka“ i „Štavalj“.

pH vrednost je hemijski pokazatelj zagađenosti voda i on predstavlja meru aktivnosti vodonikovih jona (H^+) u rastvoru, odnosno vodi i na taj način određuje da li je rastvor kiselog ili baznog karaktera. U nezagađenim vodama, pH vrednost zavisi od slobodnog CO_2 , karbonata i bikarbonata. Otpadne vode mogu imati niske i visoke vrednosti pH, a rezultati ispitivanja otpadnih rudničkih voda rudnika uglja, ukazuju da su one najčešće neutralne ili slabo bazne. Kod 25 ispitivanih uzoraka rudničkih voda, kretale su se u rasponu od 7,05 – 8,51 (slika 245.).

Zapaženo je da se najniže registrovane pH vrednosti rudničkih voda ($pH < 7,5$), odnosile na rudnike Rembas-a („Strmosten“, „Jelovac“, „Senjski Rudnik“), gde se njihovo formiranje vrši najvećim delom na račun dreniranja karstnog akvifera, a povremeno su registrovane i u rudniku „Vrška Čuka“ i „Štavalj“, za koje je vezano dreniranje pukotinskog akvifera iz povlatnih peščara, odnosno laporaca (slika 245.).



Slika 245. Opseg emisije pH vrednosti otpadnih rudničkih voda iz jama rudnika ugljeva na ispustu u površinske tokove

Razmatrani rezultati pH vrednosti otpadnih rudničkih voda, ukazuju dakle da se one nalaze unutar propisanih graničnih vrednosti emisije efluenta od $pH_{min}=6,5$ do $pH_{max}=9$ („Sl.glasnik RS“, br:67/2011).

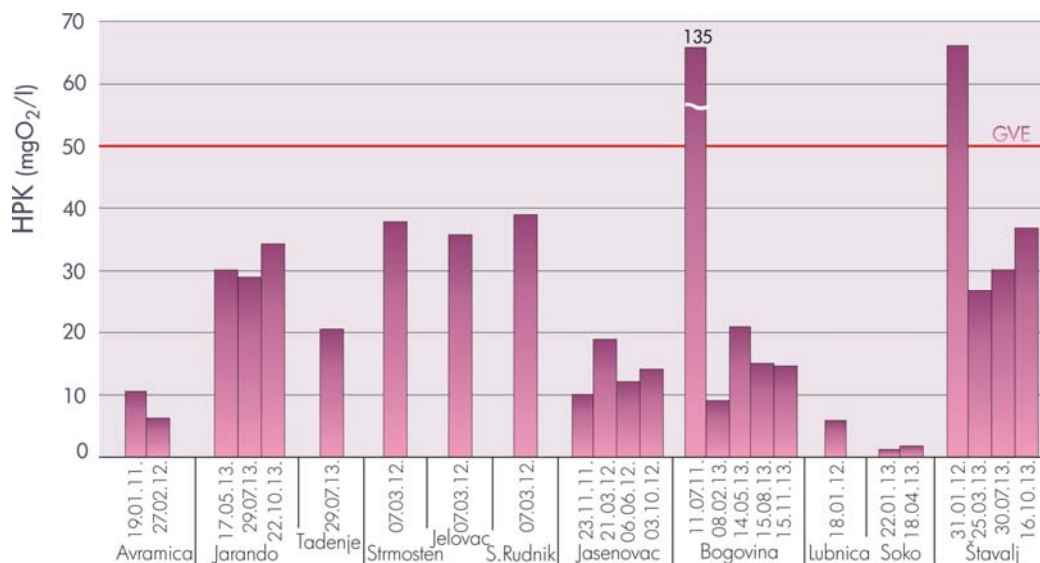
Hemijska potrošnja kiseonika (HPK) je hemijski pokazatelj zagađenosti otpadnih voda. HPK predstavlja zapravo hemijski potrebnu količinu kiseonika za oksidaciju organskih komponentata i neorganskih soli, odnosno izražava se kao količina O_2 koja se potroši pri potpunoj oksidaciji organskih komponenti u neorganske proizvode.

Prema već navedenoj Uredbi o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vode i tokove, HPK je normirana na $50 \text{ mgO}_2/\text{l}$. U tom pogledu, značajna prekoračenja su konstatovana kod otpadnih rudničkih voda rudnika „Bogovina“ i to tokom jula 2011. godine ($HPK=135 \text{ mgO}_2/\text{l}$), slika 246.

Iznad dozvoljenih graničnih vrednosti, HPK je registrovana i kod otpadnih rudničkih voda rudnika „Štavalj“ i to u januaru 2012. godine, kada je iznosila $67 \text{ mgO}_2/\text{l}$ (slika 246.). U svim ostalim slučajevima, HPK otpadnih rudničkih voda rudnika uglja je niska, odnosno ispod propisane granične vrednosti od $50 \text{ mgO}_2/\text{l}$.

Uzevši u celini, utvrđeno je dake da su u razmatranom periodu januar 2011.–novembar 2013. god., razmatrani pokazatelji zagađenosti voda koji su propisani Uredbom o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vode i to temperatura, pH vrednost, suspendovane materije i hemijska

potrošnja kiseonika (HPK), dostizali vrednosti iznad granične i da su na taj način imale uticaj na zagađenje recipijenta u koji su ispuštane.



Slika 246. Emisija HPK rudničkih voda iz jama rudnika uglja Srbije na ispustu u površinske tokove

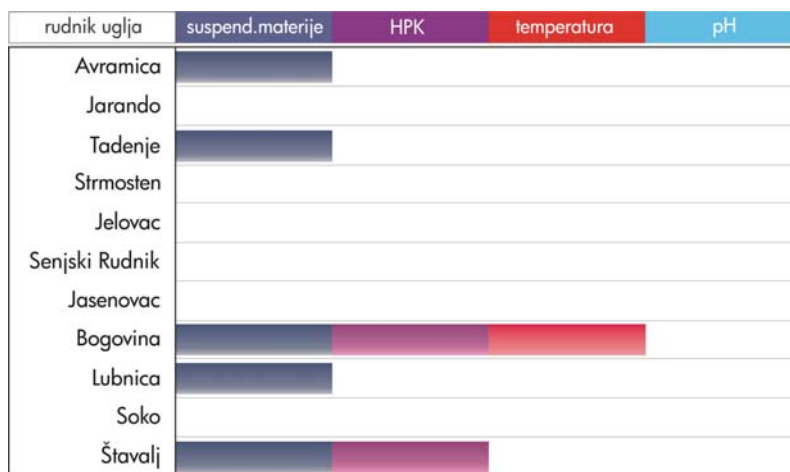
Na slici 247., pregledno je prikazano konstatovano stanje jednokratnog pilot ispitivanja otpadnih rudničkih voda za slučajeve gde je postojalo prekoračenje graničnih vrednosti nekih od zagađujućih materija.

Na osnovu datog prikaza (slika 247.), jasno se uočava da rudničke vode prvenstveno vrše emisiju suspendovanih materija preko granične vrednosti, a kao drugi problem se javlja HPK, s tim da je on u manjem obimu ispoljen.

Najizraženiji uticaj dakle, imale su otpadne rudničke vode rudnika „Bogovina“, koje su u analiziranom vremenskom periodu, vršile prekomernu emisiju i to : temperature, suspendovanih materija i HPK (slika 247.).

Prekoračenje emisije zagađujućih materija, postoji i u slučaju otpadnih rudničkih voda rudnika „Štavalj“, uz napomenu da su količine rudničkih voda koje se ispuštaju u reku Knešnicu (slika 243.), u proseku 10 puta veće u odnosu na ispust koji se vrši u Bogovinsku reku od strane rudnika „Bogovina“.

Otpadne rudničke vode rudnika „Vrška Čuka“, „Tadenje“ i „Lubnica“, imaju takođe povremeno prekoračenje emisije određenih zagađujućih materija u recipijente, s tim da ovi rudnici imaju relativno male prilive pa samim tim i male količine rudničkih voda koje se ispuštaju ($Q = 0,1 - 1,3 \text{ l/s}$).



Slika 247. Prikaz parametara čija je emisija vršena iznad GV pri ispustu rudničkih voda iz jama rudnika uglja Srbije u površinske tokove u periodu I/2011.-XI/2013.

Svi navedeni rudnici uglja koji imaju prekoračenje emisije zagađujućih materija (slika 247.), moraju prema pomenutoj Uredbi, uskladiti svoje emisije sa propisanim i to najkasnije do 31.12.2020. godine.

U cilju sagledavanja rezultata hemijskih analiza rudničkih voda koje ističu iz jama rudnika uglja, sa graničnim vrednostima koje su propisane za dobar ekološki status površinskih voda, odnosno za klasu II, čemu se teži u postizanju (Uredba o graničnim vrednostima zagađujućih materija u površinskim i podzemnim vodama i sedimentima i rokovima za njihovo dostizanje, „Sl.glasnik RS“ br: 50/2012., Prilog 1. – Površinske vode, Tabela 1. – Granične vrednosti zagađujućih materija u površinskim vodama, Tabela 3. – Granične vrednosti zagađujućih materija za dobar ekološki status odnosno II klasu površinskih voda), izvršena je analiza koja je ukazala da postoje značajna odstupanja u tom pogledu.

Polazno stanovište od kog se pošlo pri ovoj analizi, bilo je u jasnom izdvajanju parametara hemijskog sastava rudničkih voda, koji nisu poželjni da se nađu u površinskim vodama i to za minimum uslova II-ge klase, jer ona obezbeđuje na osnovu graničnih vrednosti elemenata kvaliteta, uslove za funkcionisanje ekosistema, život i zaštitu riba (ciprinida), da se mogu koristiti za snabdevanje vode za piće (uz predhodni laki tretman filtracijom i dezinfekcijom), kupanje i rekreaciju, navodnjavanje, industrijske procese, upotrebu kao rashladne vode i dr. (Pravilnik o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda, „Sl.glasnik RS“, br: 74/2011).

Kao sledeći korak u ovoj analizi, bilo je usvajanje tipa površinskih voda u koji se vrši ispuštanje rudničkih voda, saglasno *Pravilniku o utvrdjivanju vodnih tela površinskih i podzemnih voda* („Sl.glasnik RS“, br: 96/2010.). Tako je na osnovu elemenata kvaliteta, izdvojen TIP 3 površinskih voda, kome pripada reka Resava, jer se u nju vrši ispuštanje rudničkih voda iz jame „Strmosten“ i „Jelovac“.

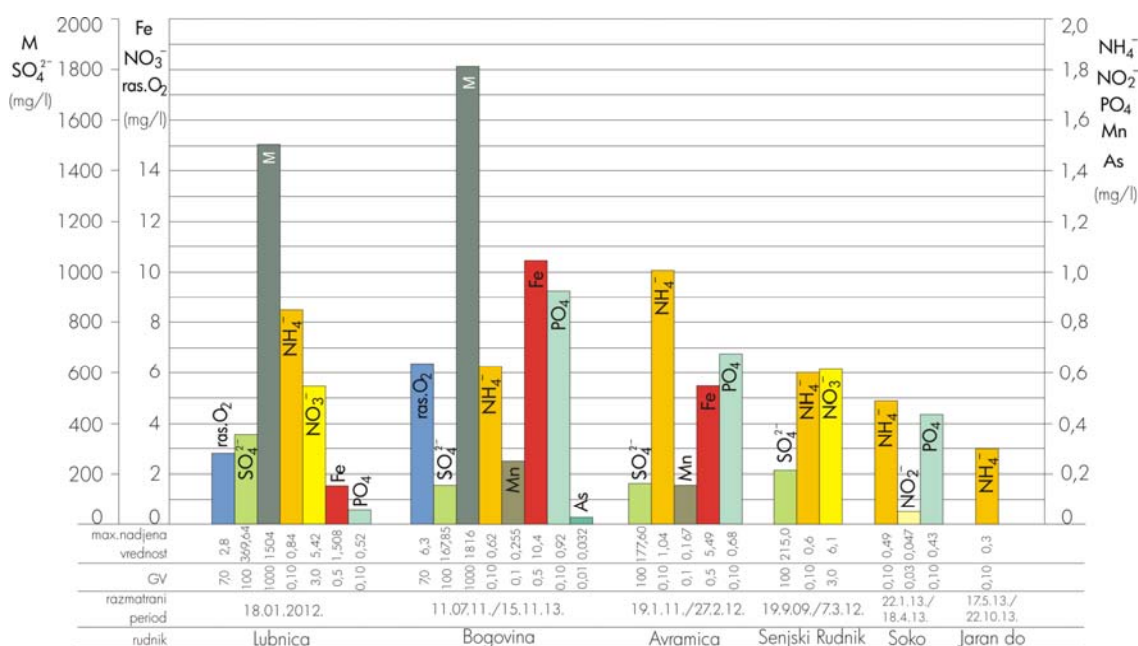
Površinske vode TIP 6, pripadaju svi ostali, uglavnom manji vodotoci, jer se ispuštanje rudničkih voda vrši u sledeće vodotokove: Avramički potok (rudnik „Vrška Čuka“), reka Resavica (rudnik „Senjski Rudnik“), Jasenovački potok (rudnik „Jasenovac“), Bogovinska reka (rudnik „Bogovina“), Lubnička reka (rudnik „Lubnica“), reka Izgara (rudnik „Soko“), Jarandolski potok (rudnik „Jarando“), reka Raduša (rudnik „Tadenje“), reka Knežnica (rudnik „Štavalj“).

Razmatrani rezultati hemijskih analiza rudničkih voda sa kojima se raspolagalo, nisu po obimu obuhvatali u potpunosti sve parametre prema pomenutoj Uredbi o граниčnim vrednostima zagađujućih materija u površinskim vodama, ali su svakako ukazali na prisustvo određenih zagađujućih materija (tabela 60.).

Tabela 60. Obim parametara hemijskog sastava rudničkih voda rudnika uglja (van osnovnog jonskog sastava) koja su vršena laboratorijskim ispitivanjima

Rudnik	Ispitivani parametri	Datum
Avramica	NH ₄ , NO ₂ , NO ₃ , PO ₄ , rast. O ₂ , Fe, Mn, Pb, Cd, Zn, Ni, Cu, Cr, As, uk. kofif. bakterije	19.01.2011./27.02.2012.
Strmosten	NH ₄ , NO ₂ , NO ₃ , P, rast. O ₂ , Fe, Mn	07.03.2012.
Jelovac	NH ₄ , NO ₂ , NO ₃ , P, rast. O ₂ , Fe, Mn	07.03.2012.
Senjski Rud.	NH ₄ , NO ₂ , NO ₃ , P, Fe, Mn, Li, Sr, Al, Zn, Cu, Cr, Pb, Cd, As, Se, Ni	14.09.2009./07.03.2012.
Jasenovac	NH ₄ , NO ₂ , NO ₃ , P, rast. O ₂ , uk. kofif. bakterije	23.11.2011./03.10.2012.
Bogovina	NH ₄ , NO ₂ , NO ₃ , Fe, Mn, F, PO ₄ , rast.O ₂ , Pb, Cd, Zn, Ni, Cr, Cu, As	11.07.2011./15.11.2013.
Lubnica	NH ₄ , NO ₂ , NO ₃ , PO ₄ , rast. O ₂ , Fe, Mn, Pb, Cd, Zn, Ni, Cu, Cr, As, uk. kofif. bakterije	18.01.2012.
Soko	NH ₄ , NO ₂ , NO ₃ , PO ₄ , rast. O ₂ , Fe, Mn, uk. kofif. bakterije	22.01.2013./18.04.2013.
Jarando	NH ₄ , rast. O ₂ , P, Fe, Mn, Zn, Cd, Cu, Cr	17.05.2013./22.10.2013.
Tadenje	NH ₄ , rast. O ₂ , P, Fe, Mn, Zn, Cd, Cu, Cr	29.07.2013.
Štavalj	NH ₄ , NO ₂ , NO ₃ , rast. O ₂ , P, Fe, Mn, Zn, Cr, Cu	18.07.2013.

Bez obzira na broj hemijskih analiza sa kojima se raspolagalo pojedinačno za svaki rudnik, ili vremenski period koji je uzet u razmatranje, značajno je saznanje, da rudničke vode koje se ispumpavaju iz jama rudnika „Lubnica“, „Bogovina“, Senjski Rudnik“, „Vrška Čuka“, „Soko“ i „Jarando“, poseduju zagađujuće materije sa sadržajima koji su iznad graničnih vrednosti prema kriterijumima za II klasu površinskih voda, odnosno za dobar ekološki status površinskih voda (slika 247.).



Slika 247. Prikaz zagađujućih materija čiji sadržaj u rudničkim vodama aktivnih rudnika uglja, prelazi granične vrednosti za II klasu površinskih voda

U analiziranim rudničkim vodama navedenih rudnika, konstatovano je prekoračenje graničnih vrednosti za: amonijum jon (NH₄), fosfate (PO₄), sulfate (SO₄), gvožđe (Fe), mangan (Mn), nitrate (NO₃), nitrite (NO₂), arsen (As), rastvoren O₂, mineralizaciju (M) i ukupne koliformne bakterije.

Amonijum jon (NH₄) je najkarakterističniji parametar zagađenja, koji se javlja u svim navedenim rudničkim vodama. Sledeći po zastupljenosti su fosfati (PO₄). Zastupljenost amonijum jona i fosfata, može se vezati za organsku materiju uglja u čiji hemijski sastav pored ugljenika (C), vodonika (H), kiseonika (O) i sumpora (S), ulazi i azot (N) i fosfor (P).

Usled anaerobnih uslova, sadržaji amonijum jon u rudničkim vodama, često su veoma visoki, kao u otkopnom hodniku OH-4 rudnika „Lubnica“

($\text{NH}_4 = 11,6 \text{ mg/l}$), transkopnom uskopu TU-2 rudnika „Bogovina“ ($\text{NH}_4 = 2,74 \text{ mg/l}$), u PTN-1 rudnika „Jarando“ ($\text{NH}_4 = 2,11 \text{ mg/l}$).

U zbirnim rudničkim vodama koje se ispumpavaju na površinu terena, usled razblaženja, maksimalni sadržaji amonijum jona su konstatovani u rudničkim vodama rudnika „Vrška Čuka“ ($\text{NH}_4 = 1,04 \text{ mg/l}$), a u slučaju rudnika „Bogovina“, oni iznose $\text{NH}_4 = 0,84 \text{ mg/l}$.

Fosfati su po sadržaju najzastupljeniji u otpadnim rudničkim vodama rudnika „Bogovina“ sa $\text{PO}_4 = 0,92 \text{ mg/l}$ (slika 247.).

Najizraženije odstupanje po broju parametara, uočeno je kod rudničkih voda rudnika „Bogovina“ i „Lubnica“. Radi se o rudničkim vodama koje imaju visoku mineralizaciju, a rastvoreni kiseonik ispod propisane granične vrednosti od $7,0 \text{ mgO}_2/\text{l}$.

Za otpadne rudničke vode rudnika „Bogovina“, posebno je karakterističan povremeni jako visoki sadržaj gvožđa ($\text{Fe} = 10,4 \text{ mg/l}$) i to je ujedno najviša registrovana vrednost od svih razmatranih rudničkih voda. Ove rudničke vode su jedine koje imaju arsen ($\text{As} = 0,032 \text{ mg/l}$), iznad propisane granične vrednosti od $0,01 \text{ mg/l}$, što je i logično, obzirom da je registrovan i u rudničkoj vodi u jami (transportni niskop TN-2) i to u sadržaju od $\text{As} = 0,247 \text{ mg/l}$.

Kod rudničkih voda rudnika „Lubnica“, izdvajaju se sadržaji amonijum jona (NH_4) i nitrata (NO_3), ali sulfati (SO_4) sa sadržajem od $369,64 \text{ mg/l}$ je najviša registrovana vrednost u odnosu na sve analizirane rudničke vode (slika 247.).

Pored već prikazanih parametara sa prekoračenjima graničnih vrednosti, treba istaći nitrite (NO_2), koje se javljaju u ispumpanim rudničkim vodama rudnika „Soko“, kao i čestu pojavu visokog sadržaja ukupnih koliformnih bakterija od $12000 \text{ cfu}/100 \text{ ml}$, u rudničkim vodama rudnika „Jasenovac“.

Ovom analizom je utvrđeno dakle da rudničke vode karakteriše najčešće prisustvo četiri zagađujuće materije u sadržajima iznad graničnih vrednosti za postizanje dobrog ekološkog statusa površinskih voda i to: amonijum jon (NH_4), fosfate (PO_4), sulfate (SO_4) i gvožđe (Fe). U tom smislu se ističe problem, jer se rudničke vode, često ispuštaju u male vodotokove, čiji su proticaji u letnjim periodima ispod 5 l/s , a neki i presuše. Takav vodotok je Bogovinska reka, Avramički potok, Jarandolski potok i reka Izgara, koje potencijalno mogu biti ugrožene zagađujućim materijama iz rudničkih voda.

Problem sa rudničkim vodama rudnika „Lubnica“, ne ističe se u ovom pogledu, jer se radi o jako maloj količini vode ($Q_{sr} = 0,1 \text{ l/s}$), koje se ne ispuštaju direktno u površinski vodotok.

4.2.3. Uticaj rudničkih voda iz zatvorenih rudnika uglja sa podzemnom eksploatacijom na životnu sredinu

Zatvoreni rudnici za eksploataciju kamenih i mrkih ugljeva, najčešće se ne odvodnjavaju u našoj praksi i to čak ni u slučajevima kada se u susednim revirima ili u dubljim delovima ležišta, vrši otkop uglja iz aktivnih jama. Takvi primeri se sreću u području ležišta antracita „Vrška Čuka“ (potkop „Sv.Đorđe“), stara jama u ležištu uglja „Jarando“, zatim u ležištu uglja „Strmosten“ ili „Stari Jasenovac“ u ležištu uglja „Jasenovac“.

Rudničke vode iz zatvorenih jamskih rudnika ugljeva, ističu na površunu terena slobodno, bez kontrole i to najčešće gravitaciono duž starih potkopa, a u nekim slučajevima i pod pritiskom u vidu samoizliva preko starih rudarskih okana ili niskopa.

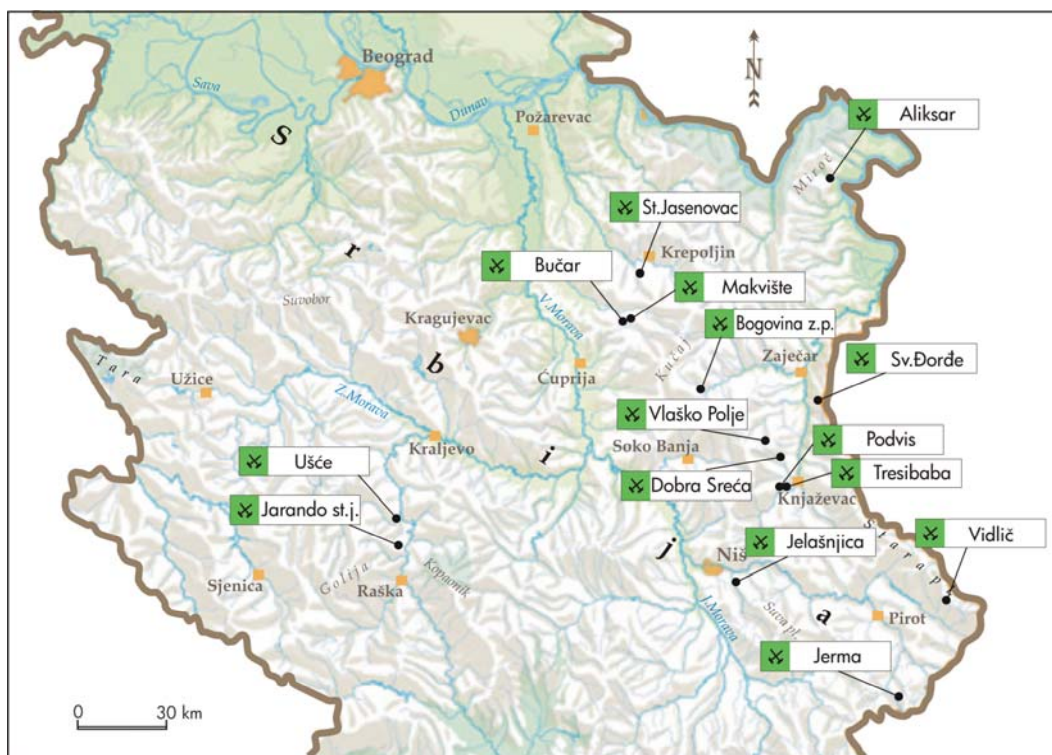
Gravitaciono ističu rudničke vode iz sledećih zatvorenih rudnika uglja: „Jerma“, „Stari Jasenovac“, „Vrška Čuka“ (potkop „Sv.Đorđe“), potkop „Makvište“ i „Resava“ (Rembas), „Vidlič“ (Mazgoš), „Ušće“ (Ibarski rudnici), „Vlaško Polje“, „Podvis“, „Tresibaba“, „Dobra Sreća“, „Aliksar“, „Jelašnica“ (slika 248.).

Rudničke vode u vidu samoizliva se povremeno javljaju iz niskopa u istočnom polju rudnika „Bogovina“, kao i iz starog rudarskog okna 10., a stalna isticanja postoje iz rudarskog okna „Avramica“ u ležištu uglja „Vrška Čuka“ i okna „Makvište“ u Rembas-u.

Hemijski sastav rudničkih voda koje se javljaju iz zatvorenih jama rudnika uglja, zavisi prvenstveno od uslova odvodjenosti ležišta (vodonosnosti kako sedimenata ugljonosne serije, tako i tvorevina u njenoj podini i povlati), ali i od načina otvaranja ležišta za eksploataciju i stanja očuvanosti rudarskih prostorija od zarušavanja, posebno onih koje su izvedene kroz ugljonosnu seriju.

U cilju davanja ocene i sagledavanja uticaja otpadnih rudničkih voda na recipijente, raspolagalo se sa ukupno 20 hemijskih analiza, ali najveći broj od njih, po sadržaju ispitivanih parametara, nije odgovarao u potpunosti zahtevima koji su sadržani u *Uredbi o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u*

vode i rokove za njihovo dostizanje („Sl.glasnik RS“, br: 67/2011, Prilog 2., Glava I – Tehnološke otpadne vode, Poglavlje 3. – Granične vrednosti emisije otpadnih voda iz postrojenja i pogona za proizvodnju briketa mrkih ugljeva, Tabele 3.1. – Granične vrednosti emisije na mestu ispusta u površinske vode).

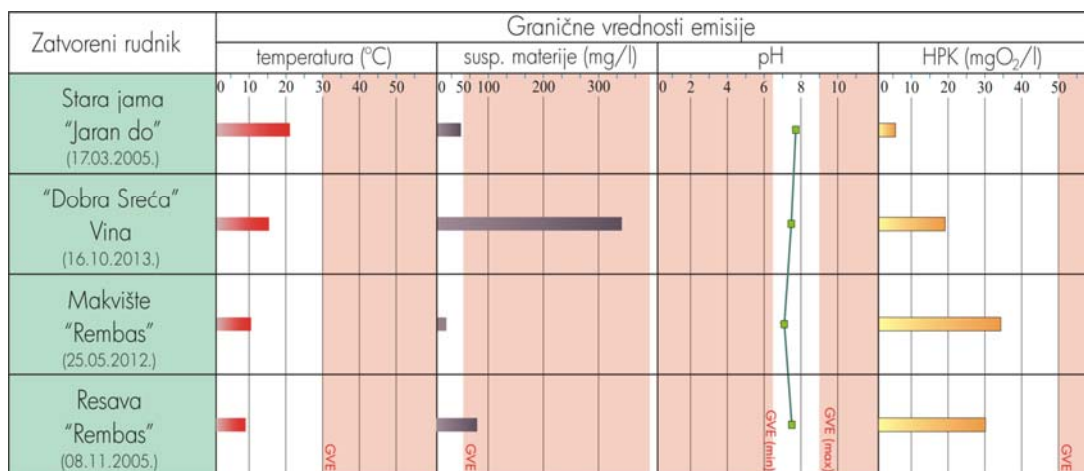


Slika 248. Geografski položaj zatvorenih rudnika kamenih i mrkih ugljeva Srbije iz kojih ističu rudničke vode

Prema propisanim graničnim vrednostima emisije iz gore navedene uredbe, utvrđeno je na osnovu raspoloživih podataka da su analizirane otpadne rudničke vode zatvorenih rudnika uglja, imale u slučaju rudnika „Dobra Sreća“ i „Resava“, prekoračenja emisije i to usled visokog sadržaja suspendovanih materija (slika 249.).

Na ulivu rudničke vode iz potkopa „Dobra Sreća“ u površinski tok Vinskog potoka, konstatovano je prisustvo suspendovanih materija od 338 mg/l, čime je više od šest puta prekoračena propisana granična vrednost emisije ove materije (GVE= 50 mg/l), slika 250.

Prekoračenje emisije suspendovanih materija u slučaju rudničkih voda koje iz „severnog potkopa“ ističu iz zatvorenog rudnika „Resava“ i pustaju se u tok reke Resavice, iznosilo je 74 mg/l (slika 249.).



Slika 249. Emisija zagađujućih materija iz otpadnih rudničkih voda zatvorenih rudnika uglja Srbije u površinske tokove



Slika 250. Isticanje rudničkih voda iz potkopa zatvorenog rudnika uglja „Dobra Sreća“ u selu Vina kod Knjaževca (foto B.Miladinović)

Prema navedenoj Uredbi, emisija ostalih zagađujućih materija koje su razmatrane, nije utvrđena iznad propisanih graničnih vrednosti (GVE).

Kao i kod ova četiri analizirana rudnika, situacija je donekle slična i kod ostalih napuštenih rudnika uglja, barem kada je u pitanju temperatura rudničkih voda i njihova pH vrednost.

Temperatura otpadnih rudničkih voda se kreće od T=9,7°C (potkop Koznik - rudnik „Jerma“), do T=14,5°C (rudnik „Podvis“). Neznatna prekoračenja graničnih vrednosti emisije, konstatovana su samo za pH vrednost

i to u slučaju rudničkih voda koje ističu iz potkopa „Koznik“ (rudnik „Jerma“), slika 251. Vrednost pH ovih voda iznosi $\text{pH} = 6,45$ ($\text{GVE} = 6,5-9,0$), dok je kod ostalih rudničkih voda, maksimalno iznosila 7,47 (rudnik „Aliksar“).



Slika 250. Isticanje rudničkih voda iz zatvorenog rudnika „Jerma“ potkop „Koznik“ (foto B.Miladinović)

Upoređujući raspoložive rezultate hemijskih analiza rudničkih voda koje ističu iz zatvorenih rudnika uglja sa propisanim graničnim vrednostima zagađujućih materija u površinskim vodama i to prema *Uredbi o graničnim vrednostima zagađujućih materija u površinskim i podzemnim vodama i sedimentima i rokovima za njihovo dostizanje* („Sl.glasnik RS“ br: 50/2012., Prilog 1. – Površinske vode, Tabela 1. – Granične vrednosti zagađujućih materija u površinskim vodama, Tabela 3. – Granične vrednosti zagađujućih materija za dobar ekološki status odnosno II klasu površinskih voda), analiza je ukazala da rudničke vode po nekim ispitivanim parametrima, nalaze se iznad graničnih vrednosti koje su propisane za dobar ekološki status površinskih voda, odnosno za klasu II.

Opis klase II prema klasifikaciji datoj u *Pravilniku o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda* („Sl.glasnik RS“, br: 74/2011), obezbeđuje na osnovu graničnih vrednosti elemenata kvaliteta, uslove za funkcionisanje ekosistema, život i zaštitu riba (ciprinida) i mogu se koristiti za snabdevanje vode za piće uz predhodni tretman filtracijom i dezinfekcijom, kupanje i rekreaciju, navodnjavanje, industrijsku upotrebu (procesne i rashladne vode).

Za ovu analizu, obzirom da se najčešće rudničke vode zatvorenih rudnika uglja, ispuštaju u manje površinske tokove, koji nisu obuhvaćeni *Pravilnikom o utvrđivanju vodnih tela površinskih i podzemnih voda* („Sl.glasnik RS“,

br: 96/2010), njihovo svrstavanje je izvršeno po ovom Pravilniku u TIP6 površinskih voda. Izuzetak u tom pogledu je ispust rudničkih voda iz zatvorenog rudnika uglja „Ušće“ u reku Studenicu, koja je svrstana prema gore navedenom Pravilniku u TIP2 površinskih voda.

Treba takođe istaći da je od raspoloživih 16 hemijskih analiza otpadnih rudničkih voda, 11 urađeno na deo mikrokomponentnog hemijskog sastava i to u obimu kako je prikazano u tabeli 61., pri čemu značajan deo propisanih parametara prema gore navedenom Pravilniku, nije bio obuhvaćen ispitivanjima.

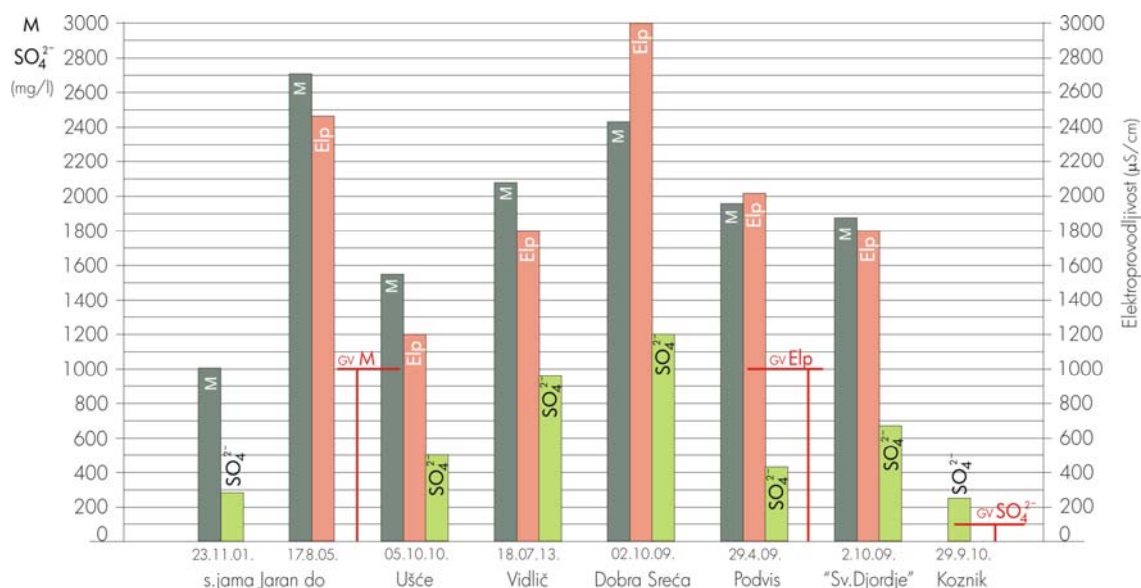
Tabela 61. Obim laboratorijskih ispitivanja mikrokomponentnog sastava rudničkih voda zatvorenih rudnika uglja Srbije

Rudnik	Ispitivani parametri	Datum
potkop „Sv.Đorđe“ - Avramica*	NH ₄ , NO ₂ , Fe, Mn, Li, Sr, Al, Zn, Cu, Cr, Pb, Cd, As, Se, Ni	02.10.2009.
„Vlaško polje“ *	NH ₄ , NO ₂ , Fe, Mn, Li, Sr, Zn, Cu, Pb, As	24.04.2009.
„Dobra sreća“ *	NH ₄ , NO ₂ , Fe, Mn, Li, Sr, Al, Zn, Cr, Cu, Pb, Cd, As, Se, Ni	02.10.2009.
„Podvis“ *	NH ₄ , NO ₂ , Fe, Mn, Li, Sr, Zn, Cu, Pb, As	29.04.2009.
potkop „Koznik“ - Jerma*	NH ₄ , NO ₂ , Fe, Mn, Li, Sr, Zn, Cr, Cu, Pb, Cd, As, Se, Ni	29.09.2010.
potkop „Rakita“ - Jerma*	NH ₄ , NO ₂ , Fe, Mn, Li, Sr, Zn, Cr, Cu, Pb, Cd, As, Se, Ni	29.09.2010.
jama „Resava“ *	NH ₄ , NO ₂ , Fe, Mn, Li, Al, Zn, Cr, Cu, Pb, Cd, As, Se, Ni	14.09.2009.
St. jama „Jarando“ - Ibarski rud.	NH ₄ , NO ₂ , Fe, Mn, Li, Sr, Al, Zn, Cu, Cs, Rb, Cr, F	23.11.2001.
St. jama „Jarando“ - Ibarski rud.	NO ₂ , Fe, Mn, Pb, Zn, Cd, Cu, Cr, Ni, As, F	17.08.2005.
„Ušće“ - Ibarski rudnici	NH ₄ , NO ₂ , Fe, Mn, Al, Cu, Pb, Zn, Cd, Cr, Hg, As, Sb, Ni	05.10.2010.
rudnik „Vidlič“ - Mazgoš	NH ₄ , NO ₂ , Fe, Mn, Li, Sr, Al, Pb, Zn, Rb, As, Hg, Co, Cr, Cu, B, Cd, Ti, Ni	18.07.2013.

*/Dragišić i dr. 2009

Bez obzira dakle na ovakav obim hemijskih analiza, utvrđeno je da osim rudničkih voda iz zatvorenog rudnika „Vlaško polje“ (uslovno samo ispitivane parametre), sve ostale analizirane rudničke vode, imaju prekoračenja graničnih vrednosti nekih od ispitivanih zagađujućih materija, u poređenju sa kriterijumima koji se odnose za II klasu površinskih voda, odnosno za dobar ekološki status površinskih voda.

Analizirane rudničke vode, imaju najčešća prekoračenja graničnih vrednosti za: mineralizaciju (GV= 1000 mg/l), elektroprovodljivost (GV= 1000 µS/cm), sulfate (GV= 100 mg/l), slika 252.



Slika 252. Rudničke vode zatvorenih rudnika uglja čija mineralizacija (M), elektroprovodljivost (Elp) i sadržaj sulfata (SO₄²⁻), prelazi graničnu vrednost propisanu za II klasu površinskih voda

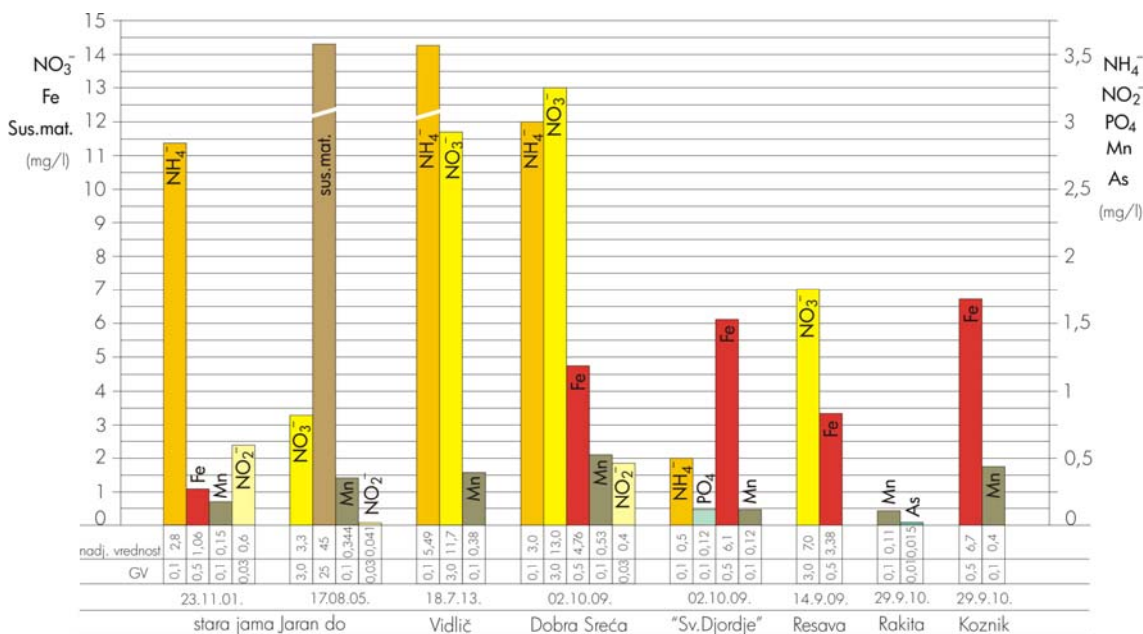
Najizraženije odstupanje, odnosi se za rudničke vode iz potkopa zatvorenog rudnika „Dobra Sreća“, obzirom da sva tri razmatrana parametra, imaju značajna prekoračenja graničnih vrednosti (GV). Izgled otpadnih rudničkih voda iz zatvorenog rudnika „Vidlič“ na Staroj Planini, prikazan je na slici 253.



Slika 253. Rudničke vode iz zatvorenog rudnika uglja „Vidlič“ na Staroj Planini (foto B.Miladinović)

U analiziranim rudničkim vodama, pored već prikazanih prekoračenja graničnih vrednosti, konstatovane su i visoki sadržaji sledećih zagađujućih

materija: NH_4^- , NO_3^- , NO_2^- , Fe, Mn, As, PO_4 i suspendovane materije. Njihov grafički prikaz je dat na slici 254.



Slika 254. Prikaz zagađujućih materija čiji sadržaj u otpadnim rudničkim vodama zatvorenih rudnika uglja, prelazi granične vrdnosti koje se odnose na II klasu površinskih voda

Na osnovu prikazanih podataka, može se konstatovati da poređenjem hemijskog sastava otpadnih rudničkih voda iz zatvorenih rudnika uglja, sa kriterijumima koji su postavljeni za postizanje dobrog ekološkog statusa površinskih voda, odnosno II klasu površinskih voda, postoje relativno značajna odstupanja usled prisustva zagađujućih materija u rudničkim vodama. Pod posebnim ekološkim opterećenjem u tom pogledu su mali vodotoci koji često primaju količinu otpadne rudničke vode, koja je povremeno veća od njihovog samog proticaja. Kao takav primer se može navesti: Jarandolski potok koji prima rudničku vodu iz stare jame „Jarandol“, Avramički potok koji prima rudničku vodu iz starog potkopa „Sv.Đorđe“ rudnika „Vrška Čuka“, bezimni potok koji prima rudničku vodu iz rudnika „Vidlič“, u Rembas-u bezimni potok koji prima rudničku vodu iz potkopa „Makvište“, potok Koznik koji prima rudničku vodu iz potkopa rudnika „Jerma“ i dr.

Od analiziranih zagađujućih materija u rudničkim vodama, najmanja prekoračenja su registrovana za arsen (As), fosfate (PO_4) i mangan (Mn), dok su ostali imali više desetine puta veće sadržaje od propisanih graničnih vrednosti.

4.3. Uticaj separacije ugljeva na životnu sredinu

Eksploatacijom i preradom mineralnih sirovina, stvaraju se najčešće značajni problemi sa zagađenjem životne sredine. Najizraženiji uticaj obično ima tehnički otpad, kome se ne pridaje uvek adekvatna pažnja (Knežević i dr. 1996). Ovaj otpad se često bez predhodnog tretmana, pušta u površinske tokove i na taj način vrši veoma značajno, a ponekad i alarmantno zagađenje i to ne samo površinskih i podzemnih voda, već i drugih supstrata životne sredine.

Otkopani ugalj iz jame ili tzv. rovni ugalj, sadrži često dosta jalovine, tako da u tom obliku, ne predstavlja gorivo dobrog kvaliteta za upotrebu u industriji i za široku potrošnju u domaćinstvima. Zato se rovni ugalj prerađuje, kako bi mu se poboljšao kvalitet. Prerađu uglja čine sledeće metode:

- a) priprema uglja
 - mehanička priprema,
 - termička priprema sušenjem,
 - termičko-mehanička priprema briketiranjem;

- b) hemijsko-tehnološko opleminjivanje uglja.

Mehaničkom i termičkom pripremom uglja, menja se uglavnom samo oblik uglja, a hemijsko-tehnološkim opleminjivanjem uglja, menja se oblik, agregatno stanje i hemijski sastav.

Objekti i postrojenja koja se trenutno koriste u Srbiji za prerađu ugljeva, vrše samo mehaničku pripremu uglja i to:

- drobljenje,
- klasiranje,
- suvo mehaničko čipćenje i
- mokro mehaničko čišćenje.

Drobljenje se vrši kada komadi rovnog uglja prelaze veličinu obično 150 mm i na taj način dovode na veličinu koja je pogodna za dalju pripremu i upotrebu. U današnjim savremenim separacijama, težnja je da se krupnoća uglja svede na krupnoću manju od 37 mm.

Kada je u pitanju klasiranje, uobičajeno je da se ugalj klasira na dve ili tri klase krupnoće. Za početno klasiranje rovnog uglja, najčešće je u upotrebi kalibrirana rešetka. Za klasiranje opranih ugljeva, koriste se rezonantna sita, a postoje i bubnjasto sito, klatno, vibraciono sito i dr.

Za suvo mehaničko čišćenje uglja, najčešće se primenjuje:

- ručno odabiranje jalovine na trakama;

- grubo odvajanje uglja i jalovine udarnim rešetanjem;
- pneumatsko čišćenje uglja.

Pranje i flotiranje, predstavljaju dva osnovna postupka mokrog mehaničkog čišćenja uglja. U primeni je mnogo češće pranje uglja, odnosno čišćenje uglja koje se vrši u mašinama taložnicama ili čišćenje u teškoj sredini.

Rudnici „Jasenovac“ i „Lubnica“, imaju postrojenje za suvo mehaničko čišćenje i pripremu uglja, a rudnici „Vrška Čuka“, „Rembas“, „Bogovina“, „Soko“, „ibarski rudnici“ i rudnik „Štavalj“, imaju postrojenja za mokro mehaničko čišćenje, odnosno separaciju uglja.

4.3.1. Postrojenja za separaciju kamenih i mrkih ugljeva

Separacija uglja rudnika „Jasenovac“ radi po postupku suvog postupka odvajanja jalovine iz rovnog uglja. Separacija uglja se nalazi u samom krugu



Slika 255. Postrojenje za „suvu“ separaciju uglja rudnika „Jasenovac“ (foto B.Miladinović)

rudnika (slika 255.). Prerada rovnog uglja u komercijalni ugalj, vrši se u klasirnici, ručnim odabiranjem i prosejavanjem. Klasiranje uglja vrši se na komad, kocku, grah i sitni ugalj. Iskorišćenje rovnog uglja u procesu separacije iznosi 95%.

Deponija jalovine sa separacije, odlaže se u neposrednoj blizini postrojenja i za to je iskorišćen dolina Jasenovačkog potoka (slika 255).

Separacija uglja rudnika „Lubnica“ predstavlja suvu klasirnicu i nalazi se u Grljanu, neposredno pored ražirne stanice na pruzi Knjaževac-Zaječar. Rovni ugalj iz jame rudnika „Lubnica“ se zato kamionima doprema do separacionog postrojenja u selo Grljan.

Prijem rovnog uglja se vrši u posebnom bunkeru rovnog uglja (slika 255.). Iz bunkera se ugalj istače na sabirnom transporteru i njime usmerava prema zgradi separacije.



Slika 255. Bunker rovnog uglja separacije u Grljanu
(foto B.Miladinović)

Odvoženje klasiranog uglja iz separacije, vrši se pomoću železničkih vagona, koji se postavljaju na most vage, neposredno ispod separacijskog postrojenja. Odvoženje jalovine na odlagalište koje se nalazi neposredno pored separacijskog postrojenja, vrši se kamionima.

Separacija uglja rudnika „Vrška Čuka“ vrši se postupkom „mokre“ separacije. Izgrađeno je 1994. godine u samom krugu rudnika i sa istalisanom opremom i tehnologijom, postoji mogućnost proizvodnje različitih kvaliteta uglja po zahtevu tržišta. Postrojenje karakterišu dve tehnološke celine:

1. postrojenje za drobljenje i prosejavanje uglja;
2. postrojenje za mokru separaciju uglja.

U oviru mokre separacije, primenjuju se dve tehnološke linije: a) linija za gravitacionu koncentraciju, u kojoj se čist ugalj odvaja od jalovine iz klase -25 +0,5 mm, u suspenziji magnetita specifične težine 1,6-1,8 t/m³, i b) linija za flotacijsku koncentraciju, u kojoj se čist ugalj izdvaja od jalovine iz klase -0,5 +0,0 mm (slika 256.).



Slika 256. Separacijsko postrojenje uglja rudnika antracita „Vrška Čuka“
(sl. levo) zgrada separacije; (sl. desno) bunker za skladištenje opranog uglja
(foto B.Miladinović)

Sve količine otpadnih voda nakon separacije uglja, sakupljaju se i odvođe u taložne bazene, a jalovina se odlaže na odličnoj deponiji jalovine.

Separacija uglja rudnika „Bogovina“ se vrši mokrim postupkom, međutim kada se usled prisustva minerala glina i karbonata u uglju, ne mogu izdvojiti iz ugljene materije zbog prirode srastanja, vrši se i delimično ručno izdvajanje komada jalovine od uglja.



Slika 257. Prihvatni bunker uglja na izlazu iz jame „Bogovina“- istočno polje (foto B.Miladinović)

Rovni ugalj iz jame, prihvata se najpre na površini terena u tročelijski prihvatni bunker, koji se nalazi na samom izlazu iz jame „istočno polje“ (slika 257.).

Iz prihvatnog bunkera, rovni ugalj se transportuje kamionima do kruga rudnika „Bogovina“, gde se nalazi postrojenje za prečišćavanje i klasiranje uglja (slika 258.).

Postupkom separacije, čist ugalj se pere i seje, čime se dobijaju finalni proizvodi: „grah“, „orah“ i „kocka“ (Stanojlović i dr. 1996).



Slika 258. Separacija uglja rudnika „Bogovina“ (foto B.Miladinović)

Tehnička voda za rad separacijskog postrojenja, zahvata se pumpom iz rudarskog okna i niskopa stare jame „zapadno polje“, u količini od oko 20 m³/min., a dodatnih 16 m³/min., zahvata se iz Bogovinske reke.

Izdvojena jalovina nakon sprovedenog postupka separacije uglja, deponuje se na depo jalovine i odvozi do jalovišta. Višak autosuspenzije se tretira kao mulj i gravitacijski odvodi u sistem taložnika, koji su izgrađeni nizvodnije od separacije, neposredno uz korito Bogovinske reke.

Separacija uglja rudnika „Soko“ se nalazi u samom rudničkom krugu, gde je instalirana oprema za mokru separaciju uglja (slika 259.). Njome se vrši odvajanje sitnog i komadnog uglja od jalovine, kao i prerada ostalih klasa po Parnaby postupku.



Slika 259. Postrojenje za „mokru“ separaciju uglja rudnika „Soko“ (foto M.Petrović)

Rovni ugalj iz jame deponuje se najpre u bunker rovnog uglja maksimalne zapremine 30 t. Kapacitet prerade uglja u separaciji iznosi 600 t/dan, što zadovoljava potrebe za eksploataciju uglja iz jame do 200.000 t/god.

Bitna činjenica za Parnaby proces mokrog pranja uglja je u tome da postoji potpuno zatvoreni sistem, bez otpadnih supstrata koji bi imali štetan uticaj na životnu sredinu. Zapravo, nakon krajnjeg postupka cikloniranja kada se odvaja suspenzija od jalovine, odnosno uglja, ona se šalje do sekcije za tretman otpadnih voda, koja se sastoji od zgušnjivača i filter prese. Filtrat filter prese se šalje nazad u zgušnjivač i na taj način se zatvara ciklus kretanja otpadnih voda ovog sistema.

Separacijom uglja rudnika „Rembas“ u Resavici, vrši se separacija uglja iz sve tri aktivne rudarske jame u ovom basenu i to iz jame: „Strmosten“, „Jelovac“ i „Senjski Rudnik“. Postrojenje je zasnovano na „mokrom“ prečišćavanju uglja i sastoji se iz dva objekta. U jednom se vrši prihvatanje i drobljenje rovnog uglja, a drugi objekat je pralište (slika 260.).

Sve otpadne vode posle separiranja uglja, imaju poseban tretman u cilju prečišćavanja i to korišćenjem posebnog postrojenja. Otpadne vode sa muljem posle separacije, sakupljaju se najpre u rezervoare gde se vrši prirodno taloženje mulja, odnosno predbistrenje.

Odatle se čista voda šalje u rezervoar povratne vode na „vrhu“ separacije, a delimično zgusnuti mulj se šalje u hidrociklone, gde se na osnovu razlike



Slika 260. Postrojenje za separaciju uglja u Resavici
(foto rudarski časopis „Rudar“-Resavica)

specifičnih težina jalovine i uglja, vrši koncentracija korisne mineralne sirovine, odnosno uglja.

Jalovina se odvaja na prelivu hidrociklona, koja potom odlazi na dalji tretman ceđenja od fokulanta i ceo sistem je bio zamišljen kao zatvoreni proces separacije, a sve u cilju zaštite od zagađenja reke Resavice i okolne životne sredine. Međutim, u sadašnjim uslovima, bez obzira na

postojeći tretman otpadnih separacijskih voda, jednim delom se pustaju sa otpadnim muljem u taložne bazene koji se nalaze nizvodno od separacije, neposredno uz desnu obalu reke Resavice.

Separacija uglja rudnika „Štavalj“ poseduje opremu za pimenу suvog i mokrog čišćenja uglja od jalovine. Čitav postupak se odvija tako što se rovni ugalj iz jame, transportuje trakama najpre do postrojenja za „suvo prosejavanje“, uz predhodni odabir krupnih komada jalovine i uglja (slika 261.).



Slika 261. Postrojenje za separaciju uglja rudnika „Štavalj“ (foto B.Miladinović)
(zgrada levo: „mokra“ separacija uglja;
zgrada desno: „suva“ separacija uglja)

Nakon prosejavanja, rovni ugalj ide ponovo na traku za ručno odabiranje i time se finalno odstranjuje jalovina od uglja. Odavde se jalovina kamionom transportuje do jalovišta, odnosno do napuštenog površinskog kopa u Stupu.

Sitnija klasa uglja (-100 +0 mm), nakon gore navedenog odseva, upućuje se na mokru separaciju, odnosno na čišćenje

i pranje. Za sadašnji obim jamskog otkopa uglja, separacijsko postrojenje radi u proseku 5 časova na dan, sa prosečnim kapacitetom od 35 t/h.

Otpadne vode nakon mokre separacije uglja, pustaju se u napušteni površinski kop u Stupu.

Separacija uglja ibarskih rudnika vrši se u Baljevcu, na postrojenju koje se nalazi u Piskanji i to neposredno duž desne obale reke Ibar. Iz sva tri ležišta uglja („Jarando“, „Tadenje“ i „Progorelica“), rovni ugalj se doprema do ove separacije. Obzirom na veliki sadržaj pepela u rovnom uglju, „ibarski rudnici“ poseduju „mokru separaciju“, kapaciteta 90 t/h (slika 262.).



Slika 262. Postrojenje za „mokru“ separaciju uglja ibarskih rudnika u Piskanji-Baljevac (foto B.Miladinović)

Postupak separacije uglja se zasniva na višefaznom prosejavanju i upotrebi suspenzije sa specifičnom težinom od 1,6 do 2,0 t/m³. Postizanje ove specifične težine tečnosti se postiže upotrebom magnetita. Nakon primenjenog tehnološkog postupka separiranja, ugalj ide na otkapavanje i pranje posle čega se klasiraju na klase.

Tehnička voda iz separacije kamenog uglja u Piskanji, ispušta se u slabo vododržive taložne bazene koji se nalaze neposredno uz desnu obalu reke Ibar.

4.3.2. Uticaj otpadnih voda i mulja iz separacija uglja na životnu sredinu

Rad separacijaskih postrojenja kojima se trenutno vrši prerada uglja u Srbiji, zasniva se na postupku mehaničke prerade. Ona se zasniva na drobljenju i klasiranju, kao i na suvom i mokrom mehaničkom čišćenju uglja.

Postrojenje za suvo mehaničko čišćenje uglja, kao što je već naglašeno, instalisano je na pogonima rudnika „Jasenovac“ i „Lubnica“. Radom ovih postrojenja, čist ugalj kao finalni proizvod se skladišti u bunker gotovih proizvoda, a jalovina se odvozi na deponiju separacijske jalovine. U litološkom pogledu, jalovinu najčešće čine laporci, glinci, gline. Često se u njoj nađu

komadi pešcara i njima slične stene, kao i veći ili sitniji komadi sraslog uglja sa ovim stenama, kao i jako sitne frakcije uglja.

Obzirom da se na oba navedena jalovišta, odlaže prirodni geološki materijal koji je imao samo mehanički tretmana tokom suve separacije uglja, njegov uticaj na životnu sredinu i to presvega na zemljište i podzemne vode, nije značajnije ispoljen.

Mokra separacija ili mokro mehaničko čišćenje uglja se vrši pomoću postupka pranja uglja ili flotiranja, tako da je u ovom slučaju, uticaj na životnu sredinu izražen.

U praksi je mnogo zastupljeniji postupak pranja uglja, a on se zasniva na tehnološkom procesu kojim se ugalj čisti do krupnoće +0,15 mm. Čišćenje uglja ispod ove krupnoće, odnosno ispod -0,15 mm, vrši se flotiranjem („Vrška Čuka“), pri čemu se kao kolektor koristi lož ulje, a kao penušač glikol ili metilizobutil karbinol. Umesto flotiranja, može se koristiti i spiralni koncentratori, kojim se dobijaju najfinija krupnoća uglja. Odstranjivanje vode iz uglja se vrši u zgušnjivačima uz dodavanje flokulanata (kada je veće prisustvo glina onda i koagulanata) i filtriranjem na tračnim vakuum filterima (Kostović 2011).

Pranje rovnog uglja se može vršiti na više načina. Obično je u upotrebi mašina taložnica, ili čišćenjem u teškoj sredini (suspenciji), gde je postupak zasnovan na specifičnoj težini suspencije koja se tokom pranja uglja, stalno održava između specifične težine čistog uglja (1,2-1,6 t/m³) i specifične težine jalovine (1,5-3,0 t/m³). Na taj način, usled razlika specifičnih težina, dolazi do odvajanja čistog uglja od jalovine.

Čišćenje rovnog uglja u teškoj sredini, vrši se pri njegovoj krupnoći od -9+1 mm. Ovaj proces je efikasan pri malom učešću uglja u jalovini.

Kao suspencijoidi za pranje uglja, koristi se najčešće magnetih i kvarc. Nakon otkapavanja suspencije na vibro situ iz oba proizvoda separacije (ugalj – jalovina), na vibro situ se vrši ispiranje zaostalih čestica suspencijoida (magnetita) pomoću vode, a magnetit se sakuplja u posebnom sudu. Suspencija iz suda se zatim demagnetizuje, a onda u magnetnom separatoru se vrši regeneracija magnetita.

Sitnije frakcije od -1+0,15 mm, tretiraju se u vodenoj sredini ciklonima (water-only cyclones), na spiralama i mašinama taložnicama sa posteljom.

Nakon ovog procesa, sa uglja se odstranjuje voda i to na visokofrekventnim sitima za odvodnjavanje.

Predstavljeni proces separacije uglja, najčešće ima tehnološki zatvoreni sistem rada, tako da se otpadne tehničke vode, najčešće odvede do bazene za izbistrenje, a potom ponovo vraćaju u sistem i koriste za dalji proces rada.

U sklopu mokrog separacijskog postrojenja rudnika „Vrška Čuka“,



Slika 263. Betonski bazeni za taloženje otpadnog mulja sa separacije uglja rudnika „Vrška Čuka“ (foto B.Miladinović)

postoje tri betonska bazena za taloženje, ukupne zapremine od oko 4500 m³ i betonski bazen izbistrene vode zapremine 300 m³ (slika 263.).

Izbistrena voda se ispumpava do rezervoara industrijske vode. Rad pumpi je potpuno automatizovan i obezbeđuje zaštitu od preliivanja vode iz bazena i izliv u Avramički potok.

omogućava rad separacije sa minimalnim gubicima industrijske vode.

Separacijsko postrojenje rudnika „Rembas“, poseduje tri bazena za taloženje mulja iz otpadnih voda (slika 264.), a rudnik „Bogovina“ poseduje dva bazena (slika 265.).



Slika 264. Bazen za taloženje mulja iz otpadnih voda separacije uglja u Resavici (foto B.Miladinović)



*Slika 265. Bazen za taloženje mulja iz otpadnih voda separacije uglja u Bogovini
(foto B.Miladinović)*

Radi se o zemljanim iskopima u aluvijalnoj ravni neposredno uz korito reke Resavice i Bogovinske reke. Tokom taloženja, odnosno ciklusa izbistrenja separacijske otpadne vode, ona jednim delom ispari, jednim delom se infiltrira u aluvijalne tvorevine, a povremeno se višak izbistrene vode (u slučaju Rembas“-a), ispusta direktno u tok reke Resavice.

U slučaju rudnika „Bogovina“, bazeni su znatno vodopropusniji, tako da nema potrebe ispustanja izbistrene separacijske vode u rečni tok. Istaloženi mulj u bazenima, povremeno se uklanja i deponuje na rudno jalovište.

Sličan sistem taložnih bazena, postoji i u Piskanji kod Baljevca, za potrebe rada separacijskog postrojenja „ibarskih rudnika“. Bazeni su locirani neposredno uz desnu obalu reke Ibar (slika 266.).



*Slika 266. Bazeni za taloženje otpadnog mulja iz separacijskog postrojenja
u Piskanji-ibarski rudnici (foto B.Miladinović)*

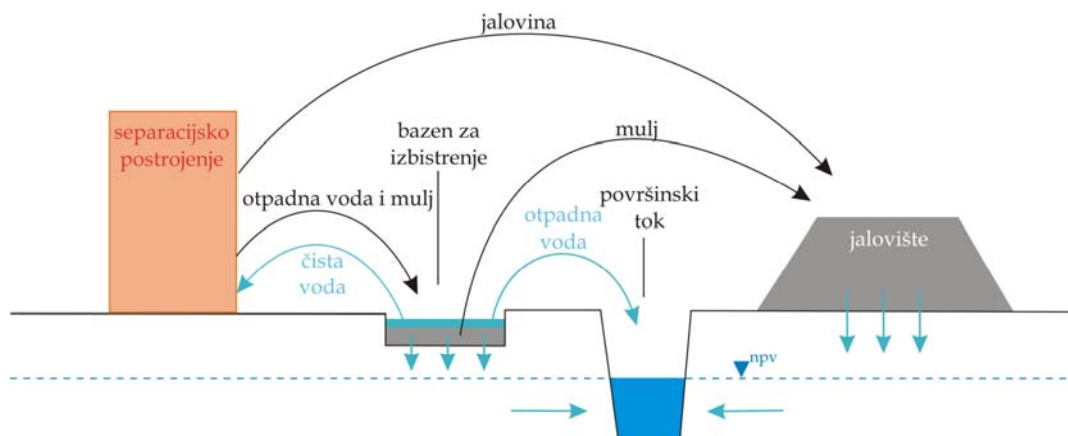
Povremeno i iz ovih bazena, izbistrena otpadna separacijska voda se ispusta direktno u tok reke Ibar.

Izgled napuštenog površinskog kopa koji se koristi za odstranjivanje otpadne vode iz mokre separacije uglja na pogonu rudnika „Štavalj“, prikazan je slikom 267. Vodopropusnost miocenskih sedimenata ovog prostora je značajna, tako da se otpadne vode brzo infiltriraju u tlo.



Slika 267. Deponija jalovine i otpadnih voda iz separacije uglja rudnika „Štavalj“
(foto B.Miladinović)

Generalna šema upravljanja sa otpadnom separacijskom vodom i muljem, na rudničkim pogonima kamenih i mrkih ugljeva Srbije, prikazan je na slici 268.



Slika 268. Opšta šema odlaganja otpadnih voda i mulja iz separacije kamenih i mrkih ugljeva Srbije

Tokom ovih istraživanja, jednokratnim pilot ispitivanjima, bili su obuhvaćeni laboratorijskim pretragama otpadni supstrati sa dve karakteristične separacije uglja. U istočnoj Srbiji, predmet analize je bila separacija uglja rudnika

„Bogovina“, a u zapadnoj Srbiji, separacija „Ibarskih rudnika“ u Piskanji kod Baljevca. Sprovedenim ispitivanjima (GZZJZ, Beograd), bili su obuhvaćeni sledeći supstrati:

- otpadne vode iz separacije uglja rudnika „Bogovina“;
- otpadni mulj iz separacije uglja rudnika „Bogovina“;
- podzemne vode u području separacije uglja u Bogovini;
- zemljište po obodu separacijskog jalovišta „Ibarskih rudnika“;
- podzemne vode po obodu separacijskog jalovišta „Ibarskih rudnika“.

Pored ovih realizovanih ispitivanja, korišćen je i manji obim podataka o ispitivanjima otpadnih separacijskih voda, koja su za potrebe „ibarskih rudnika“, rađena u Zavodu za javno zdravlje u Kraljevu.

Dobijeni rezultati laboratorijskih ispitivanja otpadnih voda sa separacijskog postrojenja „Bogovina“, prikazani su u tabeli 62. Ove vode imaju jako složen hemijski sastav. Karakteriše ih jako velika mineralizacija ($M= 4679$ mg/l), visoka elektroprovodljivost ($E_p= 6720$ μ S/cm) i tvrdoća od 59,9 °dH. Radi se o izrazito sulfatnim vodama, sa sadržajima od $SO_4^{2-}= 413,5$ mg/l, a sadržaji magnezijuma iznose $Mg^{2+}= 164$ mg/l.

U mikrokomponentnom sastavu, povišene sadržaje imaju nitriti (NO_2), zatim metali i to gvožđe (Fe), mangan (Mn), stroncijum (Sr), litijum (Li), kao i toksični i teški metali kao što je arsen (As), aluminijum (Al), barijum (Ba), titan (Ti), tabela 62.

Usled slabe vododrživosti taložnih bazena, infiltracijom otpadnih voda u peskovito-šljunkovite aluvijalne tvorevine Bogovinske reke, vrši se zagađenje podzemnih voda prve izdani (zbijeni tip izdani), a to može imati reperkusije i na kvalitet površinskih voda Bogovinske reke.

Kontrola stepena kontaminiranosti podzemnih voda u aluvijalnim tvorevinama, izvršena je iz kopanog bunara na privatnom posedu, koji se nalazi na susednoj obali Bogovinske reke u odnosu na taložne bazene i separaciju uglja (slika 269.). Bunar je udaljen oko 40 m od taložnih bazena i pri tome je oko 30 m udaljen od vodotoka Bogovinske reke.

Rezultati sprovedenih laboratorijskih ispitivanja podzemnih voda iz bunara, ukazuju da se radi o izrazito sulfatnim vodama ($SO_4= 405$ mg/l), sa visokom elektroprovodljivošću (1270 μ S/cm) i ukupnom tvrdoćom (42,3 °dH),

tabela 63. Na osnovu ovih parametara, uočavaju se sličnosti ovih voda sa otpadnim separacijskim vodama.

Tabela 62. Hemijski sastav otpadnih voda sa separacije uglja rudnika „Bogovina“
(GZZJZ - Beograd, 22.05.2012.)

Parametar	Nađ. vred.	Oznaka metode	Parametar	Nađ. vred.	Oznaka metode
pH vrednost	7,3	ISO 10523:2008	<i>Metali, tehnika ICP-OES [mg/l]</i>		
Utrošak $KMnO_4$ [mg/l]	42,4	PRI P-IV-9a	Aluminijum <i>Al</i>	4,12	EPA 200.7Rev 5
Suvi ostatak na 105°C [mg/l]	4679	SMEWW 19th m2540B	Bakar <i>Cu</i>	0,012	EPA 200.7Rev 5
Suvi ostatak na 180°C [mg/l]	4679	SMEWW 19th m2540C	Cink <i>Zn</i>	0,01	EPA 200.7Rev 5
Elek.provod. na 25°C [$\mu S/cm$]	6720	SRPS EN 27888:2009	Gvoždje <i>Fe</i>	3,4	EPA 200.7Rev 5
Susp.mater. na 103-105° [mg/l]	< 1	SMEWW 19th m2540D	Hrom <i>Cr</i>	0,011	EPA 200.7Rev 5
Ukupni alkalitet [mg/l $CaCO_3$]	207,2	SRPS ENISO 9963-1:07	Kadmijum <i>Cd</i>	<0,0008	EPA 200.7Rev 5
Ukupna tvrdoća [$^{\circ}dH$]	59,9	PRI P-V-22/A	Kalcijum <i>Ca</i>	227	EPA 200.7Rev 5
Bikarbonati HCO_3^- [mg/l]	252,8	SRPS ENISO 9963-1:07	Kalijum <i>K</i>	18	EPA 200.7Rev 5
Amonijak NH_3 [mg/l]	0,72	PRI P-V-2/B	Magnezijum <i>Mg</i>	164	EPA 200.7Rev 5
Nitriti NO_2^-/N [mg/l]	0,352	PRI P-V-32/A	Mangan <i>Mn</i>	0,721	EPA 200.7Rev 5
Nitrati NO_3^-/N [mg/l]	1,62	SMEWW19th m4500NO	Natrijum <i>Na</i>	30,6	EPA 200.7Rev 5
Hloridi Cl^- [mg/l]	63,1	EPA 300.1	Nikl <i>Ni</i>	<0,001	EPA 200.7Rev 5
Sulfati SO_4^{2-} [mg/l]	413,5	EPA 300.1	Olovo <i>Pb</i>	0,009	EPA 200.7Rev 5
Ukupni fosfati <i>P</i> [mg/l]	0,134	SRPS ENISO 6878:2008	Litijum <i>Li</i>	0,108	EPA 200.7Rev 5
Fluoridi <i>F</i> [mg/l]	0,09	EPA 300.1	Barijum <i>Ba</i>	0,643	EPA 200.7Rev 5
HPK ($K_2Cr_2O_7$) O_2 [mg/l]	37	VDM 0181 .	Berilijum <i>Be</i>	0,0003	EPA 200.7Rev 5
<i>Metali AAS-hidridna tehnika [mg/l]</i>			Kobalt <i>Co</i>	<0,004	EPA 200.7Rev 5
Arsen <i>As</i>	0,04	EPA 206,3	Molibden <i>Mo</i>	0,012	EPA 200.7Rev 5
<i>Metali AAS-tehnika hladnih para [mg/l]</i>			Silikati SiO_2	17	EPA 200.7Rev 5
Živa <i>Hg</i>	<0,0005	EPA 245,1	Stroncijum <i>Sr</i>	93,3	EPA 200.7Rev 5
<i>Metali tehnika ICP/MS [mg/l]</i>			Titan <i>Ti</i>	0,134	EPA 200.7Rev 5
Antimon <i>Sb</i>	0,014	EPA 200.8	Vanadijum <i>V</i>	0,031	EPA 200.7Rev 5
Selen <i>Se</i>	0,038	EPA 200.8	Srebro <i>Ag</i>	0,008	EPA 200.7Rev 5



Slika 269. Lokacija uzorkovanja podzemnih voda iz kopanog bunara u aluvijonu Bogovinske reke (foto B.Miladinović)

Tabela 63. Hemijski sastav podzemnih voda u aluvijonu Bogovinske reke u neposrednom području separacije uglja „Bogovina“ (22.05.2012.)

Parametar	Nađ. vred.	Oznaka metode	Parametar	Nađ. vred.	Oznaka metode
Boja prividna [°Co-Pt ska]	10	EPA 110.2	<i>Metali AAS-Hidridna tehnika [mg/l]</i>		
Boja [°Co-Pt ska]	< 5	EPA 110.2	Arsen <i>As</i>	0,001	EPA 206,3
Miris	bez	EPA 140.1	<i>Metali AAS-tehnika hladnih para [mg/l]</i>		
Mutoća [NTU]	0,3	EPA 180.1	Živa <i>Hg</i>	<0,0005	EPA 245,1
<i>pH</i> vrednost	7,1	ISO 10523:2008	<i>Metali, tehnika ICP-OES [mg/l]</i>		
Utrošak <i>KMnO₄</i> [mg/l]	11,9	PRP P-IV-9a	Aluminijum <i>Al</i>	<0,003	EPA 200.7Rev 5
Suvi ostatak na 105°C [mg/l]	850	SMEWW 19th ¹ m2540B	Bakar <i>Cu</i>	0,002	EPA 200.7Rev 5
Elek.provod. na 25°C [µS/cm]	1270	SRPS EN 27888:2009	Cink <i>Zn</i>	<0,001	EPA 200.7Rev 5
Slobodan hlor <i>Cl₂</i> [mg/l]	< 0,05	PRP P-IV18/B	Gvoždje <i>Fe</i>	0,023	EPA 200.7Rev 5
p-alkalitet [ml 0.1 N HCl]	< 0,5	SRPS ENISO 9963-1:07	Hrom <i>Cr</i>	<0,001	EPA 200.7Rev 5
m-alkalitet [ml 0.1 N HCl]	81,6	SRPS ENISO 9963-1:07	Kadmijum <i>Cd</i>	<0,0008	EPA 200.7Rev 5
Ukupna tvrdoća [°dH]	42,3	PRP P-V-22/A	Kalcijum <i>Ca</i>	253,1	EPA 200.7Rev 5
Karbonatna tvrdoća [°dH]	29,4	PRP P-V-22/A	Kalijum <i>K</i>	27,2	EPA 200.7Rev 5
Nekarbonatna tvrdoća [°dH]	18,9	PRP P-V-22/A	Magnezijum <i>Mg</i>	34	EPA 200.7Rev 5
Karbonati <i>CO₃⁻</i> [mg/l]	< 2	SRPS ENISO 9963-1:07	Mangan <i>Mn</i>	0,014	EPA 200.7Rev 5
Bikarbonati <i>HCO₃⁻</i> [mg/l]	497,5	SRPS ENISO 9963-1:07	Natrijum <i>Na</i>	36,3	EPA 200.7Rev 5
Amonijak <i>NH₃</i> [mg/l]	0,06	PRP P-V-2/B	Nikl <i>Ni</i>	<0,001	EPA 200.7Rev 5
Nitriti <i>NO₂⁻/N</i> [mg/l]	0,008	PRP P-V-32/A	Olovo <i>Pb</i>	<0,005	EPA 200.7Rev 5
Nitrati <i>NO₃⁻/N</i> [mg/l]	53,4	SMEWW19th ¹ m4500NO	Litijum <i>Li</i>	0,019	EPA 200.7Rev 5
Hloridi <i>Cl⁻</i> [mg/l]	19,1	SRPS ISO 9297:2007	Stroncijum <i>Sr</i>	0,754	EPA 200.7Rev 5
Sulfati <i>SO₄⁻²</i> [mg/l]	405	EPA 300.1	<i>Metali tehnika ICP/MS [mg/l]</i>		
Ukupni fosfati <i>P</i> [mg/l]	0,191	SRPS ENISO 6878:2008	Antimon <i>Sb</i>	<0,0004	EPA 200.8
Fluoridi <i>F⁻</i> [mg/l]	0,63	EPA 300.1	Selen <i>Se</i>	<0,0004	EPA 200.8

Bez obzira međutim na ove visoke vrednosti navedenih parametara, prema propisanim graničnim vrednostima zagađujućih materija u podzemnim vodama (*Uredba o graničnim vrednostima zagađujućih materija u površinskim i podzemnim vodama i sedimentima i rokovima za njihovo dostizanje*, „Sl.glasnik RS“ br: 50/2012., Prilog 2. – Podzemne vode, Glava I. – Standardi kvaliteta za podzemne vode, Tabela 1. – Granične vrednosti zagađujućih materija u podzemnim vodama), konstatovano je da u ispitivanim podzemnim vodama, zagađujuću materiju čine nitrati sa sadržajima od $NO_3 = 53,4$ mg/l (GV=50 mg/l). Teški i toksični metali prema postavljenim GV navedene Uredbe, nisu prisutni u povišenim sadržajima.

Utvrđeni sadržaji nitrata NO_3 koji su znatno viši u odnosu na otpadne separacijske vode, ukazuju ipak na postojanje starog lokalnog fekalnog žarišta, koje nije prouzrokovano radom separacije.

Ispitivanje toksičnosti mulja koji nastaje nakon faze izbistrenja otpadnih separacijskih voda u taložnim bazenima separacije „Bogovina“, vršeno je radi utvrđivanja rizika po zdravlje ljudi i životnu sredinu, usled mogućeg zagađenja podzemnih voda, nakon njegovog odlaganja na deponuju jalovišta uglja.

Nalaz laboratorijskih ispitivanja mulja sa separacije uglja „Bogovina“, prikazan je u tabeli 64.

Prikazane referentne vrednosti za ispitivane parametre u otpadnom mulju (tabela 64.), odnose se na:

- * - suhu masu;
- ** - karakteristiku H15 za odlaganje otpada;
- 1 - vrednosti koncentracija koje se odnose na odlaganje neopasnog otpada i opasnog otpada na deponije neopasnog otpada;
- 2 - vrednosti koncentracija koje se odnose na odlaganje otpada na deponije opasnog otpada;
- 3 - vrednosti koncentracija koje se odnose na odlaganje otpada na deponije inertnog otpada.

Rezultati ispitivanja suve mase mulja, ukazuju da postoje prekoračenja referentnih vrednosti za *gubitak žarenjem* i *ukupni organski ugljenik* (TOC). Ostali ispitivani parametri, nalaze se ispod referentnih vrednosti.

U eluatu (ekstraktu), utvrđeno je da *ostatak isparenja* na 105°C i koncentracije *sulfata* (SO₄), prelaze vrednosti koje su utvrđene za otpad koji se odlaže na deponiju inertnog otpada (tabela 64.).

Pored toga, analizom ekstrakta je utvrđeno izluživanje cinka (Zn) koje je premašilo koncentraciju utvrđenu za deponije inertnog otpada.

Na osnovu utvrđenih prekoračenja i to prema *Pravilniku o kategorijama, ispitivanju i klasifikaciji otpada* (Sl.glasnik RS br.: 56/2010) i imajuću u vidu njegovo moguće svojstvo samozapaljenja, analizirani mulj se može svrstati u kategoriju *neopasnog i neinertnog otpada*. Kao takav, može se odlagati na deponiju neopasnog otpada, uz uslov da se zbog lake samozapaljivosti, prekriva slojem zemlje.

U području separacije uglja „Ibarskih rudnika“ u Piskanji, hidrohemijska ispitivanja su ukazala da jalovište uglja i bazeni za izbistrenje otpadnih voda i mulja iz separacijskog postrojenja, utiču na zagađenje okolnog zemljišta i podzeme vode.

Tabela 64. Hemijski sastav otpadnog mulja sa separacije uglja rudnika „Bogovina“ (12.06.'12.)

Parametar	Nađ. vred.	Oznaka metode	Parametar	Nađ. vred.	Oznaka metode
<i>pH</i> vrednost	7,5	ISO 10390:2007	Ukupni policiklični aromatični ugljovo. PAH [µg/kg]	198	ISO 18287 : 2006
Procenat vlage [%]	36,30	SRPS ISO 11465:02			
Org.mat.(gub.žarenj. na 550°) %	26,58	SRPS EN 15169:10			
Žareni ostatak [%]	73,42	SRPS EN 15169:10	Ukupni ugljovodoni C10-C40 (GC-FID) [mg/kg] *	111,4	ISO 16703 : 2004
Ukupni fosfor [mg/kg] *	101	VDM 0131			
Ukupni org. ugljenik (TOC) *%	18,6	SRPS EN 13137:05			
Ukupni sumpor * %	0,36	VDM 0182			
Sadržaj metala [mg/kg] *					
Olovo <i>Pb</i>	6,8	VDM 0131	Berilijum <i>Be</i>	0,4	VDM 0131
Kadmijum <i>Cd</i>	0,2	VDM 0131	Kobalt <i>Co</i>	8,1	VDM 0131
Cink <i>Zn</i>	10,9	VDM 0131	Selen <i>Se</i>	7,4	VDM 0131
Bakar <i>Cu</i>	5,5	VDM 0131	Molibden <i>Mo</i>	2,5	VDM 0131
Nikl <i>Ni</i>	3,5	VDM 0131	Vanadijum <i>V</i>	35,2	VDM 0131
Hrom ukupni <i>Cr</i>	8,3	VDM 0131	Aluminijum <i>Al</i>	1770	VDM 0131
Živa <i>Hg</i>	< 0,2	VDM 0131	Barijum <i>Ba</i>	237	VDM 0131
Arsen <i>As</i>	32,8	VDM 0131	Gvožđe <i>Fe</i>	5690	VDM 0131
Antimon <i>Sb</i>	< 2,2	VDM 0131			
Sadržaj u EP ekstratu (neutralni test, L/S=10,1) nakon 24 časa [mg/kg] *					
Parametar	Nađ.vred.	Referentna vrednost		Oznaka metode	
<i>pH</i> vrednost	7,7	6 – 13 **		ISO 10523 : 2008	
Ostatak isparenja na 105°C	6580	100000** (60000 ¹) (10000 ²) (4000 ³)		EN15216:2007	
Hloridi <i>Cl⁻</i>	31	(15000 ¹) (25000 ²) (800 ³)		SRPS ISO 9297-1:2007	
Sulfati <i>SO₄²⁻</i>	2247	(20000 ¹) (50000 ²) (1000 ³)		EPA 375.4	
Indeks fenola	< 0,1	1000** (1 ³)		SRPS ISO 6439:1997	
Rastv. organski ugljenik (DOC)	103,6	(800 ¹) (1000 ²) (500 ³)		SRPS ISO 8245:1994	
Olovo <i>Pb</i>	< 0,09	100** (10 ¹) (50 ²) (0,5 ³)		EPA 200.7 Rev 5	
Kadmijum <i>Cd</i>	< 0,02	5** (1 ¹) (5 ²) (0,04 ³)		EPA 200.7 Rev 5	
Cink <i>Zn</i>	3,23	1000** (50 ¹) (200 ²) (4 ³)		EPA 200.7 Rev 5	
Bakar <i>Cu</i>	0,08	100** (50 ¹) (100 ²) (2 ³)		EPA 200.7 Rev 5	
Nikl <i>Ni</i>	< 0,05	500** (10 ¹) (40 ²) (0,4 ³)		EPA 200.7 Rev 5	
Hrom ukupni <i>Cr</i>	0,02	300** (10 ¹) (70 ²) (0,5 ³)		EPA 200.7 Rev 5	
Živa <i>Hg</i>	< 0,01	0,5** (0,2 ¹) (2 ²) (0,01 ³)		EPA 200.7Rev 5+EPA245.1	
Arsen <i>As</i>	<0,20	50** (2 ¹) (25 ²) (0,5 ³)		EPA 200.7 Rev 5	
Barijum <i>Ba</i>	1,32	500** (100 ¹) (300 ²) (20 ³)		EPA 200.7 Rev 5	
Antimon <i>Sb</i>	0,06	50** (0.7 ¹) (5 ²) (0,06 ³)		EPA 200.7 Rev 5	
Molibden <i>Mo</i>	0,42	- (10 ¹) (30 ²) (0,5 ³)		EPA 200.7 Rev 5	
Tečni deo mulja [mg/kg] *					
<i>pH</i> vrednost	7,5	2 - 11.5 **		ISO 10523 : 2008	
Ostatak isparenja na 105°C	7020	30000		EN 15216:2007	
Hloridi <i>Cl⁻</i>	66,3	-		SRPS ISO 9297-1:2007	
Sulfati <i>SO₄²⁻</i>	3397	-		EPA 375.4	

Uzorak zemljišta za laboratorijska ispitivanja, uzet je sa severnog oboda jalovišta (x= 4 805 740; y= 7 472 000; z= 380 m), sa dubine od 20 cm. Ova lokacija je udaljena oko 100 m od korita reke Ibar. Rezultati laboratorijskih ispitivanja koja su vršena u GZZJZ-Beograd, prikazani su u tabeli 65.

Tabela 65. Hemijski sastav zemljišta na severnom obodu deponije jalovine „ibarskih rudnika“ uglja u Piskanji (30.09.2003.)

Parametar	Nađ. vred.	Metoda	Parametar	Nađ. vred.	Oznaka metode
<i>pH</i> vrednost	7,9	HE SM 0125	<i>Policik. arom. ugljovodonici-Ukupno</i> 825,5 [µg/l]		
Procenat vlage [%]	11,4	HE SM 0126	Naftalen	< 10	HE DM 0085
Sadr. ras. sumpora [mg/kg]	392	HE DM 0084	Acenaftilen	< 10	HE DM 0085
<i>Sadržaj metala</i> [mg/kg]			Acenaften	< 10	HE DM 0085
Arsen <i>As</i>	88,1	HE DM 0131	Fluoren	< 10	HE DM 0085
Bakar <i>Cu</i>	27,1	HE DM 0131	Fenantren	514,1	HE DM 0085
Cink <i>Zn</i>	316,4	HE DM 0131	Antracen	< 10	HE DM 0085
Hrom ukupni <i>Cr</i>	126	HE DM 0131	Fluoranten	43,7	HE DM 0085
Kadmijum <i>Cd</i>	1,12	HE DM 0131	Piren	29,1	HE DM 0085
Nikl <i>Ni</i>	260,4	HE DM 0131	Benzo(a)antracen	217,3	HE DM 0085
Olovo <i>Pb</i>	156,8	HE DM 0131	Krizen	< 10	HE DM 0085
Živa <i>Hg</i>	0,06	HE DM 0131	Benzo(b)fluoranten	21,3	HE DM 0085
<i>Pesticidi</i> [µg/kg]	< 10	HE DM 0085	Benzo(k)fluoranten	< 10	HE DM 0085
<i>Ostali parametri</i> [mg/kg]			Benzo(a)piren	< 10	HE DM 0085
Mineralna ulja	7,12	HE DM 0088	Indeno(c,d)piren	< 10	HE DM 0085
Ukupni ugljovodonici	173,6	HE DM 0088	Dibenzo(a,h)antracen	< 10	HE DM 0085
Cijanidi	< 0,15		Polihlorovani bifenili	< 10	HE DM 0085

Rezultati ovih ispitivanja prema propisanim graničnim i remedijacionim vrednostima koncentracija opasnih i štetnih materija u zemljištu (*Uredba o programu sistematskog praćenja kvaliteta zemljišta, indikatorima za ocenu rizika od degradacije zemljišta i metodologiji za izradu remedijacionih programa*, „Sl.glasnik RS“, br: 88/2010, Prilog 3.), ukazuju na značajnu kontaminaciju ispitivanog zemljišta, obzirom da su utvrđena prekoračenja remedijacionih vrednosti za metale **arsen** (As) i **nikl** (Ni).

Za arsen, nađena vrednost je As= 88,1 mg/kg, propisana remedijaciona vrednost je 55 mg/kg, a granična vrednost kojoj se teži, iznosi 29 mg/kg.

Nikl ima nađenu vrednost u zemljištu od Ni= 260,4 mg/kg, propisana remedijaciona vrednost je 210 mg/kg, a granična vrednost kojoj se teži, iznosi 35 mg/kg.

Prikazane vrednosti ukazuju dakle da su osnovne funkcije zemljišta ugrožene ili ozbiljno narušene i zahtevaju preuzimanje remedijacionih i sanacionih mera.

Hidrohemijska ispitivanja podzemnih voda iz prve izdani (zbijeni tip izdani formiran u aluvijalnih tvorevina Ibra), izvršeno je iz dva kopana bunara koji se nalaze neposredno uz jalovište i to duž njegovog nizvodnog - severnog oboda. Prvi bunar (I) je udaljen oko 100 m od korita reke Ibar, a bunar (II) oko 350 m (slika 270.).



Slika 270. Lokacije uzorkovanja podzemnih voda po obodu jalovišta uglja „ibarskih rudnika“ u Piskanji za hidrohemijska ispitivanja (foto B.Miladinović)

Rezultati hidrohemijskih ispitivanja podzemnih voda iz kopanog bunara (I), ukazuju na jako visoku mineralizaciju ovih voda (suvi ostatak na 105°C iznosi 3312 mg/l), visoku elektroprovodljivost (2830 mg/l) i izuzetno visoku ukupnu tvrdoću (127,7 °dH), tabela 66.

To su izrazito silfatne vode sa sadržajem sulfata od $\text{SO}_4^{2-} = 1820 \text{ mg/l}$, a karakteriše ih i visok sadržaj magnezijuma i to od $\text{Mg}^{2+} = 243,6 \text{ mg/l}$.

U ispitivanoj podzemnoj vodi, nisu nađeni teških i toksičnih metali, koji bi ukazali na njihovu kontaminiranost.

U hemijskom pogledu, podzemne vode iz kopanog bunara (II), su znatno drugačijeg sastava. Radi se o malomineralizovanim vodama, ali koje po klasifikaciji Alekina pripadaju sulfatno-hidrokarbonatnoj klasi, magnezijumsko-

kalcijumskoj grupi, III tipa ($SC_{III}^{Mg,Ca}$). Sadržaj sulfata u ovoj vodi je $SO_4= 150,0$ mg/l.

Kao što je već istaknuto, na separacijskom jalovištu „ibarskih rudnika“ u Piskanji, nakon faze izbistrenja otpadnih separacijskih voda, vršilo se povremeno pražnjenje bazena, tako što su one ispustaju u vodotok reke Ibar.

Tabela 66. Hemijski sastav podzemnih voda iz kopanog bunara (I) u aluvijonu Ibra kod jalovišta uglja „Ibarskih rudnika“ u Piskanji (30.09.2003.)

Parametar	Nađena vrednost	Oznaka metode	Parametar	Nađena vrednost	Oznaka metode
Boja [°Co-Pt skale]	<5	HE SM 0002	<i>Metali - metoda AAS [mg/l]</i>		
Miris	bez	HE SM 0003	Aluminijum <i>Al</i>	0,020	HE DM 0013
Mutoća [NTU jedinice]	1,7	HE SM 0004	Arsen <i>As</i>	0,006	HE DM 0013
<i>pH</i> vrednost	7,3	HE SM 0005	Bakar <i>Cu</i>	0,010	HE DM 0013
Utrošak $KMnO_4$ [mg/l]	6,5	HE SM 0006	Cink <i>Zn</i>	<0,010	HE DM 0013
Suvi ostatak na 105°C [mg/l]	3312	HE DM 0001	Gvožđe ukup. <i>Fe</i>	0,25	HE DM 0013
Elek.provod. na 25°C [$\mu S/cm$]	2830	HE SM 0008	Hrom ukupni <i>Cr</i>	<0,010	HE SM 0013
Kiseonik odmah [mg/l O_2]	3,2	HE SM 0009	Hrom <i>Cr⁶⁺</i>	<0,010	HE SM 0032
Zasićenje kiseonika [%]	32	HE SM 0009	Kadmijum <i>Cd</i>	<0,002	HE DM 0013
Vodonik sulfid H_2S [mg/l]	bez	HE SM 0020	Kalcijum <i>Ca</i>	506,8	HE DM 0013
Ugljen dioksid CO_2 [mg/l]	58,6	HE SM 0023	Kalijum <i>K</i>	11,7	HE DM 0013
Cijanidi <i>CN</i> [mg/l]	<0,01	HE SM 0018	Magnezijum <i>Mg</i>	243,6	HE DM 0013
Slobodni Hlor RC <i>Cl</i> [mg/l]	<0,05	HE SM 0021	Mangan <i>Mn</i>	0,050	HE SM 0013
p-alkalitet [ml/l 0.1 M HCl]	0,0	HE SM 0016	Natrijum <i>Na</i>	40,0	HE DM 0013
m-alkalitet [ml/l 0.1 M HCl]	86,7	HE SM 0016	Nikl <i>Ni</i>	<0,010	HE DM 0013
Ukupna tvrdoća [°dH]	127,7	HE SM 0028	Olovo <i>Pb</i>	<0,010	HE DM 0013
Karbonatna tvrdoća [°dH]	35,6	HE SM 0028	Živa <i>Hg</i>	<0,0005	HE DM 0013
Nekarbonatna tvrdoća [°dH]	92,1	HE SM 0028	<i>Uk.pesticidi</i> [$\mu g/l$]	<0,01	GC/MSD
Karbonati CO_3 [mg/l]	0,0	HE SM 0016	<i>Polici. aromatič. ugljovod.</i> [$\mu g/l$]	<0,01	GC/MSD
Bikarbonati HCO_3 [mg/l]	528,9	HE SM 0016	<i>Polihlorovani bifenili</i> [$\mu g/l$]	<0,01	GC/MSD
Amonijak NH_3 [mg/l]	<0,05	HE DM 0002	<i>Spored.proizvodi dezinfekc.</i> [$\mu g/l$]	<0,01	GC/ECD
Nitriti NO_2^-/N [mg/l]	0,060	HE DM 0003	<i>Hlorovani alkani</i> [$\mu g/l$]	0,17	GC/ECD
Nitrati NO_3^-/N [mg/l]	5	HE SM 0010	<i>Hlorovani eteni</i> [$\mu g/l$]	0,03	GC/ECD
Hloridi <i>Cl</i> [mg/l]	16,1	HE SM 0011	<i>Hlorovani benzoli</i> [$\mu g/l$]	<1,0	GC/ECD
Sulfati SO_4^{2-} [mg/l]	1820	HE SM 0012	<i>Ukup.THM</i> [$\mu g/l$]	0,8	GC/ECD
Orto fosfati <i>P</i> [mg/l]	0,030	HE SM 0013	<i>Ksilol</i> [$\mu g/l$]	0,35	GC/FID
Fluoridi <i>F</i> [mg/l]	0,70	HE SM 0014	<i>Stirol</i> [$\mu g/l$]	0,12	GC/FID
Deterdijenti - anjonski [mg/l]	<0,02	HE SM 0017			
Fenoli [mg/l]	<0,001	HE SM 0019			
UV ekstincija na 254 nm 1/m	7,5	HE SM 0025			
Uk. organski uglj. <i>TOC</i> [mg/l]	1,62	HE SM 0026			
Ukupna ulja i masti [mg/l]	<0,005	HE SM 0029			
Mineralna ulja [mg/l]	<0,005	HE SM 0029			

Rezultati henijskog sastava ovih voda od 17.08.2005. godine, ukazuju da nije postojala emisija zagađujućih materija u vodotok Ibra, preko dozvoljenih graničnih vrednosti (tabela 67.).

Tabela 67. Veličina emisije otpadnih voda separacije uglja „Ibarskih rudnika“ u reku Ibar (17.08.2005.)

Parametar	Jedinična mera	Granična vrednost	Nađena vrednost
temperatura	°C	30	20,4
pH	-	6,5 - 9	7,69
suspendovane materije	mg/l	80	25
HPK	mgO ₂ /l	100	15,2

Granične vrednosti koje su prikazane tabelom 67., odnose se za parametre koji su Uredbom o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vode i rokove za njihovo odklanjanje („Sl.glasnik br: 67/2011, Prilog 2, Tabela 2.1.), karakteristični zagađivači kada su u pitanju otpadne vode iz postrojenja i pogona za pranje i separaciju uglja.

4.4. Uticaj deponija jalovine uglja i prateće rudarske infrastrukture na životnu sredinu

U područjima rudnika kamenog i mrkog uglja u Srbiji, najčešće na lokaciji gde se vrši odlaganje rudne jalovine, deponuje se i separacijska jalovina koja se dobija nakon prerade, odnosno separacije uglja.

Tako formirana jalovišta uglja, već je naglašeno u ranijem poglavlju da svojim supstratima imaju uticaj na zagađenje zemljišta i podzemnih voda, ali se na ovom mestu ističu i neki drugi vidovi narušavanja životne sredine čiji najveći uticaj oseća lokalno stanovništvo, obzirom da su jalovišta najčešće lokacijski vezana za neposrednu okolinu seoskih i drugih naselja.

Pored jalovišta uglja dakle, uticaj na životnu sredinu ima i prateća rudarska infrastruktura: mašinske radionice, radionice za servis motora i rudarske opreme, komunalne otpadne vode od rudarskih menzi, kupatila, toaleta i dr., zatim toplane za grejanje rudarskih zgrada, kao i deponije starog gvožđa gde se odlažu i ishabane radne mašine koje u sebi sadrže ulje i druge nepoželjne supstance (slika 271.).



Slika 271. Deponija otpadnog materijala kod potkopa „Baljevac“ na pogonu „Jarando“ (foto B.Miladinović)

Negativan uticaj jalovišta uglja koji se u najvećoj meri ispoljava prema lokalnom stanovništvu i njihovoj neposrednoj životnoj sredini, ogleda se u:

- NIMBY sindromu (Not-In-My-Backyard, ne u mom dvorištu);
- zauzimanju obradivog i šumskog zemljišta;
- aerozagađenju;
- komunalnom zagađenju;
- transportnom zagađenju i dr.

Takozvani sindrom NIMBY je poznat problem u svetu, jer niko ne želi u svojoj neposrednoj okolini izgradnju objekata poput duševnih bolnica,



Slika 272. Izgled jalovišta uglja u zapadnom polju rudnika „Bogovina“ (foto B.Miladinović)

prihvatišta za narkomane, topionice, livnice, groblja, formiranje deponija komunalnog, industrijskog ili hemijskog otpada i sl. Pored nabrojanog su i rudna jalovišta, koja se ne rado prihvataju u neposrednom životnom okruženju (slika 272.).

Rudna jalovišta sa vizuelnim izgledom degradiranog terena, deluju depresivno i kod mnogih ljudi se odražava negativno na psihičko stanje, a posebno ovome doprinosi saznanje da se na tom prostoru u našim uslovima,

najčešće ne sprovode mere tehničke, kao ni biološke rekultivacije koja bi trebala da usledi na kraju korišćenja takvog jalovišta (slika 273.).



Slika 273. Deponija jalovine uglja zatvorenog rudnika „Dobra Sreća“ u selu Vina kod Knjaževca (foto B.Miladinović)

životne sredine, stepena razumevanja stanovništva o potrebi rada rudnika, političkih uticaja i brojnih drugih okolnosti. Kako izgleda deponovanje jalovine u neposrednoj okolini seoskih domaćinstava u selu Piskanja, može se videti na slici 274.



Slika 274. Jalovište uglja u selu Piskanja-Ibarski rudnici (foto B.Miladinović)

Ovako razumevanje, svakako opravdava zahteve koji se izražavaju pritom za preduzimanjem mera zaštite, kako bi život na prostoru oko jalovišta uglja, bio što prihvatljiviji i humaniji.

Za formiranje rudnog jalovišta, najčešće se od lokalnog stanovništva uzimaju obradive parcele ili šumska zemljišta. Odnos stanovništva prema ovome je različit i to zavisno od: lične ugroženosti i štete koja će im se učiniti, procene mogućnosti dobijanja obeštećenja za uzete nepokretnosti, odnos prestavnika rudnika prema stanovništvu koje gubi deo

Usled sveukupne ekonomske i društvene degradiranosti seoskih naselja u brdskim i planinskim područjima gde se obično nalaze rudnici uglja, lokalno stanovništvo bez obzira na sve nepoželjne posledice, najčešće prihvata i razume potrebu otvaranja jalovišta, jer u radu rudnika vidi prosperitet kraja u kome žive.

Pored relativno velikog prostora koji zauzimaju danas rudnici sa podzemnom eksploatacijom uglja, neki ipak zbog brdovite konfiguracije na kojima su otvoreni, funkcionišu doneke u skućenim radnim uslovima. U tabeli 68., prikazana je na osnovu podataka iz 1996. godine, površina zemljišta od P= 4,87 km², koju raspoređeno zauzimaju rudnici kamenih i mrkih ugljeva u Srbiji.

Tabela 68. Površina zemljišta koju zauzimaju rudnici sa podzemnom eksploatacijom uglja u Srbiji (Gagić i dr. 1996)

Rudnik	Površina pod rud. objektima (ha.a.m ²)	Površina pod star. jalovištem (ha.a.m ²)	Površina pod akt. jalovištem (ha.a.m ²)	Ostalo (ha.a.m ²)	Ukupno (ha.a.m ²)
Vrška Čuka	9.88.14	10.37.42	0.61.10	20.89.91	41.76.57
Rembas	47.39.28	1.00.00	1.88.45	108.01.58	158.29.31
Jasenovac	2.76.08	-	0.70.00	3.33.92	6.80.00
Bogovina	42.39.82	8.77.43	8.64.00	32.94.31	92.75.56
Lubnica	5.13.00	2.00.00	1.80.00	22.28.30	31.21.30
Soko	8.70.00	-	3.24.00	67.71.00	79.65.00
Ibarski rudnici	30.82.76	4.25.00	13.17.46	9.49.08	57.74.30
Štavalj	6.50.00	3.00.00	-	8.98.93	18.48.93

Prikazani podaci u tabeli 68., svakako da su do danas izmenjeni, ali najvećim delom se odnose na promenu površine aktivnih jalovišta, s tim da se to nije značajno menjalo kod jalovišta gde je vršeno njihovo nadvišenje.

Podaci za slučaj rudnika „Jasenovac“, ukazuju da je od 1996. god., do danas, aktivno jalovište uglja povećalo površinu od 0,7 ha na 1 ha 39 a 30 m².

Aerozagađenje predstavlja takođe jedan od štetnih uticaja koji se sa jalovišta uglja, prenosi na životnu sredinu. Izražava se u dva vida. Jedan je prašina, koja na jalovištima nastaje usled rada transportnih mašina i klimatskih faktora koji prouzrokuju raspadanje stena i usitnjavanje jalovine. Najsitnije čestice se lako pokreću sa površine jalovišta i na taj način, raznose na okolni prostor. Količina prašine koja nastaje na jalovištima, zavisi od litološkog sastava depremljene jakovine, njene usitnjenosti, vlažnosti, načina istovara, visine istovara, frekvencnosti kamiona koji dovoze jalovinu i dr.

Obzirom da je lako uočljivo, stanovništvo najčešće negoduje zbog ovog zagađenja, jer ono ne samo da ima uticaj na uzgajanje biljnih kultura (posebno u povrtarstvu), već se štetno ispoljava u samim domaćinstvima na pripremi i čuvanju hrane, održavanju lične higijene, na zagađenju voda, a posebno se

negativno odražava na disajne organe kod ljudi i domaćih životinja u seoskim naseljima.

Rudnik „Vrška Čuka“ u tom pogledu ima delimično problem, jer antracit koji se odkopava, veoma lako se mrvi do veličine prašinstih čestica, tako da je njegov transport trakastim transporterima od jame do separacije, kao i sa jalovišta gde se delimično nađe sa jalovinom, lako raznosi vetrom po okolnom prostoru. Slična okolnost prati i transport uglja žičarom od jame „Jarando“ do separacije uglja u Piskanji.

Drugi vid aerozagađenja je uslovljen povremenim samozapaljenjem uglja na nekim jalovištima usled oksidacije. Ugljen-dioksid i ugljen-monoksid koji se time stvara, raznosi se vazдушnim strujama po okolnom prostoru, tako da se karakteristični miris ovih gasova, često oseća u vazduhu. Do samozapaljenja uglja, najčešće dolazi na jalovištima rudnika „Soko“ i „Štavalj“ i ono ima uglavnom manji lokalni značaj (slika 275.).



*Slika 275. Izgled samozapaljenog uglja na jalovištima Srbije
sl. levo - jalovište rudnika „Soko“; sl. desno – jalovište rudnika „Štavalj“
(foto B.Miladinović)*

Pored toga, do samozapaljenja uglja dolazi i u jami usled provetravanja rudarskih prostorija. Najizraženije se ispoljava u jami „Štavalj“, gde se ova pojava usled zarušenih krovinskih naslaga, manifestuje i na površini terena (slika 276.).

U širem području rudnika „Štavalj“, vršena su u toku marta 2005. godine, merenja imisije sumpor-dioksida, čađi i ukupnih taložnih materija u vazduhu i to od strane stručnjaka iz Zavoda za zaštitu zdravlja Kraljevo.



Slika 276. Otvor na površini terena iz kog izlaze gasovi od samozapaljenog uglja u jami rudnika „Štavalj“ (foto V.Lojanica)

Merna mesta su bila postavljena na sledećim lokacijama: krug rudnika „Štavalj“, okolna naselja i to Štavalj, Kneževac, Kaličani. Rezultati izveršenih merenja su ukazala na imisije ispod graničnih vrednosti (GVI), osim jednog merenja ukupnih taložnih materija u naselju Kneževac. Važno je istaći da sadržaji teških metala u konstatovanim taložnim materijama, ne prelaze granične vrednosti za naseljena mesta.

Komunalna zagađenja naselja od postojećih jalovišta uglja, izražava se na više načina. Najpre, lokalno stanovništvo često koristi jalovište uglja za odlaganje komunalnog i drugog otpada, a on se sa ovih površina, nekontrolisano lako raznosi vetrovima van ovog prostora. Problem svakako predstavljaju i kiše jakog intenziteta, kada se sa formiranih kosina jalovišta, spira deponovani materijal na lokalne puteve i saobraćajnice, a onda se duž njih, transportnim kamionima koji dopremaju jalovinu, raznosi na veće udaljenosti.

Štetne posledice transporta kamionima ne samo da se izražava kada je u pitanju transport jalovine od separacije ili iz jama do jalovišta, već i kada je u pitanju transport rovnog uglja od jame do separacijskog postrojenja. U slučaju rudnika „Lubnica“, rovni uglaj se kamionima transportuje 20 km od jame do separacije u selu Grljan. Kod rudnika „Bogovina“, ovaj transport se obavlja na rastojanju od oko 2 km i to od jame u „istočnom polju“ do separacije u selu Bogovina. U Rembasu, transport rovnog uglja se obavlja oko 7 km, od jame „Strmosten“ do separacije u naselju Resavica, a u „Ibarskim rudnicima“ na rastojanju od oko 35 km, od jame „Tadenje“ do separacije u naselju Piskanja.

Uticaj na životnu sredinu usled transporta jalovine, odnosno rovnog uglja u području rudnika se ispoljava u vidu:

- ispuštanja izduvnih gasova kamiona;
- podizanje prašine u vazduhu;
- stvaranje buke.

Zagađivanje atmosfere izduvnim gasovima od kamiona sa unutrašnjim sagorevanjem je veoma izražen problem, a pogotovo kada se transport rovnog uglja, odnosno jalovine, obavlja svakodnevno kroz naseljena mesta i tako u trajanju od više decenija. U tom pogledu, u Srbiji su posebno ugrožena sela kao što je Bogovina, Lubnica, Grljan, zatim sela u području resavsko-moravskog basena (Stenjevac, Dvorište, Dutovo), kao i naselja u području „ibarskih rudnika“ (Ušće, Baljevac, Piskanja).

Količina prašine koju stvaraju i podižu točkovi kamiona, zavisi od stanja putne infrastrukture po kojima se kreću, brzine vožnje, veličine i težine čestica prašine, stepena njihove pokretljivosti, klimatskih faktora i dr. Pored podizanja ove prašine u atmosferu, tokom transporta, deo prašine se stvara i od samog uglja koji se transportuje i to zavisno pre svega od vrste i njegove usitnjenosti, ali i od brzine kretanja vozila, jačine vazdušnog strujanja i dr.

Ova sitna prašina iz vazduha i olovo iz izduvnih gasova motora sa unutrašnjim sagorevanjem, lako zagađuju lokalna izvorišta, vodu u kopanim bunarima koji su često osnovni način vodosnabdevanja lokalnog stanovništva. Prašina se posebno loše odražava na respiratorne organe kod ljudi i životinja.

Veliki problem pri transportu kamionima je i stvaranje velike buke od rada motora. Znatno izraženije se ispoljava pri postojanju uspona na saobraćajnicama i pune opterećenosti. Na buku su naročito osetljiva deca ispod 6 godina i osobe iznad 65 godina starosti. Buka se ozbiljno odražava na nervni sistem i to kako centralni, tako i na vegetativni, a preko ovoga utiče na mnoge organe i tkiva, u kojima izaziva promene i funkcionalne smetnje. Buka predstavlja jedan od značajnih faktora neurotizacije ličnosti, a agresivno ponašanje se javlja tek kod buke iznad 80 dB. Teški teretni kamioni, obično stvaraju buku od 80 – 100 dB.

Kao i kod ljudi, buka se negativno odražava kod domaćih životinja kojima je kretanje ograničeno. Divlje životine u takvim uslovima, najčešće napuštaju prostore u kojima su živele i traže nova staništa.

Pored uticaja jalovišta uglja na životnu sredinu, kao što je već naglašeno i prateća rudarska infrastruktura ima svoj odraz. U tom pogledu, pažnja na ovom mestu je posvećena otpadnim sanitarnim vodama koje nastaju iz rudarskih menzi i sanitarnih čvorova. Ove vode se najčešće u našoj praksi ne prečišćavaju i ne poklanja im se adekvatna pažnja, bez obzira što zagađuju životnu sredinu. U većim rudarskim naseljima kao što su Resavica ili Baljevac, otpadne sanitarne vode iz rudarskih pogona se puštaju u javnu kanalizaciju, a u ostalim slučajevima, obično se koriste lokalne septičke jame.

Pažnja otpadnim sanitarnim vodama, posvećena je jedino na pogonu rudnika „Soko“. Ovo je jedini rudnik koji poseduje sistem za prečišćavanje



Slika 277. Mesto ispusta sanitarnih otpadnih voda rudnika „Soko“ u reku Izgaru (foto B.Miladinović)

otpadnih sanitarnih voda. Nakon tretmana, ove vode se puštaju u površinski tok reke Izgare (slika 277.).

Na pogonu rudnika „Štavalj“, sanitarne vode zajedno sa otpadnim rudničkim vodama iz jame, puštaju se u površinski tok reke Knešnice.

U toku 2013. godine, otpadne sanitarne vode oba rudnika, bile su u tri navrata predmet laboratorijskih ispitivanja. Prema Uredbi o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vode i robove za njihovo dostizanje („Sl.glasnik RS“, br: 67/2011, Prilog 2., Glava III - Komunalne otpadne vode, Tabele 2. - Granične vrednosti emisije za komunalne otpadne vode koje se ispuštaju u recipijent), pet parametara je analizirano i to: BPK₅ (GVE= 25 mgO₂/l), HPK (GVE=125 mgO₂/l), suspendovane materije (GVE= 60 mg/l), ukupni fosfor (GVE= 2 mg/l) i ukupni azot (GVE= 15 mg/l), slika 278.

Prikazani rezultati ukazuju da povremeno postoji prekoračenje granične vrednosti emisije zagađujućih materija u tok reke Izgare, kao u aprilu 2013. godine, kada su prečišćene otpadne sanitarne vode, imale visoke vrednosti suspendovanih materija (registrovana je vrednost od 84 mg/l) i u mesecu julu, kada je postojala visoka biološka potrošnja kiseonika (BPK₅= 150 mgO₂/l).



Slika 279. Vrednosti emisije zagađujućih materija iz otpadnih sanitarnih voda rudnika „Štavalj“

Ovako postupanje međutim sa otpadnim voda u rudniku „Štavalj“ nije dopušteno, jer prema *Uredbi o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vode i rokove za njihovo dostizanje* („Sl.glasnik RS“, br: 67/2011), dostizanje graničnih vrednosti emisije zagađujućih materija, ne može se vršiti razblaživanjem, ili mešanjem sa nekim drugim vodama, kao što se vrši u ovom slučaju.

4.5. Bonitet kvaliteta voda površinskih vodotokova i njihova ugroženost uticajem eksploatacije i prerade uglja

Podzemna eksploatacija uglja u današnjim uslovima privređivanja u Srbiji, odvija se u najvećem broju slučajeva u slivovima manjih površinskih vodotokova. Obzirom da su formirani u brdovitim i razuđenim terenima, njihov proticaj je uglavnom buičnog karaktera u prolećnom periodu godine, tako da su na mnogima izgrađivane erozione brane, kako bi se ublažio poplavni talas i delimično zaustavio vučeni materijal. Takve brane postoje u koritu Jarandolskog potoka u Baljevcu, zatim u Senjskom Rudniku u koritu reke Ravanice, u Vodničkom potoku u Vodni (Rembas), u koritu Avramičkog potoka uzvodno od rudnika „Vrška Čuka“.

U toku letnjeg perioda međutim, ovi tokovi imaju jako male proticaje, a neki čak i presuše. Takav slučaj je sa Jarandolskim potokom, rekom Ravanicom

uzodno od rudnika, Vodničkim potokom. Taj period je istovremeno i najkritičniji, jer rudničke vode koje se iz jama rudnika uglja, ispumpavaju i puštaju direktno u korito vodotoka, u potpunosti uslovljavaju kvalitet površinskog oticaja na nizvodnim profilima.

Na osnovu *Pravilnika o utvrđivanju vodnih tela površinskih i podzemnih voda* („Sl.glasnik RS“, br: 96/2010.), na teritoriji Republike Srbije, izdvojeno je ukupno 493 vodna tela površinskih voda i 5 vodnih tela površinskih voda koja pripadaju jezerima. Za svako izdvojeno vodno telo, dat je naziv vodotoka kome pripada, zatim je data kategorija vodnog tela, dužina i šifra vodnog tela i vodno područje kom pripada.

U odnosu na mesto ispusta rudničkih voda i drugih otpadnih voda iz analiziranih rudnika uglja u površinske vodotokove, u četiri slučaja se to vrši direktno u neko od izdvojenih vodnih tela prema gore navedenom Pravilniku. Radi se o rudničkim vodama iz jama „Strmosten“, „Jelovac“ i „Senjski Rudnik“ u resavsko-moravskom basenu i iz zatvorene jame „Ušće“, koja pripada „Ibarskim rudnicima“ (tabela 69.).

Tabela 69. Prikaz vodnih tela površinskih voda u koje se vrši izliv rudničkih voda rudnika kamenih i mrkih ugljeva Srbije

Rudnik	Mesto izliva rudničkih voda	Šifra vodnog tela	Naziv vodnog tela	Dužina vod. tela (km)	Vodno područje
Strmosten	reka Resava	RES_3	Resava od ušća Resavice do ušća Jelovog potoka	19,15	Morava
Jelovac	reka Resava	RES_3	Resava od ušća Resavice do ušća Jelovog potoka	19,15	Morava
Senjski Rudnik	reka Ravanica	RAV_2	Ravanica uzvodno od mosta kod Senja	10,65	Morava
Ušće	reka Studenica	STU_1	Studenica od ušća u Ibar do ušća Savošnice	16,25	Morava

Na osnovu *Pravilniku o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda* („Sl.glasnik RS“, br: 74/2011.), ocena ekološkog statusa površinskih voda, vrši se po tipovima, zavisno od razvrstanosti vodnih tela. Ovo razvrstavanje je izvršeno prema sledećim elementima kvaliteta:

- a) biološkim;
- b) hemijskim i fizičko-hemijskim koji su od značaja za biološke elemente, za datu kategoriju i dati tip vodnog tela površinskih voda;

c) hidromorfološkim koji su od značaja za biološke elemente za datu kategoriju i dati tip vodnog tela površinskih voda.

Prema ovim elementima kvaliteta, vodna tela RES_3, RAV_2 i STU_1 (tabela 69.), razvrstana su u TIP 3, kao mali i srednji vodotoci, nadmorske visine do 500 m i sa dominacijom krupne podloge.

Obzirom da se van ova tri navedena vodna tela, ispuštanje otpadnih rudničkih voda iz rudnika uglja, vrši i u manje vodotoke koji nisu obuhvaćeni Pravilnikom o utvrđivanju vodnih tela, njihovo razvrstavanje se onda vrši u TIP 6, kao mali vodotoci izvan područja Panonske nizije, koji nisu obuhvaćeni tipovima 3 i 4.

Na taj način, TIP-u 6 bi pripadali sledeći površinski vodotokovi: Avramički potok (vodno područje Donji Dunav), Lubnička reka (vodno područje Donji Dunav), Bogovinska reka (vodno područje Donji Dunav), Vinska reka (vodno područje Donji Dunav), Podvis (vodno područje Donji Dunav), Vlaško polje (vodno područje Donji Dunav), Rakitska reka (vodno područje Morava), reka Izgara (vodno područje Morava), Resavica (vodno područje Morava), Jasenovački potok (vodno područje Donji Dunav), Jarandolski potok (vodno područje Morava), reka Raduša (vodno područje Morava), reka Knešnica (vodno područje Sava).

Za svaki od šest TIP-ova vodnih tela, izdvojeno je 5 klasa ekološkog statusa površinskih voda. Granice između klasa unutar svakog TIP-a vodnog tela je izvršeno na osnovu vrednosti izdvojenih parametara i to: hemijskih i fizičko-hemijskih, bioloških, mikrobloških parametara (tabela 70.).

Ekološki status za površinske vode se klasifikuje kao:

- *odličan* (I klasa);
- *dobar* (II klasa);
- *umeren* (III klasa).

Sve površinske vode koje imaju ekološki status niži od umerenog (III), klasifikuju se kao: *slabe* (IV) ili *loše* (V klasa).

Površinske vode koje imaju *odličan ekološki status*, odnosno pripadaju I klasi, obezbeđuju na osnovu graničnih vrednosti elemenata kvaliteta, uslove za funkcionisanje ekosistema, život i zaštitu riba (salmonida i ciprinida) i mogu se koristiti u sledeće svrhe: snabdevanje vodom za piće uz predhodni tretman filtracijom i dezinfekcijom, kupanje i rekreaciju, navodnjavanje, industrijsku upotrebu (procesne i rashladne vode).

Tabela 70. Parametri za ocenu ekološkog statusa površinskih voda

Parametar	Tip površinskog vodotoka					
	TIP 1	TIP 2	TIP 3	TIP 4	TIP 5	TIP 6
Hemijski i fizičko-hemijski parametri ocene ekološkog statusa						
pH	+	+	+	+	+	+
Rastvoreni kiseonik	+	+	+	+	+	+
BPK ₅	+	+	+	+	+	+
Ukupni organski ugljenik (TOC)	+	+	+	+	+	+
Amonijum jon (NH ₄ -N)	+	+	+	+	+	+
Nitrati (NO ₃ -N)	+	+	+	+	+	+
Ortofosfati (PO ₄ -P)	+	+	+	+	+	+
Ukupni rastvoreni fosfat (P)	+	+	+	+	+	+
Hloridi	+	+	+	+	+	+
Biološki parametri ocene ekološkog statusa vodeni makrobeskičmenjaci						
Saprobni indeks (metoda Zelinka & Marvan)	+	+	+	+	+	+
BMWP skor	+	+	+	+	+	
ASPT skor	+	+	+	+	+	
Indeks diverziteta (metoda Shannon-Weaver)	+	+	+	+	+	
Ukupan broj taksona	+	+	+	+	+	+
BNBI indeks	+	+	+	+	+	+
Učesće Oligochaeta-Tubificidae	+	+	+	+	+	+
Broj vrsta školjki	+	+				
Broj vrsta Gastropoda	+				+	
Broj osjetljivih taksona	+	+		+	+	+
EPT indeks		+	+	+		+
Broj familija			+			
Fitobentos						
IPS indeks	+	+	+	+	+	+
CEE indeks	+	+	+	+	+	
Fitoplankton						
CYA	+					
EUG	+					
abundanca	+					
Biomasa fitoplanktona, hlorofila	+					
Makrofite						
Indeks diverziteta (metoda Shannon- Weaver)	+					
Ukupan broj toksina	+					
Mikrobiološki parametri ocene ekološkog statusa						
Ukupni koliformi	+	+	+	+	+	+
Fekalni koliformi	+	+	+	+	+	+
Fekalne enterokoke	+	+	+	+	+	+
Odnos oligotrofnih heterotrofnih bakterija – OB/HB	+	+	+	+	+	+
Broj aerobnih heterotrofa (metoda Kohl)	+	+	+	+	+	+

Površinske vode koje imaju *dobar ekološki status*, odnosno pripadaju II klasi, obezbeđuju na osnovu graničnih vrednosti elemenata kvaliteta, uslove za funkcionisanje ekosistema, život i zaštitu riba (ciprinida) i mogu se koristiti u iste svrhe i pod istim uslovima kao površinske vode koje pripadaju I klasi.

Umereni ekološki status ili III klasu, imaju površinske vode koje obezbeđuju uslove za život i zaštitu ciprinida i mogu se koristiti za snabdevanje

vodom za piće ali uz predhodni tretman koagulacijom, flokulacijom, filtracijom i dezinfekcijom kupanje i rekreaciju, navodnjavanje, industrijsku upotrebu (procesne i rashladne vode).

Površinske vode koje imaju *slab ekološki status*, odnosno pripadaju IV klasi, obezbeđuju uslove za vodosnabdevanje ali uz primenu kombinacije tretmana kao kod III klase i unapređenih metoda tretmana, navodnjavanje, industrijsku upotrebu (procesne i rashladne vode).

Loš ekološki status ili V klasa površinskih voda, ne može se koristiti na osnovu graničnih vrednosti elemenata kvaliteta, ni u jednu svrhu.

Za analizu ekološkog statusa površinskih voda nizvodno od rudnika kamenih i mrkih ugljeva, korišćeni su podaci monitoringa površinskih voda koji je vršen periodično tokom 2012-2013. god., i to pri srednjim i visokim vodostajima. Tokom ovih kalendarskih godina, vršene su po tri analize i to kako na profilu vodotoka uzvodno u odnosu na ispust otpadnih rudničkih i sanitarnih voda iz rudnika, tako i na nizvodnom profilu u odnosu na rudnik. U ovom obimu, ispitivanja su vršena na sledećim vodotokovima:

- Jasenovački potok (rudnik „Jasenovac“);
- Bogovinska reka (rudnik „Bogovina“);
- reka Izgara (rudnik „Soko“);
- Jarandolski potok (rudnik „Jarando“);
- reka Knešnica (rudnik „Štavalj“).

U istom obimu laboratorijskih ispitivanja, analizirana su i jednokratna ispitivanjima, koja su vršena na vodotokovima:

- Avramički potok (rudnik „Avramica“);
- Lubnička reka (rudnik „Lubnica“);
- reka Raduša (rudnik „Tadenje-Progorelica“).

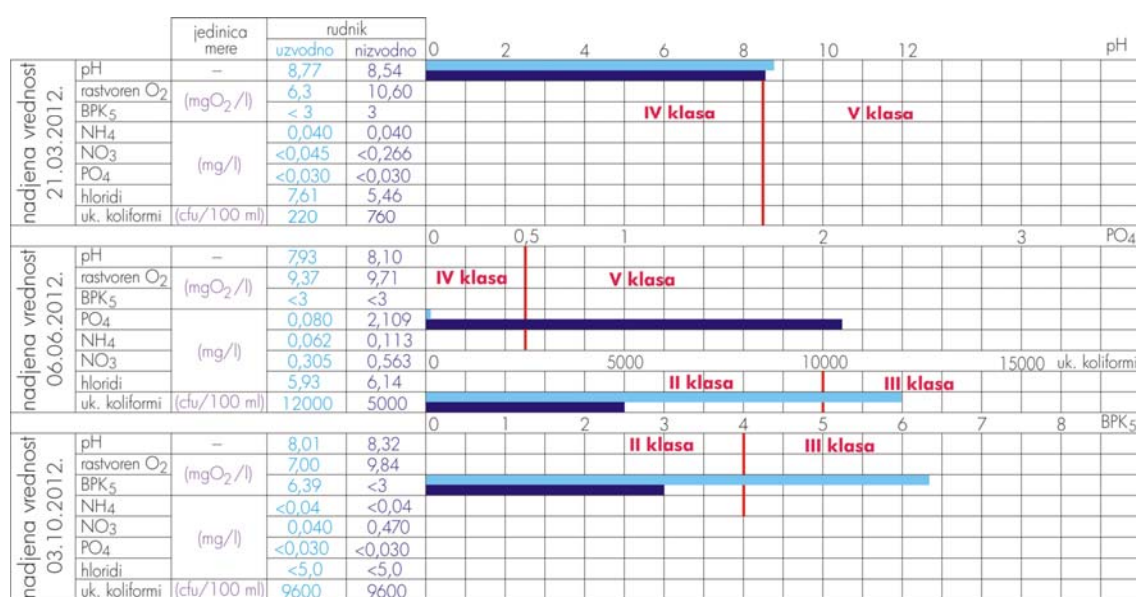
Laboratorijska ispitivanja površinskih voda iz navedenih vodotokova, najvećim delom su vršena u akreditovanim laboratorijama Zavoda za javno zdravlje (Zaječar, Požarevac, Kraljevo) i jednim delom u akreditovanoj laboratoriji „Analhem“-a iz Beograda.

Pošto svi ispitivani vodotoci pripadaju TIP-u 6, od propisanih parametara prema tabeli 70., za ocenu ekološkog statusa, raspolagalo se najviše sa hemijskim i fizičko-hemijskim parametrima (67-78 %) i sa jednim mikrobiološkim parametrom od 5 koliko je propisano. Analizu umanjuje činjenica da nije bilo nalaza ispitivanja bioloških parametara, a u slučaju

Bogovinske reke, Jarandolskog potoka, reke Raduše i Knešice, nisu postojala ni mikrobiološka ispitivanja.

Uzevši u celini, analiza ekološkog statusa površinskih voda kao rezultat uticaja rada rudnika kamenih i mrkih ugljeva, izvršena je sa obradom laboratorijskih nalaza, koji su sadržali 28,5 - 38 % parametara od ukupnog broja propisanih prema tabeli 70., za vodotokove TIP 6.

Monitoring površinskih voda Jasenovačkog potoka (područje rudnika „Jasenovac“), obrađen je za 2012. godinu i to prema rezultatima koji su prikazani na slici 280.



Slika 280. Ekološki status površinskih voda Jasenovačkog potoka u području rudnika „Jasenovac“ u toku 2012. godine

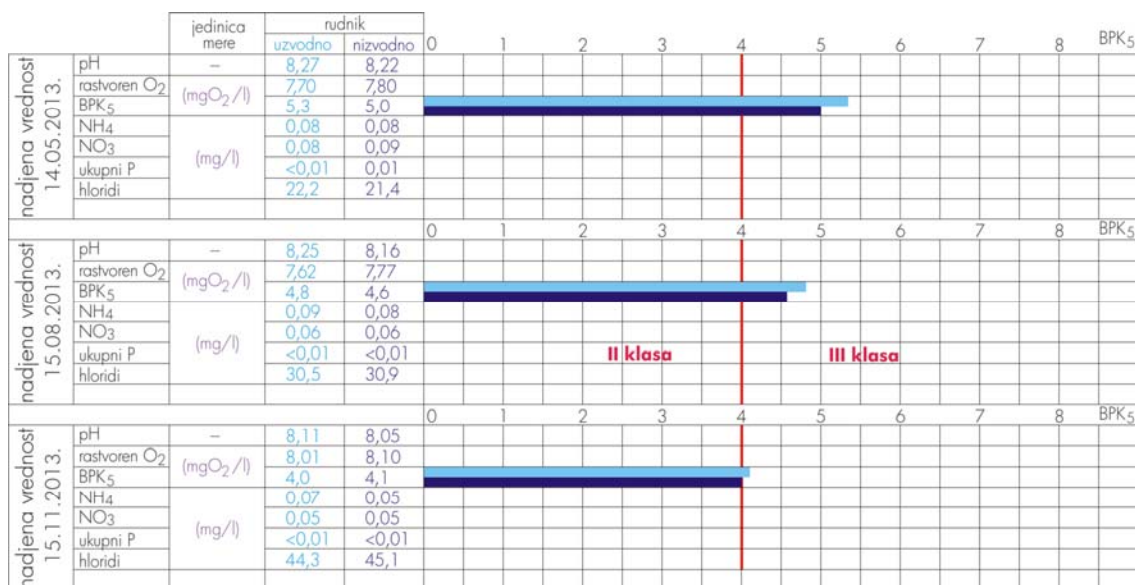
Na osnovu propisanih graničnih vrednosti analiziranih parametara, površinske vode Jasenovačke reke su imale jako promenljiv ekološki status tokom 2012. godine. On se kretao od *dobrog* (II klasa), do mnogo češćeg, *lošeg* ekološkog statusa (V klasa). Ovakom stanju je posebno doprineo izuzetno visok sadržaj fosfata (PO₄= 2,109 mg/l) koji je 06.06.2012. godine, utvrđen na nizvodnom profilu u odnosu na pogon rudnika „Jasenovac“.

Na uzvodnom profilu Jasenovačkog potoka, fosfati su bili u znatno manjim koncentracijama (PO₄= 0,080 mg/l), ali su tada nešto veći sadržaj imale rudničke vode iz jame (PO₄= 0,110 mg/l), što odgovara vrednostima za III klasu.

Pored fosfata, loš ekološki status površinskih voda Jasenovačkog potoka, daje i visoka pH vrednost ali je to odraz stanja sliva ove reke na uzvodnijim profilima od rudnika. Taj deo sliva karakteriše povremeno i povišena biološka potrošnja kiseonika (BPK₅= 6,39 mgO₂/l - 03.10.2012.), ili prisustvo ukupnih koliformnih bakterija (uk. koliformi= 12 000 cfu/100 ml – 06.06.2012.).

Uzevši u celini, konstatovano stanje tokom 2012. godine na nizvodnom profilu Jasenovačkog potoka od rudnika, ukazuje da su rudničke vode u jednom periodu godine delimično poboljšavale ekološki status površinskih voda (obzirom da značajnim delom nastaju od karstnih izdanskih voda), a u drugom periodu da su zajedno sa aktivnostima prateće rudarske infrastrukture na pogonu rudnika „Jasenovac“, uslovljavala loš ekološki status površinskim vodama i to zbog visokog prisustva ortofosfata.

U podričju rudnika „Bogovina“, monitoring kvaliteta površinskih voda Bogovinske reke je vršen u toku 2013. godine, a postignuti rezultati su grafički prikazani na slici 281.



Slika 281. Ekološki status površinskih voda Bogovinske reke u području rudnika „Bogovina“ u toku 2013. godine

Sprovedenim monitoringom, konstatovano je da Bogovinska reka uglavnom ima *umereni ekološki status* (III klasa) ili da je on povremeno na granici sa *dobrim ekološkim statusom* (II klasa). Treba međutim naglasiti, da je rudnik „Bogovina“ u toku 2013. godine, imao umanjenu proizvodnju usled

priprema na otkop uglja u novom eksploatacionom bloku, tako da sprovedeni monitoring nije dao realno ekološko stanje Bogovinske reke.

U površinskim vodama ove reke na profilu uzvodno od rudnika, konstatovana je povišena biološka potrošnja kiseonika (BPK₅) i to tokom cele 2013. godine, tako da je ovaj parametar uslovljavao njeno svrstavanje u III klasu. Na nizvodnom profilu od rudnika, vrednosti BPK₅ su bile nešto niže u odnosu na uzvodni profil, a novembru 2013. godine su bile i na granici između II i III klase.

Zapaža se takođe da se vrednosti BPK₅ snižavaju od kišovitog prolećnog dela godine, ka sušnom letnjem i jesenjem periodu što može ukazati da pri višim vodostajima, priobalje Bogovinske reke ima loš odraz na njen ekološki status. Pri niskom vodostaju u koritu difuzna zagađenja u slivu su manje izražena, tako da Bogovinska reka onda ima bolji ekološki status.

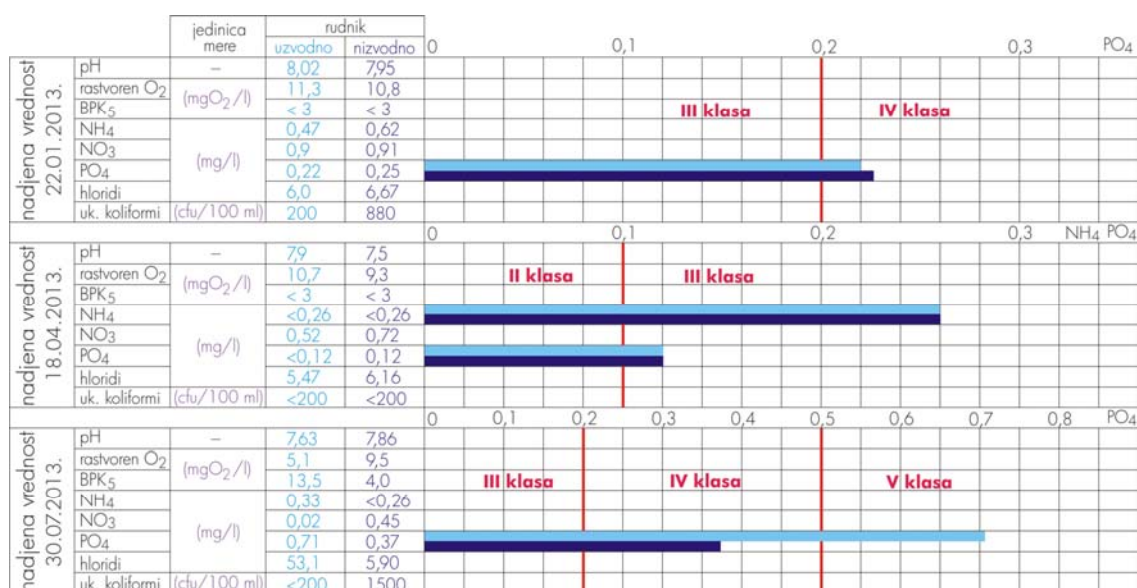
Pored ovih rezultata iz 2013. godine, treba istaći da se u izvodnom delu sliva Bogovinske reke u odnosu na rudnik „Bogovina“, javljaju povremeno u vodi i povišeni sadržaji amonijum jona (NH₄) u granicama III klase ili fosfata (PO₄), koji joj daju *slab ekološki status* (IV klasa). Ovo stanje je registrovano 11.07.2011. godine.

Uzevši u celini, analizirani rezultati prikazanih parametara, ukazuju bez obzira na sve okolnosti da rudnik „Bogovina“, nema uticaja na ekološki status Bogovinske reke na nizvodnom profilu.

Monitoring površinskih voda reke Izgare u području rudnika „Soko“, vršen je u toku 2013. godine. Postignuti rezultati su prikazani grafički na slici 282.

U toku 2013. godine, reka Izgara je imala jako promenljiv ekološki status u delu sliva koji se nalazi uzvodo od rudnika „Soko“ i kretao se od *umerenog* (III klasa), do *lošeg ekološkog statusa* (V klasa). Na nizvodnom profilu od rudnika, registrovano je donekle bolje stanje, obzirom da nije prelazio IV klasu. Doprinos ovome svakako daju rudničke vode iz jame, obzirom da se formiraju najvećim delom na račun kvalitetnih podzemnih voda iz karstne izdani (slika 283.).

Na ovako loš ekološki status reke Izgare, utiču fosfati (PO₄), a povremeno i amonijum jon (NH₄). Sadržaj fosfata je posebno visok konstatovan na profilu Izgare uzvodno od rudnika i to 30.07.2013. godine, kada je iznosio PO₄= 0,71 mg/l.



Slika 282. Ekološki status površinskih voda reke Izgare u području rudnika „Soko“ u toku 2013. godine

Konstatovano stanje dakle u 2013. godini i to prema prikazanom obimu ispitivanih parametara, ukazuje da rudnik „Soko“ tokom 2013. godine, nije imao uticaj na ekološki status voda reke Izgare na nizvodnom profilu.

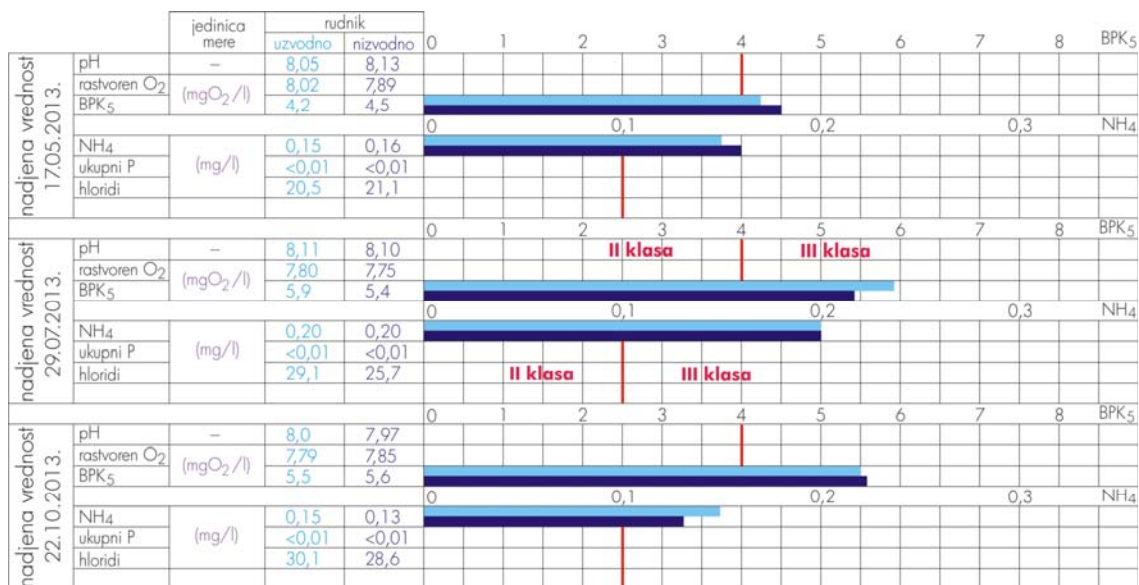


Slika 283. Mesto ispumpavanja rudničkih voda iz jame rudnika „Soko“ (foto B.Miladinović)

U području pogona „Jarando“ (Ibarski rudnici) u Baljevcu, Jarandolski potok je tokom 2013. godine, imao jako ujednačeni ekološki status i stalno je pripadao III klasi, odnosno, imao je *umereni ekološki status* (slika 284.).

Ovaj ekološki status, uslovljavaju konstantno dva parametra koja se javljaju u površinskim vodama uzvodno od rudnika. Radi se o biološkoj potrošnji kiseonika (BPK₅) i amonijum jonu (NH₄). Na nizvodnom profilu od rudnika, zabeležene su jako male razlike u odnosu na uzvodni profil, koje nemaju značaj u pogledu ekološkog statusa analiziranih površinskih voda

Jarandolskog potoka, bez obzira da li su vrednosti nekog od pomenutih parametra neznatno uvećane ili smanjene.



Slika 284. Ekološki status površinskih voda Jarandolskog potoka u području rudnika „Jarando“ (Baljevac) u toku 2013. godine

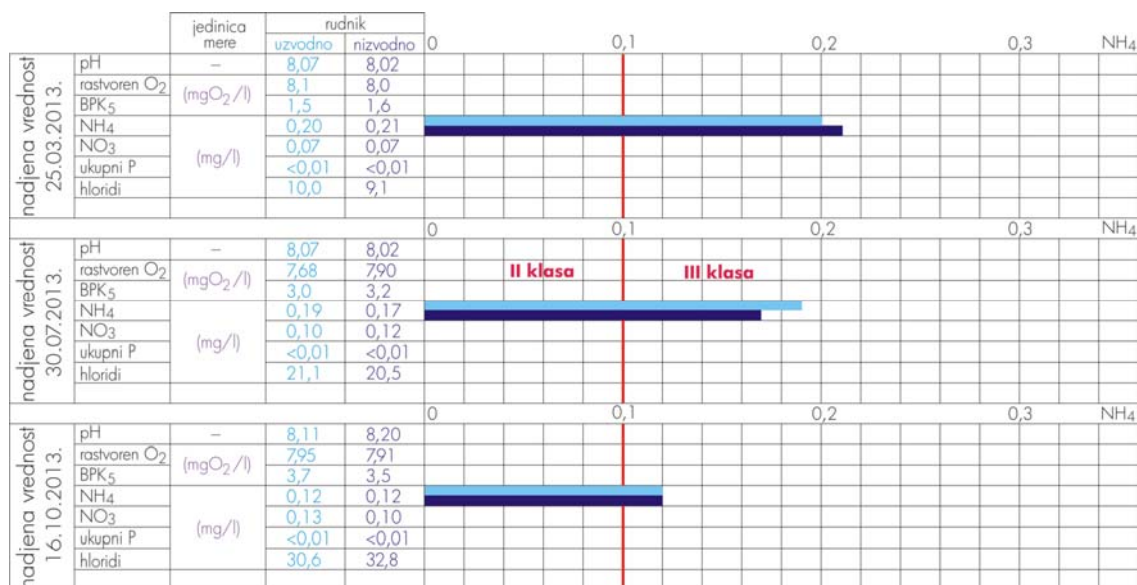
Uzevši u celini, u toku 2013. godine, analizirani parametri ekološkog statusa, ukazuju da rudničke vode iz jame „Jarando“, nemaju značajniji uticaj na ekološki status površinskih voda Jarandolskog potoka.

U području rudnika „Štavalj“, monitoringom tokom 2013. godine, bilo je praćeno stanje kvaliteta površinskih voda reke Knešnice, koja protiče neposredno pored rudnika (slika 285).

U ovom periodu ispitivanja, reka Knešnica je imala **umereni ekološki status** (III klasa) i to usled sadržaja amonijum jona (NH₄) u vodi, koji je registrovan na uzvodnom delu sliva od rudnika „Štavalj“.

Na nizvodnom profilu, održavao se isti ekološki status površinskih voda, a uliv rudničkih i otpadnih sanitarnih voda iz rudnika, nije se značajnije odražavao, obzirom da su sadržaji amonijum jona bili neznatno veći ili u nekom slučaju i manji u odnosu na uzvodni profil.

Zapaža se takođe da sadržaji amonijum jona u površinskoj vodi tokom trajanja sušnog letnjeg i jesenjeg perioda, opada sa vremenom kao u slučaju Bogovinske reke, što može ukazati da se sa snižavanjem vodostaja u vodotoku, manje odražava uticaj priobalja, odnosno uticaj šireg difuznog zagađenja u slivu.



Slika 285. Ekološki status površinskih voda reke Knešnice u području rudnika „Štavalj“ u toku 2013. godine

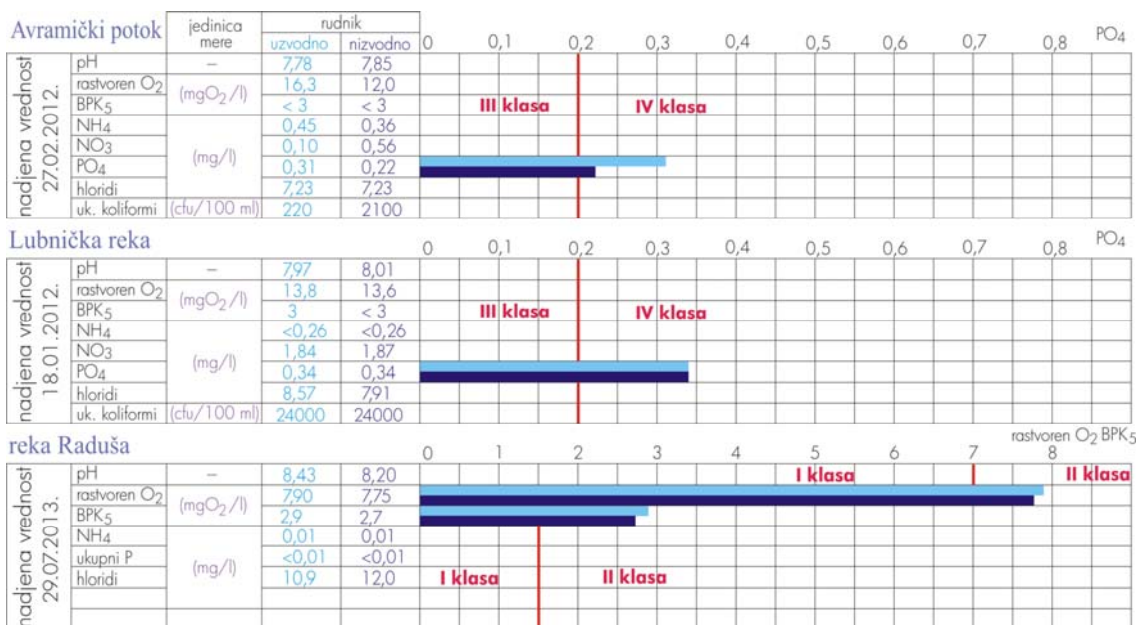
Sprovedenim monitoringom, može se konstatovati na osnovu prikazanog obima analiziranih parametara, da rudnik „Štavalj“ u toku 2013. godine, nije imao uticaja na ekološki status reke Knešnice.

Sagledavanje uticaja rudnika uglja na ekološki status površinskih voda, izvršeno je i za rudnike „Avramica“, „Lubnica“ i „Tadenje-Progorelica“. Prikaz rezultata jednokratnih ispitivanja kvaliteta vode Avramičkog potoka, Lubničke reke i reke Raduše, u toku 2012/2013. godine, dat je slikom 286.

Prikazani rezultati ukazuju da Avramički potok i Lubnička reka, imaju **slab ekološki status** (IV) klasa. Ovako stanje je uslovljeno visokim sadržajem fosfata (PO₄) u površinskim vodama, ali koji je registrovan ne samo na nizvodnom profilu od rudnika, već i na uzvodnom profilu.

Reka Raduša sa svojim slivom uzvodno od rudnika „Tadenje-Progorelica“, ima **dobar ekološki status** (II klasa) i on je kao takav, očuvan i na nizvodnom profilu od rudnika, odnosno prema ušću u reku Studenicu.

Na osnovu prikazane ocene ekološkog statusa površinskih voda i to 8 relativno malih vodotokova, koji su formirani u neposrednom području danas aktivnih rudnika kamenih i mrkih ugljeva, može se konstatovati da se radi najčešće o jako zagađenim vodama i to u uzvodnom delu sliva od rudnika. U tom pogledu, posebno se ističu slivovi Jasenovačkog potoka i reke Izgare, koje povremeno imaju **loš ekološki status** (V klasa), a Avramički potok i Lubnička reka **slab ekološki status** (IV klasa).



Slika 286. Ekološki status površinskih voda Avramičkog potoka (rudnik „Vrška Čuka“), Lubničke reke (rudnik „Lubnica“) i reke Raduše (rudnik „Tadenje-Progorelica“) na osnovu jednokratnog ispitivanja kvaliteta u toku 2012/2013. godine

Parametari koji prema ovoj analizi, najčešće uslovljava ovako izraženu zagađenost površinskih voda na uzvodnim profilima su fosfati (PO₄) i samo u jenom slučaju je registrovana visoka pH vrednost (Jasenovački potok).

Na nizvodnim profilima od rudnika, u jednom slučaju je područje rudnika „Jasenovac“, uslovalo jako visoke sadržaje fosfata (PO₄), a poboljšanje kvaliteta površinskih voda od visokog sadržaja fosfata, registrovan je u jednom slučaju koje je bilo vezano za područje rudnika „Soko“.

Površinske vode Bogovinske reke, Jarandolskog potoka i reke Knešnice, imaju najčešće **umeren ekološki status** (III klasa). Parametri koji uslovljavaju ovaj ekološki status su: biološka potrošnja kiseonika (BPK₅) i amonijum jon (NH₄).

Sadržaji ovih parametara, najčešće dostižu do graničnih vrednosti III klase ekološkog statusa i to se odnosi uopšteno za sve analizirane vodotokove, osim u jednom slučaju za BPK₅, kada je voda reke Izgare na uzvodnom profilu od rudnika „Soko“, imala BPK₅= 13,5 mgO₂/l (IV klasa).

Kao što se iz ove analize može videti, fosfati su najčešći uzročnik kvaliteta analiziranih površinskih voda. U prirodnim vodama (uopšteno posmatrano), fosfati se nalaze u obliku: *ortofosfata, kondezovanih, organski vezanih i ukupnih fosfata* izražen preko fosfora.

Ortofosfati ($\text{PO}_4\text{-P}$) predstavljaju neorganski fosfat koji je rastvoriv u vodi, a njegova primena kao đubrivo, široko je rasprostranjena u poljoprivredi. U površinske vode dospeva ispiranjem iz kultivisanih zemljišta.

Kondezovani fosfati ($\text{PO}_4\text{-P}$) ili polifosfat je glavna komponenta za mnoge preparate za čišćenje i deterdžente. Dodaju se često nekim vodama da bi se sprečila pojava kamenca i da bi se inhibirala korozija.

Organski fosfati ($\text{PO}_4\text{-P}$) nastaju prvenstveno u biološkim procesima. Dospevaju u vode preko telesnih otpadaka i ostataka hrane, a mogu nastati i iz ortofosfata u procesima sa biološkim tretmanom.

Ukupni fosfati ($\text{PO}_4\text{-P}$) obuhvataju sve gore navedene oblike fosfora, koji se izražavaju kao ukupan fosfor.

Povećani sadržaji fosfora u prirodnim vodama, dovode do eutrofikacije.

Pored već razmatranih parametara u cilju sagledavanja uticaja rudnika uglja na površinske vode, prema *Pravilniku o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda* ("Sl.glasnik RS", br: 74/2011.), analiza je dopunjena i sa raspoloživim podacima za vodotokove u području kako zatvorenih, tako i aktivnih rudnika uglja i to za: sulfate SO_4 , ukupnu mineralizaciju, elektroprovodljivost, arsen As, bakar Cu, cink Zn, hrom Cr, gvožđe Fe, mangan Mn.

Granične vrednosti ovih zagađujućih materija, propisane su *Uredbom o graničnim vrednostima zagađujućih materija u površinskim i podzemnim vodama i sedimentima i rokovima za njihovo dostizanje* (Sl.glasnik RS", br: 50/2012).

Izvršena analiza je ukazala da su sumpor (SO_4), gvožđe (Fe) i mangan (Mn), najčešći parametri koji uslovljavaju promenu ekološkog statusa površinskih voda, usled ispuštanja otpadnih rudničkih voda iz rudnika uglja.

Najdrastičniji primer predstavlja izliv rudničkih voda iz zatvorenog rudnika "Dobra Sreća" kod Knjaževca, gde Vinska reka iz svog dobrog ekološkog statusa uzvodno od rudnika, prelazi u lošu V klasu, čije se vode ne mogu koristiti ni u jednu svrhu (slika 287.). Pored SO_4 , Fe i Mn, ovom statusu je doprinela i visoka mineralizacija i elektroprovodljivost površinskih voda.

Sa manjim stepenom ugroženosti od otpadnih rudničkih voda, zahvaćen je i Avramički potok u području ležišta antracita "Vrška Čuka". U ovaj vodotok, ispuštaju se rudničke vode iz zatvorenog potkopa "Sv.Đorđe" i rudničke vode iz aktivnog rudnika "Vrška Čuka" u okviru istog ležišta. Njihov uticaj je grafički prikazan na slici 288.

02.10.2009.		(mg/l)	I klasa	II klasa	III klasa	IV klasa	V klasa
SO ₄	uzvodno od rudnika	98,0	[Yellow bar]				
	nizvodno od rudnika	1650	[Yellow bar]				
Fe	uzvodno od rudnika	0,06	[Orange bar]				
	nizvodno od rudnika	19,4	[Orange bar]				
Mn	uzvodno od rudnika	0,014	[Green bar]				
	nizvodno od rudnika	1,5	[Green bar]				
mineralizacija	uzvodno od rudnika	620	[Teal bar]				
	nizvodno od rudnika	2800	[Teal bar]				
elektroprovodljivost		(μS/cm)					
	uzvodno od rudnika	740	[Purple bar]				
	nizvodno od rudnika	>3000	[Purple bar]				

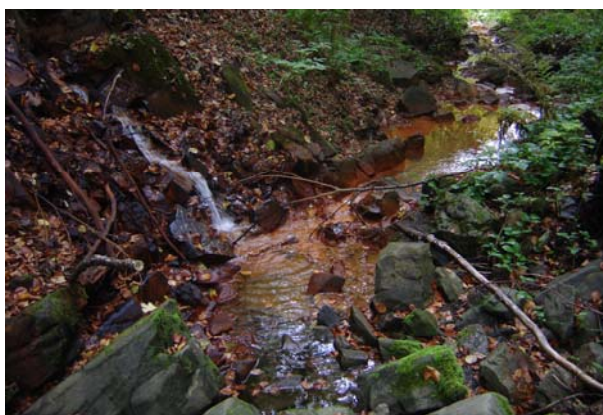
Slika 287. Ekološki status Vinske reke u području zatvorenog rudnika uglja "Dobra Sreća" kod Knjaževca

Sulfati (SO₄) u površinskoj vodi, imaju izraženiji uticaj na promenu ekološkog statusa Avramičkog potoka (III klasa), od gvožđa (Fe), mada dominantniju ulogu od oba ova parametra, imaju fosfati (PO₄), o kojima je već gore bilo reči, obzirom da joj daju slab ekološki status (IV klasa).

27.02.2012.		(mg/l)	I klasa	II klasa	III klasa	IV klasa	V klasa
SO ₄	uzvodno od rudnika	90,97	[Yellow bar]				
	nizvodno od rudnika	193,4	[Yellow bar]				
Fe	uzvodno od rudnika	0,149	[Orange bar]				
	nizvodno od rudnika	0,211	[Orange bar]				

Slika 288. Ekološki status Avramičkog potoka u području zatvorenog potkopa "Sv.Đorđe" i rudnika antracita "Vrška Čuka" po parametrima SO₄ i Fe

Znatno izraženije zagađenje je međutim konstatovano u potoku Koznik u slivu reke Jerme, u istočnoj Srbiji. U ovaj potok ističu rudničke vode iz starog potkopa rudnika "Jerma", koji je zatvoren za eksploataciju. Na uzvodnom profilu od ovog potkopa, potok Koznik je imao odličan ekološki status (I klasa).



Slika 289. Mesto uliva rudničkih voda iz rudnika „Jerma“ u potok Koznik (foto B.Miladinović)

Nakon uliva rudničkih voda, kvalitet voda potoka Koznik se značajno menja (slika 289.), a sadržaji sulfata SO₄ i gvožđa (Fe), uslovljavaju njegovu pripadnost IV klasi (slika 290.).

Kada se nađu u vodi, stanje zagađujućih materija zavisi pre svega od njihove prirode (rastvorljivosti, biorazgradljivosti), ali i od osobine samog recipijenta.

29.09.2010.		(mg/l)	I klasa	II klasa	III klasa	IV klasa	V klasa
SO ₄	uzvodno od rudnika	26,9					
	nizvodno od rudnika	225,0					
Fe	uzvodno od rudnika	0,009					
	nizvodno od rudnika	11,2					
Mn	uzvodno od rudnika	0,0009					
	nizvodno od rudnika	0,2					

Slika 290. Ekološki status potoka Koznik uzvodno i nizvodno od zatvorenog rudnika uglja "Jerma" u istočnoj Srbiji

Zagađujuće materije su dakle izložene fizičkom procesu disperzije i razblaživanja, a može doći i do njihove hemijske ili biološke razgradnje. Iz tog razloga, na primeru zagađenja potoka Koznik, koji čini desnu pritoku Rakitske reke, izvršena su ispitivanja površinskih voda na nizvodnom profilu ove reke i to oko 600 m u odnosu na potkop.

Ova ispitivanja su ukazala, da zagađenja koja donosi potok Koznik u Rakitski reku usled visokih sadržaja sulfata SO₄, gvožđa Fe, mangana Mn, bivaju značajno dispergovana i razblažena. Osim toga, za gvožđe i mangan, jako je značajan prirodni proces aeracije koji se vrši u potoku Koznik, na šta ukazuju crveno-smeđe skrame po dnu njegovog korita. Zapravo, u podzemnim vodama, a najčešće i u rudničkim vodama (usled redukcione sredine), gvožđe je prisutno u obliku dvovalentnih soli, bikarbonata i sulfata. Ovaj dvovalentni jon (Fe²⁺), nepostojan je u aerobnim uslovima i lako podleže oksidaciji do gvožđe (III) oksihidrata, koji je u vodi nerastvoran. Istovremenim procesom oksidacije, podleže i mangan kada prelazi u oksidovani četvorovalentni oblik.

Rakitska reka na navedenom profilu, imala je tokom ovih ispitivanja (29.09.2010. god.), dobar ekološki status (II klasa) i to prema konstatovanim sadržajima NO₃=2,3 mg/l i PO₄=0,027 mg/l. Sadržaji gvožđa od Fe=0,060 mg/l i mangana od Mn=0,0132 mg/l, odgovarali su klasifikaciji za I klasu površinskih voda.

Ovim primerom, uočen je prirodni proces smoprečišćavanja površinske vode, odnosno prirodni proces regeneracije, koji teži uspostavljanju prirodne ravnoteže.

U Srbiji se poslednjih dvadeset pet godina, ostvarajuju relativno mala eksploatacija kamenog i mrkog uglja, koja ne podmiruje ni polovinu današnjih potreba za ovim energentima. Zato se odraz industrije uglja na životnu sredinu, ispoljava još uvek u manjem obimu.

5. MOGUĆNOSTI POBOLJŠANJA ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE OD UTICAJA EKSPLOATACIJE I PRERADE UGLJA

Eksploatacija i prerada mineralnih sirovina, čiji je osnovni cilj dobijanje što veće količine i što kvalitetnijih sirovina, predstavljaju istovremeno i najčešće zagađivače životne sredine. Zato se danas pri najopštijem razmatranju ovih aktivnosti, najčešće prilazi sa dva aspekta. Jedan čini razmatranje postupaka racionalnog korišćenja prirodnog resursa, odnosno mineralne sirovine, njene ekonomične eksploatacije, iznalaženja optimalnih odnosa gubitaka i osiromašenje rude, vek rada rudnika i td. (Gržetić 1996). Drugi aspekt se odnosi na pitanja vezana za ekologiju i zaštite životne sredine, tokom planiranih rudarskih aktivnosti i rada čitavog niza privrednih grana u eksploataciji mineralnih sirovina.

U „Svetskoj asocijaciji uglja“ (www.worldcoal.org), postoji uverenje da je bez obzira na prouzrokovane globalne klimatske promene usled nekontrolisanog razvoja ugljarske privrede u svetu, moguće uz primenu novih tehnologija, istovremeno ostvariti ekonomske vrednosti i izgrađivati adekvatne mere zaštite životne sredine.

U svetu danas postoje brojne globalne inicijative kojima se daju uputstva za održivo poslovanje rudnika, preradu uglja i rada termoelektrana na ugalj. Tako organizacija ICMC i Better Coal („bolji“ ugalj), daju opšte okvire održivog razvoja i one se odnose na:

- poboljšanju ekoloških performansi;
- zaštiti vodnih resursa;
- smanjenju emisije;
- posvećnosti zdravlju i bezbednosti;
- obezbeđenju pravičnosti u zapošljenju;
- vrednovanju ljudskih prava;
- pouzdanosti i transparentnosti;
- održavanju dobre uprave.

Mnoge slične inicijative postoje na lokalnom nivou i „Svetska asocijacija uglja“, priznaje vrednosti tih inicijativa (www.worldcoal.org).

Trenutno relativno mali obim otkopa uglja iz rudnika sa podzemnom eksploatacijom i njegove prerade koja danas postoji u Srbiji (oko 2% od ukupne količine otkopanog uglja), ne predstavlja delatnost koja izraženije utiče

na životnu sredinu. Međutim sa početnom implementacijom Direktiva EU u srpsko zakonodavstvo, prvenstveno vezano za IPPC (Integrated Pollution Prevention and Control - Integrisano sprečavanje i kontrola zagađenja), preuzete su zakonske obaveze po standardima EU za sprečavanje i kontrolu zagađenja, kako bi se postigao visoki nivo očuvanja i zaštite životne sredine. Zato pažnja i značaj koji se danas pridaje ležišta mrkog uglja sa najznačajnijim rezervama u Srbiji („Štavalj“ i „Soko“), mora se posmatrati i vrednovati kroz mere i ciljeve koji su sadržani u Direktivi IPPC, kao i primeni BAT tehnologije (Best Available Technique - Najbolja dostupna tehnika), poglavlje 4.

Rudnik „Štavalj“ ima najveći sirovinski potencijal od svih rudnika sa podzemnom eksploatacijom u Srbiji. Njegova današnja lokacija u centralnom eksploatacionom polju, predstavlja relativno mali deo ležišta u odnosu na ceo sjeničko-štavaljski ugljkonosni basen. Sa stanovišta sirovinske baze od 189,7 mil.t uglja, očigledno je da rudnik „Štavalj“ može biti ne samo nosilac sopstvenog razvoja, već podzemne eksploatacije uglja u Srbiji. Da bi se to i ostvarilo, moraju međutim biti ispunjeni i proizvodno-tehnički i organizaciono-ekonomski uslovi i to na približnom nivou sirovinske osnove, što očigledno u ovom momentu nisu.

Rudnik „Soko“ ima takođe veliki privredni značaj, a njegov budući razvoj i perspektiva se ogleda u utvrđenim bilansnim rezervama uglja od 54,2 mil.t, i potencijalnim rezervama C₂ kategorije od 135,8 mil.t. Nakon okončanja eksploatacije uglja u „zapadnom polju“ i „Biljkina Struga“, planirano je preseljenje otkopa u „istočno polje“ i to sa masovnom proizvodnjom primenom širokočeone metode (slika 291.).



Slika 291. Savremena širokočeona metoda otkopa uglja se očekuje u istočnom polju rudnika „Soko“

Za uspešnu realizaciju ovako krupnih privrednih poduhvata, pored sveobuhvatnog sagledavanja ekonomske opravdanosti otvaranja, moraju se uvažavati i stroga ekološka ograničenja. U dosadašnjoj praksi u Srbiji, pokazalo se da pogrešne procene i zanemarivanje uticaja pojedinih faktora, kao i ne blagovremeno preduzimanje

preventivnih mera i izbora najpovoljnijih tehničkih rešenja prema tehničkim, ekonomskim i ekološkim kriterijumima tokom studijskih istraživanja i projektovanja, može u fazi eksploatacije ležišta izazvati znatne ekonomske posledice. U tom smislu, smatra se izuzetno značajnim da dalji razvoj ugljarske privrede u Srbiji, a time i podzemne eksploatacije i prerade uglja, treba sagledavati od faze istraživanja, projektovanja, eksploatacije, do faze konzerviranja ležišta nakon završetka njegove eksploatacije, kroz stroge kriterijume održivog razvoja (Stojanović 1996). Dakle, potrebno je obezbediti razvoj koji će zadovoljiti potrebe sadašnjice, ali u skladu sa potrebama zaštite i unapređenja životne sredine, kako ne bi bilo dovedeno u pitanje potrebe budućih generacija (Direktiva IPPC).

Dalje unapređenje ugljarske privrede u Srbiji i pokretanje masivnije proizvodnje, treba zato sa aspekta zaštite životne sredine, posmatrati kroz primenu:

- savremenih metoda otkopa uglja;
- savremenih tehnoloških metoda prerade uglja i korišćenja jalovine;
- standardizacija u rudarstvu sa aspekta zaštite životne sredine.

Metod otkopavanja ležišta je svakako jako važan činilac u zaštiti životne sredine. Težnja je primena onih metoda eksploatacije, koje omogućavaju maksimalni otkop uglja (slika 291.), a da se pri tome minimalno degradira površina terena ili da do toga i ne dođe.

Pri podzemnoj eksploataciji uglja, posebno se nameće pitanje sa deponovanjem rudne jalovine, jer njome ne samo da se menja morfologija površine terena, već se postavlja pitanje i sa uticajem na životnu sredinu. Težnja je dakle da rudne jalovine bude što manje na površini terena, pa su zato počele da se razvijaju takve metode, koje će omogućiti zasipanje otkopanog prostora i to materijalom koji čini rudnu jalovinu, separacijsku jalovinu, pepeo i šljaka iz termoekeltrana ili neki drugi materijali.

U rudnicima kamenog uglja u Poljskoj, upotrebom jalovine za hidrozasipanje, rešava se problem njenog skladištenja na površini terena, a time i mnoga pitanja vezana za raštitu životne sredine (Pejčinović i Urošević 1996).

Ipak, ova metoda otkopavanja, iziskuje visoke troškopve pri zasipanju, pa se one mogu primeniti samo kod eksploatacije velikih ležišta, kao što se u budućnosti očekuje u ležištu uglja „Štavalj“.

Primena *savremenih tehnoloških metoda prerade uglja i korišćenja jalovine*, predstavlja takođe jako važno pitanje sa aspekta zaštite životne sredine.

Savremen pristup rešavanja problema otpadnih voda i suspendovanog mulja iz separacija uglja sa mokrim postupkom, zasniva se na kontinualnom čišćenju, odnosno na vraćanju tečne faze u ponovni separacijski ciklus („zatvoreni ciklus“) i dobijanju isfiltriranog mulja u vidu „keka“, koji je pogodan za transport i deponovanje na separacijsko jalovište. Osnove ovog sistema se zasnivaju na dve tehnološke operacije: zgušnjavanje i filtriranje. Retki su slučajevi da se otpadne vode mokris separacija uglja, mogu filtrirati bez predhodnog zgušnjavanja.

Za razliku od konvencionalnih zgušnjavača, nove tehnologije danas nude posebnu vrstu cilindričnih zgušnjivača, takozvani *visoko kapacitativni zgušnjivači* (Lazić i Deušić 2011). Prednosti ove tehnologije se u: većem kapacitetu rada, manjoj dimenziji (gabaritu) od klasičnih zgušnjivača, boljoj kontroli procesa, postizanju dovoljne gustini peska koja se može održavati dodavanjem flokulanata, obezbeđenju čistog preliva u smislu da se najfinije čestice ne iznesu sa fluidom, nižim troškovima nabavke ove tehnike, mogućnost ugradnje u zatvorenom prostoru obzirom na manje gabarite, manja osetljivost na klimatske promene i dr.

Obzirom na visoki sadržaj najfinijih glinovitih čestica u otpadnim vodama, njihovo filtriranje predstavlja takođe jedan od zahtevnijih procesa. Problem sa emisijom suspendovanih čestica iz otpadnih separacijskih voda, danas je veoma izražen problem u Srbiji. Zato se na ovom mestu posebno ističu *filter prese* savremene tehnologije zasnovane na visokom pritisku, koje su posebno efikasne kod filtriranja mulja koji nastaje tokom separacije uglja (slika 292.).

Eko HP i UHP domeni filter presa proizvođača Astec Tongiani iz Italije, projektovani su za filtriranje izuzetno muljevutih supstrata, posebno u veoma teškim rudarskim uslovima. Sa radnim pritiscima i do 60 bara (za razliku od klasičnih presa sa 10-15 bara), filter presa je posebno pogodna za filtriranje muljeva i fluida čiji veći deo čine jako sitne čestice veličine 2-10 μm . Sa kapacitetom rada i do 250 t/h, njena primena na pogonima sa podzemnom eksploatacijom uglja, bila bi jako primenljiva i to kako za filtriranje otpadne separacijske vode, tako i za rudničke vode koje se ispumpavaju iz jame.



Slika 292. Filter presa visokog pritiska (ASTEC TONGIANI, Italija)

Tečna faza koja se dobije nakon ovakvog načina fitriranja rudničkih voda, može se koristiti kao dopuna tečnosti u procesu separacije uglja. Na taj način, zaštita recipijenata od uticaja rudarskih pogona uglja, bila bi podignuta na značajni nivo. Korišćenje rudničke vode za potrebe rada separacijskog postrojenja, trenutno se vrši na pogonu rudnika „Vrška Čuka“ i „Bogovina“. Za tu svrhu se koriste rudničke vode iz napuštenog rudarskog okna i to u prvom slučaju je to okno „Avramica“, a u drugom „okno 10“.

U cilju postizanja što većih ušteta i što manjeg deponovanja jalovine uglja na površinu terena, veliki značaj se pridaje danas i što širem korišćenju ili preradi jalovine u različite svrhe. Kao primer se može navesti poljski rudnici, gde se jalovina masovno koristi u građevinske svrhe.

U našoj praksi, postojala je zainteresovanost za glinom iz rudnika uglja „Bogovina“, obzirom na izražena svojstva bubrenja, ali ovi planovi u dosadašnjem periodu nisu realizovani, kao ni mogućnost korišćenja laporca iz jalovine rudnika uglja „Štavalj“, obzirom da ih karakteriše visoki sadržaj kalcijum-karbonata.

U „ibarskim rudnicima“ kamenog uglja, usled oksidacionih procesa koji su zahvatili jalovinu na separacijskoj deponiji, došlo je do formiranja novog materijala, odnosno rudničke šljake, crvenkasto-smeđe boje. Planovi njenog korišćenja, postoje za potrebe održavanja putne infrastrukture, kao i za izradu građevinskih blokova.

Značaj ovog pristupa, ne shvata se često dovoljno ozbiljno u našoj sredini i ako se u svetu racionalnom iskorišćenju prirodnih resursa ili primena takozvanih bezotpadnih tehnologija, pridaje velika pažnja. Korišćenje

tehnogenih mineralnih sirovina, ima dakle ekonomski značaj, jer ne samo da se smanjuju troškovi za njihovo skladištenje, već se time smanjuje i uticaj na životnu sredinu (Vels 2008).

Standardizacija u rudarstvu sa aspekta zaštite životne sredine, podrazumevalo bi propisivanje odgovarajućih zahteva za postupke i rad u rudnicima, kroz tehničke normative i standarde u oblasti ekološkog upravljanja (Ćukalović i dr. 1996).

Ekološko upravljanje obuhvata postupke u okviru celokupne funkcije upravljanja, kojima se razvijaju, uvode, postižu i održavaju, ekološki ciljevi nekog rudnika. Ekološko upravljanje, kako je to propisano standardima, nije dakle upravljanje životnom sredinom, već je to upravljanjem organizovanim aktivnostima u rudniku, radi smanjenja negativnog uticaja na životnu sredinu (Pešić i dr. 2009).

Postizanje ispravnog ekološkog učinka, zahteva od rudnika da prihvati obavezu da sistematski pristupi uvođenju sistema ekološkog upravljanja (SEM) i njegovom kontinualnom poboljšanju.

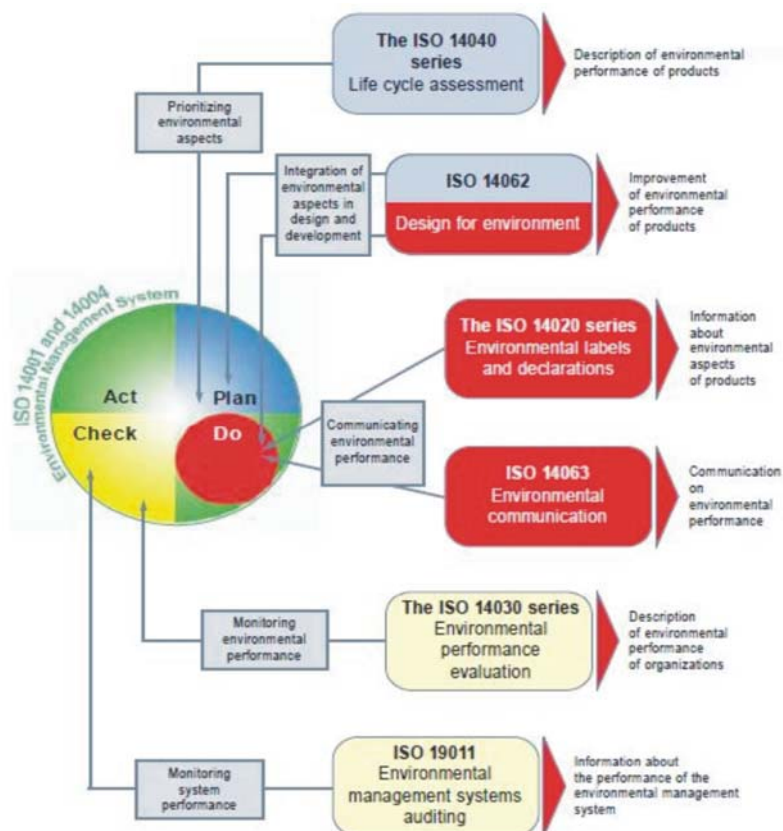
Osnovni razlozi koji ukazuju na potrebu za uvođenjem sistema zaštite životne sredine ISO 14001 u rudnicima uglja, prvenstveno su:

- konstantno zagađivanje životne sredine;
- mogućnost od potpunog iscrpljenja prirodnih resursa;
- nedostatak organizovanog i sistematskog praćenja posledica zagađenja koje postoji;
- opšte podizanje ekološke svesti kod mnjenja i potrebi za očuvanjem životne sredine;
- zakonska rešenja;
- posebni uslovi rada u ugroženim oblastima.

Sistemi upravljanja zaštitom životne sredine ISO 14001:2004 (Pešić i Janković 2008), predstavlja upravljački akt, koji omogućava upravi rudnika da:

- identifikuje i kontroliše uticaj svojih aktivnosti (jamski otkop uglja i prerađivački kompleks uglja) na životnu sredinu;
- poboljša odnos prema životnoj sredini;
- implementira sistematski pristup kojim će postizati ciljeve koji se odnose na zaštitu životne sredine i obezbedi dokaz da su postignuti postavljeni ciljevi.

Zato se smatra da je uvođenjem standarda iz serije ISO 14000 (slika 293.), jedna od veoma važnih pretpostavki za društvenu odgovornost u ostvarenju ciljeva održivog razvoja. Rudnici uglja sa podzemnom eksploatacijom u Srbiji, su u fazi uvođenja ISO standarda, što je od velikog nacionalnog značaja za buduće planove razvoja ugljarske privrede u Srbiji.



Slika 293. Šema ISO 14001 (www.eurompm.wikispaces.com)

6. ZAKLJUČAK

Podzemna eksploatacija kamenih i mrkih ugljeva u Srbiji, odvija se trenutno u 8 ugljonosnih basena u kojima rade 11 rudnika se podzemnom i 1 rudnik sa površinskom eksploatacijom. Zbog složene geološke građe ugljonosnih serija, u primeni je više metoda i specifičnih tehnoloških rešenja procesa podzemnog otkopavanja slojeva uglja.

Rezultati sprovedenih hidrogeoloških istraživanja ukazuju na slabu vodonosnost ugljonosne serije u resavsko-moravskom, krepoljinskom, sokobanjskom i lubničkom basenu. U rudarskim radovima, podzemne vode iz ugljonosne serije uslovljava prilive do 1,5 l/s.

Znatno vodonosnija ugljonosna serija se sreće u ibarskom i sjeničkom basenu, koja je izgrađena od vulkano-sedimentnih tvorevina i pritom je jače tektonski izrasedana. U području ležišta uglja rudnika „Jarando“, prilivi rudničkih voda iz pukotinske izdani ugljonosne serije, kreću se do 14 l/s (2001.-2012.). U plićim delovima ležišta („stara“ jama $Q_{pr\ max}=3,1$ l/s), utvrđeno je da se režim padavina direktno odražava na prilive i to je definisano izrazom $Q=0,0162 P+1,6386$.

U sjeničkom basenu, podzemne vode iz ugljonosne serije uslovljavaju prilive do 77 l/s (2003.-2011.). Primenom regresionog modela, odnosno modela višestruke linearne regresije je uspostavljena zavisnost između nezavisno promenljivih veličina (dnevne sume padavina, temperature i dnevnih priliva rudničkih voda):

$$Q_{priliv,i} = 6.319 + 0.9048 \cdot Q_{i-1} + 0.0087 \cdot P_{i-1} + 0.00156 \cdot P_{i-24} + \\ + 0.00175 \cdot P_{i-56} + 0.00527 \cdot P_{i-84} + 0.02648 \cdot T_{i-1}$$

Najznačajnije obeležje na ovodnjenost ležišta uglja u sokobanjskom, resavsko-moravskom i krepoljinskom ugljonosnom basenu daje karstna izdan koja je formirana u karbonatnom kompleksu mezozoika. U rudniku „Soko“ i „Strmostenu“ (resavsko-moravski basen), uslovljeni su prilivi do 30 l/s (2012-2013.), a u rudniku „Jasenovac“ (krepoljinski basen) do 10 l/s (2007-2012.).

Analizom veličine ukupnih priliva rudničkih voda u rudarske radove svih rudnika sa podzemnom eksploatacijom u periodu 2010-2012. god., utvrđeno je da se doticaji podzemnih voda iz karstnog akvifera različito manifestuju i da u strukturi ukupnih priliva nemaju uvek podjednaki udeo.

U periodima minimalnih priliva koji iznose zbirno za sve rudnike oko 115 l/s (2010-2012.), udeo od $\frac{2}{3}$ ili 79 l/s, čine podzemne vode iz akvifera sa pukotinskom i intergranularnom poroznošću. Preostalu $\frac{1}{3}$ ili 36 l/s čine podzemne vode iz karstnog akvifera.

Pri maksimalnim prilivima rudničkih voda koji se kreću do 217 l/s (2010-2012.), doticaji iz karstnog akvifera se uvećaju tri puta u odnosu na period minimalnih priliva, odnosno iznose 78 l/s, a iz nekarbonatnih stena je uvećanje 24 l/s. Dakle, pri maksimalnim prilivima, najizraženiji doticaji se javljaju iz karstnog akvifera i time predstavljaju najveću opasnost za rudarske radove, jer su obično nagli i obimni.

Za površinski kop kamenog uglja „Progorelica“ u ibarskom basenu, primenom metoda izohrona, definisana je maksimalna visina sloja oticaja od $h=34,5$ mm, a stogodišnji hidrogram površinskog oticaja iznosi $V= 6024,6$ m³.

Sprovedena hidrohemijska ispitivanja su pokazala postojanje dva tipa rudničkih voda po hemijskom sastavu i to: a) rudničke vode mineralizacije ispod $M<1000$ mg/L, koje se javljaju iz stena podine ili povlate ugljonosne serije i b) rudničke vode visoke mineralizacije iznad $M>1000$ mg/L, koje se javljaju iz ugljonosne serije sedimenata.

U podinskim i povlatnim stenama ugljonosne serije, podzemne vode su najčešće hidrokarbonatno-kalcijumskog tipa ($\text{HCO}_3\text{-Ca}$) i mineralizacije ispod $M<1000$ mg/L.

U ugljonosnoj seriji se odvijaju usporeni procesi vodozamenene i to dovodi do metamorfizacije hemijskog sastava podzemnih voda sa dubinom. Tako se formiraju: $\text{HCO}_3\text{-Na}$, $\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Na}$, $\text{SO}_4\text{-Na}$ ili Cl-Na tipa voda. Mineralizacija ovih voda je obično veća od $M>1000$ mg/L.

Najsloženiji hemijski sastav imaju rudničke vode rudnika „Lubnica“, koji je ujedno i najslabije odvodnjeni rudnik uglja u Srbiji. Mineralizacija rudničkih voda se kreće do 2560 mg/L i pripadaju hloridno natrijumskom tipu ($\text{Cl}=664,8$ mg/L, $\text{Na}=682,0$ mg/L, $\text{SO}_4=244,5$ mg/L).

Najveći sadržaj sulfata (SO_4) u rudničkim vodama je utvrđen u ležištu „Jarando“ od 654,5 mg/L, a natrijuma (Na) u ležištu „Soko“ od 828,07 mg/L.

Hidrohemijskim ispitivanjima u području ležišta uglja „Strmosten“, „Jelovac“ i „Soko, utvrđeno je takođe da duž kontakta krečnjaka sa ugljonosnom serijom, postoji hidrohemijska zonalnost podzemnih voda. U krečnjacima je izdvojena zona širine oko 60 m u kojoj se javljaju

malomineralizovane vode ($M < 1000$ mg/L), hidrokarbonatno-natrijumskog tipa ($\text{HCO}_3\text{-Na}$), što inače nije karakteristika za podzemne vode u karstnom akviferu. Ova zona karstne sredine je slabovodopropusna, sa usporenim procesom vodozamene i povoljno se odražava na ovodnjenost ležišta uglja.

U pogledu mikrokomponentnog hemijskog sastava, rezultati sprovedenih hidrohemijskih istraživanja su ukazali na relativno niske sadržaje teških metala u rudničkim vodama. Razlog leži u niskoj rastvorljivosti njihovih hidroksida i nestabilnosti hidrokarbonata, koji ih hidrolizuju. Ograničena pokretljivost mikroelemenata je posledica absorpcije glinovitim materijalima, koji ih izvlače iz vodenih rastvora uz pomoć mikroorganizama. Postoji manji broj mikroelemenata koji se ipak mogu spomenuti.

Prisustvo gvožđa (Fe) u rudničkim vodama predstavlja posledicu oksidacije sulfida gvožđa u uglju i ugljonosnim sedimentima, kao i drugih sulfida i sulfosola sa sadržajem gvožđa. Maksimalni sadržaji gvožđa su konstatovani u rudničkim vodama rudnika „Soko“ i to od 17,1 mg/L. Gvožđe u rudničkim vodama prate i manganova jedinjenja i to u obliku hidrokarbonata-mangana $\text{Mn}(\text{HCO}_3)_2$, a u dubljim delovima ležišta u obliku sulfata mangana. Maksimalni sadržaj mangana (Mn) je konstatovan u rudničkim vodama rudnika „Jarando“ (ibarski basen) od 0,28 mg/L.

Maksimalni sadržaji pojedinih mikroelemenata u rudničkim vodama su konstatovani u: rudniku „Bogovina“ (arsen $\text{As}=0,247$ mg/l), rudniku „Jelovac“ (olovo $\text{Pb}=0,0240$ mg/L), rudniku „Lubnica“ (stroncijum $\text{Sr}=5,01$ mg/L; litijum $\text{Li}=0,762$ mg/L), rudniku „Bogovina“ (aluminijum $\text{Al}=4,45$ mg/L).

Hidrogeoeološkim istraživanjima je potvrđeno da se eksploatacijom i preradom kamenih i mrkih ugljeva u Srbiji, vrši emisija efluenta iznad propisanih graničnih vrednosti emisije (GVE) i to prilikom ispuštanja rudničkih voda u recipijente, odlaganjem rudne i separacijske jalovine na jalovištu, ispuštanjem otpadnih voda i mulja iz separacijskih postrojenja i rudarskih objekata.

U tom smislu su razmatrana četiri karakteristična parametra koji ukazuju na stanje efluenta i to: *temperatura*, *pH*, *HPK* i *suspendovane materije*.

Realizovanim monitoringom u periodu 2011-2013. god., došlo se do saznanja da su se ispuštanjem rudničkih voda, vršile periodične emisije iznad GVE: temperature $T > 30^\circ\text{C}$ (rudnik „Bogovina“), $\text{HPK} > 50$ mgO₂/L (rudnik „Štavalj“, „Bogovina“), suspendovanih materija iznad 50 mg/L (rudnik

„Tadenje“, „Lubnica“, „Avramica“, „Štavalj“, „Bogovina“). Najznačajnija opterećenja u tom pogledu ima potok Knežnica, jer tokom letnjeg minimuma, kada su proticaji ispod 5 l/s, izliv otpadnih rudničkih voda iz rudnika „Štavalj“ iznose i do 77 l/s.

Prema parametrima koji određuju ekološki i hemijski status površinskih voda, kao i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda, rudničke vode koje se ispumpavaju iz rudnika „Lubnica“, „Avramica“, „Štavalj“, „Bogovina“, „Soko“, „Senjski Rudnik“ i „Jarando“, poseduju zagađujuće materije iznad graničnih vrednosti prema kriterijumima za II klasu, odnosno za dobar ekološki status površinskih voda. Sadržaji iznad GVE su konstatovani za: NH_4 , PO_4 , SO_4 , Fe, Mn, NO_3 , NO_2 , As, O₂, mineralizaciju i ukupne koliformne bakterije.

Emisiju zagađujućih materija vrše i zatvoreni rudnici uglja: „Ušće“, stara jama „Jarando“, „Podvis“, „Dobra Sreća“, „Resava“, „Sv.Đorđe“, „Rakita“, „Koznik“, „Vidlič“. Rudničke vode ovih rudnika, sadrže iznad GVE sledeće parametre: NH_4 , NO_3 , NO_2 , Fe, Mn, As, PO_4 , SO_4 , suspendovane materije, elektroprovodljivost i mineralizaciju.

Ova emisija rudničkim vodama je lokalnog karaktera, ali je vredna pažnje jer se vrši u vodotokove koji tokom letnjeg perioda imaju proticaje ispod 5 l/s a neki od njih čak i presuše.

Uticaji rada separacijskih postrojenja za preradu ugljeva, sagledavani su na primeru rudnika „Bogovina“ i „ibarskih rudnika“.

Rezultati ispitivanja suve mase mulja sa separacije uglja „Bogovina“, ukazuju da postoje prekoračenja referentnih vrednosti za: *gubitak žarenjem*, *ukupni organski ugljenik* (TOC), *ostatak isparenja* na 105°C, koncentracije *sulfata* (SO_4), i *izluživanje cinka* (Zn).

Na osnovu utvrđenih prekoračenja, analizirani mulj je prema važećoj zakonskoj regulativi, svrstan u kategoriju *neopasnog i neinertnog otpada*. Kao takav, može se odlagati na deponiju neopasnog otpada, uz uslov da se zbog lake samozapaljivosti, mora prekrivati slojem zemlje.

U području separacijskog postrojenja „ibarskih rudnika“ u Puskanji kod Baljevca, konstatovana je značajna kontaminacija zemljišta, obzirom da su utvrđena prekoračenja remedijacionih vrednosti za metale: *arsen* (As=88,1 mg/kg) i *nikl* (Ni=260,4 mg/kg). Ove vrednosti ukazuju da su osnovne funkcije

zemljišta ugrožene ili ozbiljno narušene i zahtevaju preduzimanje remedijacionih i sanacionih mera.

Kada je u pitanju ekološki status površinskih voda, uporedno posmatran status na uzvodnim i nizvodnim profilima od rudnika, sprovedena hidrogeoeколоška istraživanja su ukazala da najznačajniji uticaj na manje vodotokove imaju zatvoreni rudnici uglja. Tako je Vinski potok ugrožen od uticaja rudnika „Dobra Sreća“, Avramički potok od uticaja rudnika Sv.Đorđe i potok Koznik od rudnika „Jerma“.

Imisija sumpor-dioksida, čađi i ukupnih taložnih materija u vazduhu iznad graničnih vrednosti je konstatovana u Kneževcu i to radom rudnika „Štavalj“ i separacije uglja.

Uzevši u celini, eksploatacija i prerada kamenih i mrkih ugljeva u Srbiji, ima još uvek lokalni uticaj na životnu sredinu, bez obzira na nepažnju i loš odnos koji generalno postoji prema životnoj sredini. Svakako da veliki značaj u tome ima i relativno mala proizvodnja ove vrste uglja, koja danas ne podmiruje ni polovinu potreba u Srbiji. Kako se, ipak, u narednom periodu očekuje značajan razvoj ove delatnosti, podrazumeva se da će morati da se odvija uz primenu novih tehnoloških rešenja kako bi se postigao visok nivo očuvanja i zaštite životne sredine saglasno sa Direktivama Evropske Unije, koje su već u velikoj meri implementirane u nacionalno zakonodavstvo.

7. LITERATURA

Spisak publikovanih radova

1. Averyt K., Ficher J., Huber-Lee A., Lewis A., Macknick J., Madden N., Rogers J., Tellinghuisen S., 2011: „Freshwater Use by U.S. Power Plants; Electricity’s Thirst for a Precious Resource“. The Union of Concerned Scientists’ Energy and Water in a Warming World initiative.
2. Akter K., Naudij R., 2006: Arsenic speciation in the environment, In: Managing Arsenic in the Environment (Eds.Naidu, R., Smith, E., Owens, G., Bhattacharya, P., Nadebaum, P.), CSIRO Publishing, Australia, Collingwood.
3. Bokčić P., 1982: Neke značajne odlike ugljenih slojeva u ležištima uglja na teritoriji SR Srbije, X Kongres geologa Jugoslavije, Budva.
4. Bukumirović D., 2002: Prognosis for underground waters inflox in "Štavalj" mine halls, Mines Engineering 2/2002, Comimitee Of Underground Explotation Of The mineral deposits Resavica, RTB BOR cooper Institute Bor, Bor.
5. Cray D., 2010: Deep Underground, Miles of Hidden Wildfires Rage, Time Magazine, New York City.
6. Černousov P.M., 1962: Kurs obšcej geologii ugolnih mestoroždenij, Izd. AN SSSR, Moskva.
7. Čokorilo M., Ristić Vakanjac V., Stevanović Z., Polomčić D., 2011: Model for Defining the Catchment Area of Karst Springs – Case Study of Vapa Spring (South-West Serbia), XXV Conference of the Danube Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, Hungary, Budapest.
8. Čokorilo M., 2012: Simulacija dnevnih isticanja iz karstnog vrela Vape (Jugozapadna Srbija), Zbornik radova sa 14. srpskog simpozijuma o hidrogeologiji sa medjuanrodnim učešćem, Zlatibor.
9. Ćuzović M., Stajić D., Ostojić M., 2004: Od nezdravog kamena do crnog zlata, Posebno izdanje JPPEU – Resavica, Resavica.

10. Ćukalović S., Miljković M., Ćukalović P., 1996: Standardizacija u rudarstvu sa aspekta zaštite životne sredine, Problemi održanja životne sredine u rudarstvu Srbije, Jugoslovensko savetovanje Rudarstvo i zaštita životne sredine, RGF, Beograd.
11. Dimitrijević D., Nikolić P., 1980: Petrologija uglja i petrografija ugljeva Jugoslavije. - Savremena administracija, Beograd.
12. Dimitrijević N., 1988: Hidrohemija, Izdanje Rudarsko-geološkog fakulteta, Beograd.
13. Dimitrijević N., Papić P., 1989: Hidrohemija - metode hemijskih analiza prirodnih voda i hidrohemijska istraživanja, Izdanje Rudarsko-geološkog fakulteta, Beograd.
14. Dragišić V., Vujasinović S., Matić I., 1991: Rudničke vode i životna sredina, Zbornik radova sa Savetovanja na temu „Zaštita životne sredine u procesnoj industriji“, Dubrovnik.
15. Dragišić V., Papić P., Miladinović B., 1994: Hidrohemijske karakteristike ležišta mrkog uglja "Soko" Soko Banja, Zbornik referata X jugoslovenskog simpozijuma o hidrogeologiji i inženjerskoj geologiji, str. 51-54., Kikinda.
16. Dragišić V., Miladinović B., Milenić D., 1996: Hidrogeološki model ležišta mrkog uglja "Soko" kod Sokobanje, Drugo jugoslovensko savetovanje o rudničkoj geologiji, RGF-Beograd, Bor.
17. Dragišić V., 2005.: Hidrogeologija ležišta mineralnih sirovina, Izdanje Rudarsko-geološkog fakulteta, Beograd.
18. Đorđević Ž., 1965: Geologija ugljeva, Zavod za geološka i geofizička ispitivanja i savezni geološki zavod, knj.14, Beograd.
19. Đorđević T., 1994: Ibarski rudnici kamenog uglja 1924-1994., Posebno izdanje „Ibarskih rudnika kamenog uglja“, Baljevac.
20. Farmer I., 1985: Coal Mine structures, Chapman and Hall, London-New York.
21. Filipović B., Valjarević R., 1974: Hidrogeologija ležišta mineralnih sirovina, Univerzitet u Sarajevu, Sarajevo.
22. Environmental Protection Agency (EPA), 2013: Mercury, Basic Information, Washington.

23. Gagić D., Ilić M., Gagić Ž., 1996: Podzemna eksploatacija uglja i zaštita životne sredine, Jugoslovensko savetovanje Rudarstvo i zaštita životne sredine, RGF, Beograd.
24. Grmela A., Jelinek P., 1999: Mine waters and their changes related to mines closure in the Czech part of the upper Silesian coal basin, XXVIII Congress of International Association Hydrogeologists, Bratislava.
25. Groll S., Fuhr L., Löffelsend T., 2015: Kohlatlas, Izdanje Fondacije Heinrich Böll, Berlin.
26. Grubić A., Antonijević I., 1961: Nova shvatanja o tektonskom sklopu i.Srbije, Zbornik radova RGF-a, sv.8., Beograd.
27. Grubić A., 1967: Ridanjsko-krepoljinska zona u istočnoj Srbiji, Geološki anali Balkanskog poluostrva, knjiga XXXIII, Beograd.
28. Gržetić I., 1996: Degradacioni i korozioni procesi tokom eksploatacije ležišta i njihov uticaj na životnu sredinu, Jugoslovensko savetovanje Rudarstvo i zaštita životne sredine, RGF, Beograd.
29. Gupta R., Farmer I., 1983: Strata deformation and support performance at a longwall coal face, Proc. 5th Cong. Int. Soc. Rock Mechanics, Melbourne.
30. Ilić M., Nićetin S., 1971: Ležište kamenog uglja „Tadenje“, Zbornik radova Rudarsko-geološko-metalurškog fakulteta i Instituta za bakar, Bor.
31. Jevremović D., Dragišić V., Miladinović B., 1996: Uticaj eksploatacije čvrstih mineralnih sirovina na životnu sredinu, Jugoslovensko savetovanje "Rudarstvo i zaštita životne sredine", Centar za zaštitu životne sredine Rudarskog odseka RGF-a u Beogradu, Beograd.
32. Kokerić S., 2009: Razvoj modela degazacije metana u uslovima ležišta uglja rudnika „Soko“, Magistarska teza, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd.
33. Kravcov A., Trofimov A., 1977: Шахтная геология, Издательство „Высшая школа“, Moskva.
34. Krstović N., 2011: Priprema uglja u Srbiji, Monografija (Stanje i perspektive pripreme mineralnih sirovina u Srbiji), Inženjerska akademija u Srbiji, Beograd.
35. Krešić N., 2010: Modeling, chapter in Monograph "Groundwater Hydrology of Springs", Ed. Krešić N. and Stevanović Z., Elsevier.

36. Knežević D., Dražović D., Marković Z., Dimitrijević P., 1996: Flotacijska jalovišta - uticaj na okolinu i mere zaštite, Jugoslovensko savetovanje Rudarstvo i zaštita životne sredine, RGF, Beograd.
37. Lazić P., Deušić S., 2011: Tretman mulja iz Pernaby postrojenja u RiTE „Ugljevik“ - Republika Srpska, Podzemna eksploatacija 18, izdanje Rudarsko-geološkog fakulteta, Beograd.
38. Maksimović B., 1955: Prilog poznavanju stratigrafije i tektonike senjskog rudnika, Zapisnici SGD za 1955 god., Beograd.
39. Maksimović B., 1956: Geološki i tektonski odnosi ugljenog terena senjsko-resavskih rudnika i njegovog oboda, Geološki institut "J.Žujović", knj.6., Beograd.
40. Marković M., Pavlović R., Stanić N., 1996: Neotektonska aktivnost sjeničkog neogenog basena, Radovi Geoinstituta, knj.32, Beograd.
41. Miladinović B., 1995: Hidrogeološki uslovi ovodnjenosti ležišta uglja u senjsko-resavskom basenu, Magistarska teza, Fond RGF, Beograd.
42. Miladinović B., 1997: Prilog poznavanju vodoobilnosti urgonskih krečnjaka u području ležišta mrkog uglja "Strmosten" u istočnoj Srbiji, Zbornik radova RGF, sv.35-36 za 1996/97., Beograd.
43. Miladinović B., Dragišić V., 1998: Uslovi formiranja rudničkih voda u rudarskim radovima rudnika mrkog uglja "Vodno" u istočnoj Srbiji, Vesnik Geozavoda, knj.48., Beograd.
44. Miladinović B., Dragišić V., Papić P., Milenić D., 1999: Hydrochemical zonation of ground water in some coal deposits of eastern Serbia, XXIX congress of the international association of hydrogeologists, Bratislava.
45. Miladinović B., 2000: "Hidrogeologija REMBAS-a", Monografija - Izdanje Zadužbine Andejević, Biblioteka Academia, Beograd.
46. Miladinović B., 2003: Uticaj površinskih tokova na formiranje priliva rudničkih voda u jamu mrkog uglja "Strmosten" (Resavsko-moravski basen), Radovi Geoinstituta, knj.38., Beograd.
47. Miladinović B., 2004: Hidrohemijske osobine rudničkih voda "Senjskog rudnika" u istočnoj Srbiji, Radovi Geoinstituta, knj.39., Beograd.
48. Miladinović B., 2010: Rezultati simultanih hidrometrijskih merenja proticaja reke Resavice na karstu planinskog masiva Kučaja u istočnoj Srbiji, Zbornik radova 15-og kongresa geologa Srbije, Beograd.

49. Miladinović B., Ristić-Vakanjac V., Bukumirović D., Dragišić V., Vakanjac B., 2015: Simulation of mine water inflow: Case study of the Štavalj coal mine (southwestern Serbia), Polish academy of sciences, Archives of mining sciences, Vol.60, Issue 4, Krakow.
50. Milećević M., Milić V., Svrkota I., 2007: Zarušavanje krovinskih stena pri otkopavanju slojeva uglja – vrlo velike mogućnosti, Časopis Rudarski radovi, br.1/2007., Bor.
51. Milisavljević V., Čokorilo V., Zlatanović D., Milenković J., 2009: Potrošnja uglja u Srbiji i emisija CO₂ nastala njegovim sagorevanjem, Zbornik radova 14-og simpozijuma termičara Srbije, Soko Banja.
52. Mironenko V.A. i dr., 1976: Hidrogeološkičke isledovanija v gornom dele, "Nedra", Moskava.
53. Nikolić P., 1965: Metamorfizam gornjokrednih ugljeva istočne Srbije, Zbornik radova Rud.-metal. Fakulteta i Instituta za bakar, knj.III, Bor.
54. Novković M., 1969.: Novi podaci o ugljonosnosti i geološkoj građi sjeničkog basena, Vesnik Geozavoda, knj.27, serija A, Beograd.
55. Novković M., 1983.: Geološko-tektonske i ekonomske karakteristike ugljonosnih polja u sjeničkom neogenom basenu, Vesnik Geozavoda, knj.XLI, serija A, Beograd.
56. Ohlson K., 2011: Earth On Fire, Discover Magazine, Amerika - Waukesha.
57. Pantić N., Podgajni O., 1964: Hochmetamorphosierte Miozaene Kohle aus den Ibar Bergwerken (Jugoslawien), Cinqüième Congr.Intern. de Stratigr. Et de Géol. Du Carbonifère, Paris.
58. Pantić N., Nikolić P., 1973: Ugalj, Naučna knjiga, Beograd.
59. Pejčinović J., Urošević, D., 1996: Problemi održanja životne sredine u rudarstvu Srbije, Jugoslovensko savetovanje Rudarstvo i zaštita životne sredine, RGF, Beograd.
60. Petković K., Đokić V., Veselinović D., 1958: Ugljeni rudnik „Vrška Čuka“, Monografska studija, Posebna izdanja SANU – knj. CCCXVI. Odeljenje Prir. Mat. Nauka, knj. 23, Beograd.
61. Petrović M., 1963: Otvaranje, razrada i metode otkopavanja, Građevinska knjiga, Beograd.

62. Pešić V., Janković P., 2008: ISO 9001 and ISO 14000 for Small and Medium-Sized Enterprises, Savez poljoprivrednih inženjera i tehničara Srbije, Beograd.
63. Pešić V., Janković P., Vojvodić A., 2009: Standardi upravljanja životnom sredinom, 1st International Conference ecological safety in post-modern environment, RS-BIH, Banja Luka.
64. Plotnikov N.I., Roginec I.I., 1987: Gidrogeologi rudnih ležišta, Nedra, Moskava.
65. Prohaska S., Petković T., Ristić V., Ivanović J., 1994: Metodologija proračuna merodavnih hidrograma velikih voda u gravitacionom području površinskog kopa, Zbornik radova RGF-a, sv.32-33., Beograd.
66. Prohaska S., Dragišić V., Miladinović B., Marčetić I., Petković T., 1998: Proračun velikih voda u gravitacionim područjima dubokih površinskih kopova, 13 Kongres geologa Jugoslavije, knj.5, Budva.
67. Prohaska S., 2003: Hidrologija I, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd.
68. Prohaska S., 2006: Hydrology II, hydrological forecasting, modeling and practical application, Chapter 1, Correlation and Regression, University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology, Belgrade.
69. Prohorov S.P., 1962: Abvodnjenost i usloviya eksploataci mestoraždenij ugošnjih rajonov, Vsesajuznih Naučno-isledovateljskij institut, Moskva.
70. Pravilnik o utvrđivanju vodnih tela površinskih i podzemnih voda (Sl. glasnik RS, br: 96/2010.).
71. Pravilnik o kategorijama, ispitivanju i klasifikaciji otpada (Sl.glasnik RS br: 56/2010).
72. Pravilnik o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda (Sl.glasnik RS, br: 74/2011).
73. Ristić, V., 2007: Development of a simulation model for daily discharges from karst springs, PhD thesis, University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology, Serbia, Beograd.
74. Ristić Vakanjac V., Polomčić D., Blagojević B., Čokorilo M., Vakanjac B., 2012: Simulation of Karst Spring Daily Discharges, Conference on Water Observation and Information System for Decision Support - BALWOIS 2012, Ohrid.

75. Ristić Vakanjac V., Prohaska S., Polomčić D., Blagojević B., Vakanjac B., 2013: Karst aquifer average catchment area assessment through monthly water balance equation with limited meteorological data set: application to Grza spring in Eastern Serbia, Volume 42, number 1., Acta Carstologica.
76. Romm J., 2011: Life-cycle study "Accounting for total harm from coal would add 'close to 17.8¢/kWh of electricity generated" Climate Progress (www.thinkprogress.org/climate).
77. Rózkowski A., 1997: Impact of coal mining on quality and quantity of fresh groundwater in the Upper Silesian Coal Basin (Poland), 6th Intern. Mine Water Association Congress, Bled.
78. Rózkowski A., 1999: Regime of the usable groundwater in the Upper Silesian Coal Basin according to hydrogeological mapping, XXVIII Congress of International Association Hydrogeologists, Bratislava.
79. Samarina S.V., 1963: Formirovanije hemičeskovo sostava podzemnih vod, Lenjingrad.
80. Sirovatko M.V., 1960: Gidrogeologija i inženernaja geologija pri osnoeni i ugolnih mestorožnenij, Moskva.
81. Simić V., 1958: Razvoj ugljonokopa i ugljarske privrede u Srbiji , Izdanje SAN-u, knj.18., Beograd.
82. Simić V., 1960: Iz skorašnje prošlosti rudarstva u Srbiji, Zavod za geološka i geofizička istraživanja, knj.9., Beograd.
83. Soldić-Aleksić J., 2011: Primenjena analiza podataka: rad u programima za statističku analzu i tabelarna izračunavanja, Centar za izdavačku delatnost Ekonomskog fakulteta, str.1-390, Beograd.
84. Stanojlović R., Marković Z., Milanović D., Trumić G., 1996: Ekološka i ekonomska opravdanost valorizacije fine klase uglja iz starih taložnika i pseudosuspenzija procesa separacije rudnika uglja „Bogovina“, Jugoslovensko savetovanje Rudarstvo i zaštita životne sredine, RGF, Beograd.
85. Stojanović B., 1996: Programiranje integralne zaštite životne sredine u rudarstvu na osnovama održivog razvoja, Jugoslovensko savetovanje Rudarstvo i zaštita životne sredine, RGF, Beograd.

86. Sulin V.A., 1948: Uslovija obrazovanja i osnovi klasifikaci i sostav prirodni vod, AN SSSR, Moskva.
87. Sviták J., Trdlica L., Šajer J., 1998: Posouzení vlivu řízeného vypouštění důlních vod z vodní jámy Jeremenko na toky ostravici a Odru pro různé varianty, VÚV TGM Praha, No.0202/98, Ostrava.
88. Tabachnick G.B, Fidell S.L., 2007: Using Multivariate Statistic, 5th ed. Pearson Education, Inc. Boston.
89. Torbica S., 2011: Osnove metoda podzemnog otkopavanja, Rudarsko-geološki fakultet, Autorizovana skripta, Beograd.
90. Tomić V., 1991: Rezultati ispitivanja vodoprovodnosti ispucalih krečnjaka donje krede u istočnoj Srbiji, Geološki anali balkanskog poluostrva, Beograd.
91. Thien L., 2015: Geothermal Re-use of Coal Mining Infrastructures and Mine Water in Hard Coal Mining in the Ruhr Area/Gemany, World Geothermal Congress, Melbourne.
92. Vujasinović S., Matic I., 2009: Osnovi hidrogeoekologije, Izdanje Rudarsko-geološkog fakulteta, Beograd.
93. Uredba o programu sistematskog praćenja kvaliteta zemljišta, indikatorima za ocenu rizika od degradacije zemljišta i metodologiji za izradu remedijacionih programa (Sl.glasnik RS, br: 88/2010).
94. Uredba o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vode i rokova za njihovo dostizanje (Sl.glasnik RS, br: 67/2011).
95. Uredba o graničnim vrednostima zagađujućih materija u površinskim i podzemnim vodama i sedimentima i rokovima za njihovo dostizanje (Sl.glasnik RS br: 50/2012.).
96. Yu C., Qiantao C., Zhong-Xian G., Zhaoguang Y., Soo B.K., 2003: Inductively coupled plasma mass spectrometry study of the retention behavior of arsenic species on various solid phase extraction cartridges and its application in arsenic speciation, Spectrochimica Acta Part B 58, 1335-1349.
97. Yushi M., Sheng H., Yang F., 2008: The True Cost of Coal, China.
98. Zeremski M., 1965: Hidrografske osobine sjeničke kotline, Zbornik radova Geografskog instituta „Jovan Cvijić“, kn.20., Beograd.

99. Zeremski M., 1969: Sjenička kotlina geomorfološka studija, st., 1-220., Rukopis, Beograd.
100. Žemčužnikov J.A., 1948: Opšćaja geologija iskapaemih ugljei, Ugljetehizdat., Moskva.
101. Žemčužnikov J.A., 1955: Ugljenosnije tolšči kak formaciji, Izd. AN SSSR, Ser.geol.No5, Moskva.
102. Žemčužnikov J.A., Ginzburg I.I., 1960: Osnovi petrologii ugljei, Izd. AN SSSR, Moskva.
103. Živadinović Lj., Radonjić S., Djurić V., Milivojević J., Nikolić I., 2013: Bilten - Energetski bilansi 2012, br.568, Republički zavod za statistiku, Beograd.
104. <http://www.iso.ch> -(stranice o ISO 9000 i ISO 14000 i Brošura o principima menadžmenta kvalitetom).

Spisak fondovske dokumentacije

1. Aksentijević Ž., 1988: Elaborat o klasifikaciji kategorizaciji i proračunu rezervi mrkog uglja ležišta „Đulska Sinklinala“, Fond stručne dokumentacije JPPEU – Resavica, Resavica.
2. Andrejić M., 1991: Knjiga odvodnjavanja-„Senjski Rudnik“, Fond stručne dokumentacije geološke službe rudnika Rembas, Resavica.
3. Andrejić M., 1992: Elaborat o klasifikaciji kategorizaciji i proračunu rezervi mrkog uglja ležišta „Jelovac“, Fond stručne dokumentacije JP PEU – Resavica, Resavica.
4. Andrejić M., 1993: Elaborat o klasifikaciji, kategorizaciji i proračunu rezervi mrkog uglja ležišta "Strmosten", Fond stručne dokumentacije JPPEU – Resavica, Resavica.
5. Avramelović Z., 2012: Knjiga odvodnjavanja-„Bogovina“, Fond stručne dokumentacije rudnika „Bogovina“, Bogovina.
6. Bačić-Vlahović S., 2006: Knjiga odvodnjavanja-„Jelovac“, Fond stručne dokumentacije geološke službe rudnika Rembas, Resavica.
7. Bačić-Vlahović S., 2007: Knjiga odvodnjavanja rudnika „Jasenovac“, Fond stručne dokumentacije rudnika „Jasenovac“, Krepoljin.

8. Bačić-Vlahović S., 2008: Knjiga rezervi uglja rudnika (sa stanjem 31.XII.2007.), Fond stručne dokumentacije JPPEU - Resavica, Resavica.
9. Bačić-Vlahović S., 2011: Knjiga rezervi uglja rudnika JPPEU (sa stanjem 31.XII.20010.), Fond stručne dokumentacije JPPEU - Resavica, Resavica.
10. Bralić J., 1976: Uzroci pojave izboja gasa i stenskog materijala sa predlogom mera zaštite na radu pri eksploataciji uglja u rudniku „Soko“, Geomehantičke karakteristike sredine, Knjiga II - Rudarski institut - Beograd.
11. Bukumirović D., 2003: Sirovinska baza i perspektive razvoja rudnika uglja „Štavalj“ - Sjenica, Fond stručne dokumentacije rudnika „Štavalj“, Sjenica.
12. Cvetičanin R., Blečić N., Grubić A., Ranković S. i dr. 1992: Kompleksna montan-geološka studija Resavsko-Moravskog ugljonosnog basena, Izveštaj za 1988, 1989, 1990 i 1991., Fond stručne dokumentacije Rudarsko-geološkog fakulteta, Univerziteta u Beogradu, Beograd.
13. Dragišić V., Miladinović B., 1993: Idejni projekat zaštite radova eksploatacije u zapadnom polju jame „Soko“, knjiga 1., Elaborat o hidrogeološkim istraživanjima zapadnog polja jame „Soko“, Fond stručne dokumentacije RGF-a, Beograd.
14. Dragišić V., Živanović V., Tadić D., 2008: Elaborat o izvedenim hidrogeološkim istraživanjima u severnom krilu zapadnog polja jame rudnika „Soko“ u cilju zaštite radova eksploatacije od podzemnih voda, Fond stručne dokumentacije Departmana za hidrogeologiju RGF, Beograd.
15. Dragišić V., Živanović V., Tadić D., 2009: Elaborat o rezultatima istraživanja uticaja otpadnih rudničkih voda istočne Srbije na životnu sredinu, Fond stručne dokumentacije Departmana za hidrogeologiju RGF, Beograd.
16. Đalović P., 1984: Hidrogeološka istraživanja ležišta Vodno-Jelovac u predelu Belog Brda (TH-8), Fond Geološkog zavoda Srbije, Beograd.
17. Đalović P., 1985: Hidrogeološka istraživanja užeg područja ležišta kamenog uglja „Jarando“ - ovodnjenost ležišta u uslovima podzemne eksploatacije, fond Geološkog zavoda Srbije, Beograd.

18. Đalović P., Keranović M., 1986: Hidrogeološka istraživanja ovodnjenosti basena „Tadenje-Progorelica“ - jamska eksploatacija, Fond Geološkog zavoda Srbije, Beograd.
19. Đalović P., 1986: Hidrogeološka istraživanja ovodnjenosti ležišta istočnog polja-Sjenica, Fond str. dok. Geološkog zavoda Srbije, Beograd.
20. Đalović P., 1994: Izveštaj o ovodnjenosti ležišta kamenog uglja „Jarando“ do kote ± 0 (jamska eksploatacija), Fond Geološkog zavoda Srbije, Beograd.
21. Đoković I., Marović M., Toljić M., 2003: Elaborat o izradi strukturno-tektonske karte ugljonosnog basena „Vrška Čuka“, Fond rudnika „Vrška Čuka“, Avramica.
22. Ercegovac M., 1998: Genetsko-industrijska klasifikacija mrkih ugljeva Srbije. - Fond Rudarsko-geološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu, Beograd.
23. Filipović B., Dimitrijević N., Milenković A., 1975: Hidrogeološka studija ležišta uglja „Bogovina“, Fond stručne dokumentacije RGF, Beograd.
24. Filipović B., Dragišić V., 1984: Hidrogeološka studija ležišta uglja „Soko“ (I faza), Fond Departmana za hidrogeologiju RGF-a, Beograd.
25. Filipović B., Stevanović Z., Hajdin B., 1988: Hidrogeološka studija istočnog dela bogovinskog ugljonosnog basena (u fazi otvaranja ležišta uglja), Rukopis, Fond stručne dokumentacije RGF, Beograd.
26. Glišić S., 2006: Elaborat o rezervama uglja u ležištu „Strmosten“, Fond Geološkog zavoda Srbije, Beograd.
27. Glišić S., 2006: Elaborat o rezervama uglja u ležištu „Jelovac“, Fond Geološkog zavoda Srbije, Beograd.
28. Grubić A., i dr., 1988: Studija geoloških, fotogeoloških i neotektonskih osobina resavsko-moravskog ugljonosnog basena sa izradom neotektonske, fotogeološke i inovirane i reambulirane geološke karte 1:25000, Fond stručne dokumentacije rudnika „Rembas“, Resavica.
29. Janić M., 2005: Elaborat o rezervama kamenog uglja ležišta „Jarando“, Fond stručne dokumentacije „ibarskih rudnika“, Baljevac.
30. Janić M., 2005: Elaborat o rezervama kamenog uglja ležišta „Tadenje“, Fond stručne dokumentacije „ibarskih rudnika“, Baljevac.

31. Janić M., 2005: Elaborat o rezervama kamenog uglja ležišta "Progorelica", Fond stručne dokumentacije „ibarskih rudnika“, Baljevac.
32. Joković D., 2004: Knjiga odvodnjavanja-rudnik „Soko“, Fond stručne dokumentacije rudnika „Soko“, Soko Banja.
33. Joković D., Rajković I., 2006: Interpretacija pojave podzemne vode u rudarsku prostoriju ETH-12, Fond stručne dokumentacije rudnika „Soko“, Soko Banja.
34. Jovanović D., 2012: Knjiga odvodnjavanja-rudnik „Jasenovac“, Fond stručne dokumentacije rudnika „Jasenovac“, Krepoljin.
35. Keranović M., 1992: Hidrogeološka studija odvodnjavanja ležišta uglja „Mala Čuka“ rudnika antracita „Vrška Čuka“ Avramica, Fond Geološkog zavoda Srbije, Beograd.
36. Kolektiv autora 1991: Sagledavanje mogućnosti dalje proizvodnje iz rudnika uglja sa podzemnom eksploatacijom u SR Srbiji, Ugaljprojekt i Rudarski institut, Beograd.
37. Kolektiv autora 1993: Program prestrukturiranja rudnika sa podzemnom eksploatacijom uglja u Srbiji (International Economic Energy Consultans Limited- I.E.E.C. iz Velike Britanije i Ekonomski institut, Beograd.
38. Kokerić S., 2014: Knjiga odvodnjavanja-rudnik „Soko“, Fond stručne dokumentacije rudnika „Soko“, Soko Banja.
39. Lojanica V., 2005: Elaborat o rezervama uglja za „Centralno polje“ rudnika „Štavalj“, Fond JP PEU Resavica, Biro za projektovanje i razvoj, Beograd.
40. Lojanica V., 2009: Elaborat o rezervama uglja za „Centralno polje“ rudnika „Štavalj“, Fond JP PEU Resavica, Biro za projektovanje i razvoj, Beograd.
41. Loos M., 2004: Studija o mogućnosti iskorišćenja metana iz ležišta rudnika uglja „Soko“ Srbija, Fond stručne dokumentacije RMU „Soko“, Soko Banja.
42. Lončarević Č., 1963: Elaborat o istraživanjima ugljonosnosti na terenu „Vrška Čuka“ od 1956-1963., Fond RA „Vrška Čuka“, Avramica.
43. Luković S., 1970: Hidrogeološke odlike terena Pešter-Golija, Fond SGZ, Beograd.

44. Miladinović B., Mihajlović D., 2006: Elaborat o izvedenim hidrogeološkim istraživanjima podzemnih voda u klisuri Resavice za potrebe vodosnabdevanja naselja Resavica, Fond stručne dokumentacije Geološkog zavoda Srbije, Beograd.
45. Milenković J., Ramović I., 2004: Elaborat o rezervama uglja rudnika "Bogovina", JP PEU Resavica, Biro za projektovanje i razvoj, Beograd.
46. Milenković J., 2005: Elaborat o klasifikaciji, kategorizaciji i proračunu rezervi mrkog uglja u ležištu „Centralno polje“ rudnika „Jasenovac“, sa stanjem na dan 30. 6. 2004. – JP PEU RESAVICA – Biro za projektovanje i prestrukturiranje rudnika, Beograd.
47. Nastić V., 1981: Izveštaj o rezultatima hidrogeoloških istražnih radova na vrelu Moravice, Fond stručne dokumentacije Instituta za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd.
48. Olbina Ž., Zelić N., 2013: Javno preduzeće za podzemnu eksploataciju uglja „Resavica“-Resavica u restrukturiranju (profil preduzeća), Izdanje Factis d.o.o. Beograd, Fondovska dokumentacija JPPEU, Resavica.
49. Pantić N., 1961: O starosti ugljonosne sedimentne serije Jarandola (doline Ibra) na osnovu novih paleoflorističkih podataka, Zavod za geološka i geofizčka istraživanja, Beograd.
50. Petrović B., 1984: Strukturološka i geološka istraživanja rudnog ležišta uglja "Soko", Fond stručne dokumentacije RGF-a, Beograd.
51. Petrović B. i dr., 1988: Strukturološka studija rudnog ležišta uglja „Soko“ Sokobanja, Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu, OOUR Grupa za regionalnu geologiju i paleontologiju, Beograd.
52. Petrović M., 2008: Elaborat o rezervama uglja ležišta "Senjski Rudnik" sa stanjem na dan 31.12.2007., JP PEU Resavica u restrukturiranju, Biro za projektovanje i razvoj, Beograd.
53. Petrović M., 2009: Elaborat o rezervama uglja ležišta "Lubnica", JP PEU Resavica u restrukturiranju, Biro za projektovanje i razvoj, Beograd.
54. Petrović M., Ratković D., 2010: Elaborat o rezervama uglja ležišta "centralno polje" RMU "Jasenovac", JP PEU Resavica u restrukturiranju, Biro za projektovanje i razvoj, Beograd.

55. Petrović M., 2011: Elaborat o rezervama uglja ležišta "Soko" RMU "Soko", JP PEU Resavica u restruktuiranju, Biro za projektovanje i razvoj, Beograd.
56. Petković S., 1980: Opšte geološko-tektonske i hidrogeološke karakteristike ležišta Lipov deo - Senjski Rudnik, Fond stručne dokumentacije "Rembas"-a, Resavica.
57. Prohaska S., 1993: Idejni projekat zaštite radova eksploatacije u zapadnom polju jame „Soko“, knj.2., hidrološko-hidraulička studija, Fond RGF, Beograd.
58. Radošević I., 1966: Petrografski sastav i kvalitetne osobine uglja sjeničkog basena, Fond Zavoda za geološka i geofizička istraživanja, Beograd.
59. Ranković A., 1990: Geologija severnog dela resavsko-moravskog ugljenog basena, Magistarska teza, Fond RGF-a, Beograd.
60. Ratković D., 2011: Elaborat o rezervama uglja ležišta „Bogovina“-RMU „Bogovina“ - Bogovina (stanje na dan 31.12.2010.), JP PEU Resavica u restruktuiranju, Biro za projektovanje i razvoj, Beograd.
61. Stakić B., 2006: Elaborat o rezervama uglja ležišta "Mala Čuka" sa stanjem na dan 31.12.2005. - JP PEU Resavica - Rudnik antracita „Vrška Čuka“-Avramica, Avramica.
62. Šćepanović Z., 2012: Knjiga odvodnjavanja-„Jelovac“, Fond stručne dokumentacije geološke službe rudnika Rembas, Resavica.
63. Vels B., 2008: Environmental and Techno-economic Assesment of PEU Resavica, Fond stručne dokumentacije JP PEU Resavica, Resavica.
64. Vuković A., 1976: Hidrogeološka studija resavsko-moravskih ugljenih basena, Fond stručne dokumentacije JP PEU „Resavica“, Resavica.
65. Vuković A., 1982: Hidrogeološka istraživanja sjeničkog ugljonosnog basena - istočno i zapadno polje, Fond stručne dokumentacije, Geološkog zavoda Srbije, Beograd.
66. Vulović D., 1988: Izveštaj o istraživanju uglja u sjeničkom basenu tokom 1986 godine, Fond stručne dok. Geološkog zavoda Srbije, Beograd.

BIOGRAFIJA AUTORA

Branko R. Miladinović je rođen 30. oktobra 1962. godine u Paraćinu, gde je završio osnovnu školu. Srednju geološku školu je završio u Beogradu. Na Rudarsko-geološkom fakultetu, Univerziteta u Beogradu, diplomirao je 1989. godine, na smeru za hidrogeologiju.

Odmah po završetku redovnih studija 1989. godine, počeo je da radi kao stručni saradnik u Institutu za hidrogeologiju, Rudarsko-geološkog fakulteta u Beogradu. Magistarsku tezu pod nazivom „Hidrogeološki uslovi ovodnjenosti ležišta uglja u senjsko-resavskom basenu“, odbranio je 1996. godine na Rudarsko-geološkom fakultetu u Beogradu i izabran u naučno zvanje istraživač- saradnik.

Od 2001. godine, radnu aktivnost nastavlja u Naučno-istraživačkoj ustanovi Geoinstitut iz Beograda koja je 2006. godine, preimenovana najpre u Geološki institut Srbije, a potom u Geološki zavod Srbije.

U proteklom periodu stručnog i naučnog rada, učestvovao je u projektovanju i realizaciji brojnih hidrogeoloških istraživanja i naučno-istraživačkih projekata. Od najznačajnijih i najvećih državnih projekata u čijoj je realizaciji učestvovao, mogu se spomenuti Regionalni vodovodni sistem „Bogovina“, Idejni projekat otvaranja zapadnog polja rudnika uglja „Soko“, izrada Osnovne hidrogeološke karte Srbije, 1:100.000.

U periodu od 1990-1995. godine, učestvovao je u radu na naučnom projektu Ministarstva nauke „Vodni mineralni resursi litosfere Srbije“, koji je realizovan u Institutu za hidrogeologiju, Rudarsko-geološkog fakulteta u Beogradu, a u periodu 2002-2004. godine, na naučno-inovacionom projektu Ministarstva nauke i tehnologije „Geokološka istraživanja voda u Republici Srbiji“, koji je realizovan u Naučno-istraživačkoj ustanovi Geoinstitut u Beogradu.

U dosadašnjem periodu, publikovao je 53 stručna i naučna rada u zemlji i inostranstvu. Autor je jedne monografije „Hidrogeologija Rembasa“ u izdanju Zadužbine Andrejević, izdate 2000. godine.

Na jubilarnoj proslavi „100 godina Srpskog geološkog društva“ 1991. godine, nagrađen je iz Fonda „Miloš i Nikola Pavlović“, a na 27. Svetskom kongresu hidrogeologa (IAH) 1998. godine u Notingenu (Engleska), prvom nagradom za poster-prezentaciju rada.

Svoju aktivnost u struci, ispoljio je i u stručnim udruženjima. U dva mandata (1992-1996) obavljao je poslove sekretara Sekcije za hidrogeologiju Srpskog geološkog društva i u jednom mandatu funkciju člana uprave Srpskog geološkog društva. U periodu od 2004-2006. godine bio je član redakcionog odbora Nacionalnog geološkog časopisa „Radovi“ Geoinstituta.

Upravljačka i organizaciona iskustva, stekao je tokom rada u Geoinstitutu, gde je u periodu od 2003-2006. godine, biran na više funkcija, a najznačajniji je položaj tehničkog direktora Geoinstituta. Nakon transformacije Geoinstituta u Geološki institut Srbije, obavljao je poslove načelnika u periodu 2006-2007. godine.

Прилог 1.

Изјава о ауторству

Потписани-а _____ Бранко Р. Миладиновић _____

број дисијеа _____ 134 _____

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

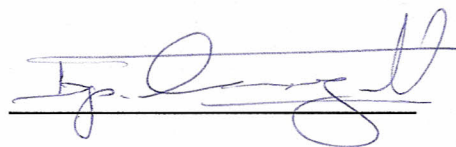
_____ Хидрогеоеколошки услови експлоатације _____

_____ камених и мрких угљева Србије _____

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

Потпис докторанда

У Београду, _____ 29.12.2015. _____



Прилог 2.

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора Бранко Р. Миладиновић

Број досијеа 134

Студијски програм хидрогеологија

Наслов рада Хидрогеоеколошки услови експлоатације

камених и мрких угљева Србије

Ментор Проф. др Иван Матић

Потписани/а Бранко Р. Миладиновић

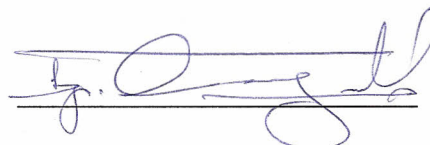
Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис докторанда

У Београду, 29.12.2015.



Прилог 3.

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

Хидрогеоеколошки услови експлоатације камених и мрких угљева Србије

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство
2. Ауторство - некомерцијално
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

У Београду, 29.12.2015.

Потпис докторанда

