

Карактеризација и управљање индустријским отпадом

Динко Кнежевић, Драгана Нишић, Рудолф Томанец, Драгана Ранђеловић



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Карактеризација и управљање индустријским отпадом | Динко Кнежевић, Драгана Нишић, Рудолф Томанец, Драгана Ранђеловић | | 2018 | |

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0006139>

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

КАРАКТЕРИЗАЦИЈА И УПРАВЉАЊЕ ИНДУСТРИЈСКИМ ОТПАДОМ



Динко Кнежевић • Драгана Нишић
Рудолф Томанец • Драгана Ранђеловић

**Универзитет у Београду
Рударско-геолошки факултет**

КАРАКТЕРИЗАЦИЈА И УПРАВЉАЊЕ ОТПАДОМ

**Динко Н. КНЕЖЕВИЋ
Драгана Д. НИШИЋ
Рудолф А. ТОМАНЕЦ
Драгана Д. РАНЂЕЛОВИЋ**

Београд, 2018.

КАРАКТЕРИЗАЦИЈА И УПРАВЉАЊЕ ИНДУСТРИЈСКИМ ОТПАДОМ

Аутори:

Проф. др **Динко Н. Кнежевић**, дипл. инг. руд.
Асист. **Драгана Д. Нишић**, мастер инг. руд.
Проф. др **Рудолф А. Томанец**, дипл. инг. геол.
Др **Драгана Д. Ранђеловић**, дипл. инг. шум.

Рецензенти:

Проф. др Никола Лилић
Проф. др Александар Цвјетић

Публиковање овог уџбеника одобрено је од стране наставно-научног већа Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду одлуком 8/172 од 21.12.2017.

Уредник:

Проф. др Марија Живковић

Издавач:

Универзитета у Београду - Рударско-геолошки факултет

За издавача:

Декан проф. др Душан Полоччић, дипл. инж. геол.

Графичка припрема:

Александра Томашевић, дипл. инж. руд.

Слике на корицама:

предња: Одлагалиште откривке на копу Велики Кривељ, поглед са флотацијског јаловишта, фото: Д. Кнежевић
задња: Складиште фосфогипса у изградњи, фото: Д. Кнежевић

Штампа: **DIS public, Београд**

Тираж: 300 примерака

ЦИП-Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

628.4(075.8)

ОДЛАГАЊЕ индустријског отпада / Динко Кнежевић ... [и др.] -
Београд : Рударско-геолошки факултет, 2014 (Београд : Dis
public). - XIV, 488 стр. : илустр. ; 25 cm

На врху насл. стр.: Универзитет у Београду. - Тираж 300. -
Библиографија: стр. 467-485 и уз свако поглавље. - Регистар.

ISBN 978-86-7352-303-3

1. Кнежевић, Динко, 1955- [аутор]

а) Депонија отпадних материја

COBISS.SR-ID 211566860

САДРЖАЈ

Предговор	vii
Значење скраћеница	ix
1. Увод	1
1.1. Дефиниција отпада	2
1.2. Врсте отпада	4
1.3. Пuteви контаминације окружења и главни полутанти	8
Литература	10
2. Административно дефинисање отпада	13
2.1. Ток процеса карактеризације	14
2.2. Дефинисање обима и врсте карактеризације у зависности од даљег третмана отпада	17
2.3. Регулатива о отпаду у Европској унији	19
2.4. Закони Републике Србије о отпаду	20
2.5. Категоризација и класификација отпада	21
2.5.1. Каталог отпада	21
2.5.2. Листе отпада	24
2.5.3. Листе отпада према Базелској конвенцији	35
Литература	39
3. Узорковање отпада	41
3.1. Опште о узорковању	42
3.2. Основни појмови у узорковању	43
3.3. Врсте узорака	44
3.4. Грешке	46
3.4.1. Грешке узорковања	46
3.4.2. Грешке закључивања	48
3.5. Мерна несигурност и оцене мерења	48
3.6. Технике узорковања	50
3.6.1. Једноставно случајно узорковање	51
3.6.2. Стратиграфско случајно узорковање	52
3.6.3. Систематско узорковање	52
3.6.4. Експертско узорковање	54
3.7. План узорковања	55
3.8. Контрола узорковања	57

3.8.1. Систем обезбеђења и контроле квалитета	57
3.8.2. Надзор спровођења процедура	59
3.9. Презервација и припрема узорака	60
3.10. Минимална количина и број узорка.....	66
3.10.1. Минимална количина узорака	67
3.10.2. Минималан број узорака.....	69
3.10.2.1. Чврст отпад.....	69
3.10.2.2. Течни отпад.....	71
3.10.2.3. Гасовити отпад.....	74
3.11. Правила узорковања отпада.....	74
3.12. Узорковање отпада са депонија индустријског отпада.....	75
3.12.1. Правила приликом узорковања отпада са депонија	76
3.12.2. Подлоге за узорковање отпада са депонија.....	78
3.13. Узорковање врућих тачака	79
3.14. Опрема за узорковање отпада	81
Литература.....	87
4. Физичке карактеристике отпада.....	91
4.1. Густина, релативна густина, запреминска и насипна густина.....	91
4.2. Хидрауличка збијеност.....	99
4.3. Гранулометријски састав.....	100
4.3.1. Одређивање гранулометријског састава просејавањем.....	101
4.3.2. Степен неравномерности и коефицијент закривљености.....	106
4.3.3. Сегрегација материјала по крупноћи.....	109
4.4. Угао насипања.....	111
4.5. Брзина таложења чврстог материјала у води	112
Литература.....	117
5. Геомеханичке карактеристике отпада	121
5.1. Врсте тала.....	123
5.2. Узорковање за геомеханичка испитивања.....	124
5.3. Порозност и коефицијент порозности.....	125
5.4. Влажност и сатурисаност.....	127
5.5. Збијеност и консолидација	132
5.5.1. Збијеност и релативна збијеност	132
5.5.2. Консолидација	133
5.6. Стишљивост	135
5.7. Водопропустљивост – коефицијент филтрације	137
5.8. Елементи унутрашњег отпора.....	141
5.9. Конзистенција	145
5.10. Границе конзистенције или атербергове границе.....	147
Литература.....	148
6. Хемијске карактеристике отпада	151
6.1. Узорковање за хемијске анализе.....	151
6.2. Хемијске методе истраживања	153

6.2.1. Стандардне аналитичке методе.....	154
6.2.2. Инструменталне методе истраживања.....	155
6.3. Обим испитивања.....	158
6.3.1. Хемијски састав отпада.....	158
6.3.2. Главни хемијски загађивачи.....	161
6.3.2.1. Тешки метали.....	161
6.3.2.2. Остали неоргански загађивачи.....	164
6.3.2.3. Органски загађивачи.....	164
6.3.3. Киселе дренажне воде.....	167
6.3.3.1. Настајање киселих дренажних вода.....	168
6.3.3.2. Киселински и неутрализациони потенцијал.....	169
6.3.3.3. Тестови излуживања.....	174
6.3.3.4. Излуживање из солидификованих и стабилованих матрикса...	177
Литература.....	178
7. Минералашке карактеристике отпада.....	181
7.1. Микроскопска испитивања.....	182
7.1.1. Минерални састав отпада, као потенцијалне техногене сировине.....	182
7.1.2. Узорци за минералашке анализе.....	182
7.1.3. Методе испитивања и опрема.....	183
7.2. Процеси који мењају минералашки састав и структуру депоноване јаловине.....	191
7.2.1. Хемијске промене.....	193
7.2.2. Асоцијације петрогених минерала на флотацијским јаловиштима.....	195
7.2.3. Асоцијације минерала у јаловини сулфидних руда.....	197
7.2.4. Одређивање структура минерала у отпадима минералног порекла.....	201
Литература.....	208
8. Биолошке и екотоксиколошке карактеристике отпада.....	211
8.1. Узорковање.....	212
8.2. Биолошка карактеризација индустријског отпада.....	214
8.2.1. Микроорганизми.....	215
8.2.2. Биљни свет.....	216
8.2.3. Животињски свет.....	219
8.3. Екотоксиколошка карактеризација индустријског отпада.....	220
8.3.1. Методе за тестирање елуата.....	222
8.3.2. Методе за третирање чврстог отпада.....	224
Литература.....	227
9. Термичке карактеристике отпада.....	229
9.1. Техничка анализа материја које горе.....	230
9.2. Елементарна анализа.....	233
9.3. Топлотна моћ.....	235
9.4. Топивост пепела.....	237
9.5. Самозапаљивост.....	239

9.5.1. Фактори које утичу на самозапаљење отпада	239
9.5.2. Детекција самозапаљења.....	245
Литература	247
10. Управљање отпадом	249
10.1. Кључни принципи управљања отпадом.....	250
10.1.1. Принцип одрживог развоја	251
10.1.2. Принцип хијерархије у управљању отпадом	254
10.1.3. Принцип предострожности	261
10.1.4. Принцип близине и регионалног приступа управљању отпадом	265
10.1.5. Принцип избора оптималне опције за животну средину	267
10.1.6. Принцип "загађивач плаћа"	268
10.1.7. Принцип одговорности.....	276
10.1.8. Принцип самодовољности.....	278
10.2. Опције управљања отпадом	279
10.3. План управљања отпадом	281
Литература.....	288
Литература.....	293
Списак и извори слика.....	311
Индекс појмова.....	321

ПРЕДГОВОР

Књига "*Карактеризација и управљање индустријским отпадом*" је уџбеник припремљен за студенте 5. семестра на студијском програму "Инжењерства заштите животне средине" на Рударско-геолошком факултету у Београду, који слушају курс "Карактеризација и управљање отпадом".

Ова књига се бави само чврстим индустријским отпадом, приоритетно отпадом минералног порекла, док комунални и кућни отпад оставља за курсеве који се баве третирањем тога отпада. Код управљања отпадом многи делови и принципи су слични, док је код карактеризације значајна разлика између индустријског и комуналног отпада.

Мултидисциплинарност код испитивања отпада условила је да га напишу чак 4 наставника, при чему је професор Рудолф Томанец написао поглавље о минералној (и делом геохемијској) карактеризацији рударског и отпада минералног порекла, а др Драгана Ранђеловић поглавље о биолошкој и екотоксиколошкој карактеризацији отпада. Пошто се ради о областима које су нашим студентима мање познате, на овај начин смо желели да им и те области приближимо. Ширењем знања на део минералних и биолошких истраживања нисмо се заносили да ће студенти, када прочитају овај текст, бити стручњаци за ту врсту испитивања, али смо желели да схвате да познавање отпада тражи рад више различитих струка и више експерата, верујући да ће то оваквим презентовањем лакше усвојити и касније, без икакве сујете и жеље за доминацијом, применити у свом практичном раду.

Обим књиге је прилагођен наставном плану и програму. Књига је сагласно важећим законима писана ћиричним писмом упркос многим проблемима при писању мерних јединица, хемијских формула и латинских назива биљака и животиња. Надамо се да нигде није промакла нека грешка, а још више се надамо да ће студенти препознати где су прелази из ћирилице у латиницу, те да ЕРА (латиница) неће бити Ужичанин (ЕРА - ћирилица), а РАН (латиница) неће бити превремен (РАН - ћирилица).

Захваљујемо се рецензентима, проф. др Николи Лилићу и проф. др Александру Цвјетићу на сугестијама и корисним примедбама. Александри Томашевић хвала на графичкој припреми.

Све корисне и добронамерне примедбе и сугестије ће се радо прихватити и убацити у друго издање ове књиге.

Београд, октобар 2017.

Аутори

ЗНАЧЕЊЕ СКРАЋЕНИЦА

ΔL.....	лака фракција
ΔT.....	тешка фракција
AAS.....	атомска апсорбциона спектрофотометрија
ADR.....	европски споразум о међународном транспорту опасних роба (Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route)
BSE.....	повратно расути електрони (детектор, анализа), (Backscattered Electron, Images)
CEN.....	европски комитет за стандардизацију (Comité Européen de Normalisation)
CMO.....	заједнички главни објектив (код стерео микроскопије) (common main objective)
CoC.....	надзор спровођења процедура (Chain of custody)
DIN.....	немачки завод за стандардизацију (Deutsches Institut für Normung)
DTA.....	диференцијална термална анализа
EC.....	Европска комисија (European Commission)
EDS.....	електронска дисперзиона спектроскопија (Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy, analyser)
EEC.....	Европска економска заједница (European Economic Community)
EN.....	европски стандард (European Norms)
EPA.....	агенција за заштиту животне средине (Environmental Protection Agency)
EPR.....	проширена одговорност произвођача (extended producer responsibility)
EPMA.....	електронска микросонда (Electron Probe Microanalysis)
FT.....	температура течења или разливања (fluid temperature)
FTIR.....	дисперзна инфрацрвена спектрофотометрија
GC.....	гасна хроматографија
HPLC.....	хроматографија високе моћи разлагања
HT.....	температура полулопте (hemispherical temperature)
INAA.....	инструментална неутронска активациона анализа
IPAS.....	анализатор слика (Image processing and Analysing system)

IR.....	инфрацрвена
ISO	међународна организација за стандардизацију (International Organization for Standardization)
IT	температура синтеровања (initial deformation temperature)
LD.....	летална доза
LL	граница течења (Liquid limit)
LSM	ласерска скенирајућа микроскопија
MF.....	магнетична фракција
MKRA.....	Микроскоп-Камера-Рачунар-Анализа
MS	масена спектрометрија
NMF	немагнетична фракција
NMR.....	нуклеарна магнетна резонанција
OM	оптички микроскоп
PL	граница пластичности (Plastic limit)
prEN	нацрт европског стандарда (Draft European Standard)
QA/QC.....	процена и контрола квалитета (quality assurance/quality control)
QEMSCAN	квантитативно одређивање минерала скенирањем (Quantitative Evaluation of Minerals by Scanning)
SE	секундарни електрони (детектор)
SEI.....	слике секундарних електрона (secondary electron images)
SEM.....	скенирајући електронски микроскоп (Conventional Scanning Electron Microscope)
SI.....	међународни систем мера (Système international)
SL.....	граница скупљања (shrinkage limit)
ST	температура омекшавања (softening temperature)
STEM.....	скенирајућа трансмисиона електронска микроскопија (Scanning Transmission Electron Microscopy)
TCLP	процедура за одређивање токсичних карактеристика услед растварања (Toxicity Characteristic Leaching Procedure)
TEM	трансмисиона електронска микроскопија (Transmission Electron Microscopy)
TGA	термогравиметријска анализа
UV	Ултраљубичаста
VOC	испарљиве органске компоненте (volatile organic compounds)
ZWIA.....	међународна асоцијација за промоцију безотпадних технологија (zero waste international alliance)
WDS.....	таласно дисперзиона спектроскопија (wavelength-dispersive spectroscopy)
XRD	рендгенска дифракциона анализа (X-ray diffraction analysis)
XRF.....	рендгенска флуоресцентна спектрометрија

XRF	рендгенска флуоресцентна анализа (X-ray fluorescence analysis)
ГГК.....	горња гранична крупноћа
ГСБ.....	гасови стаклене баште
ЕУ.....	Европска унија
ОДГ.....	одсумпоравање димних гасова
ПМС.....	припрема минералних сировина
РС.....	Република Србија
САД.....	Сједињене Америчке Државе
СРЈ.....	Савезна Република Југославија
СРПС.....	српски стандард
Ч:Т.....	чврсто:течно

1. УВОД



У овом поглављу обрађени су основни појмови везани за отпад: дефиниција, врсте, поделе и хијерархија у управљању. Дискутовани су и практични проблеми код одређивања шта је отпад, а шта није. Упоредо су дате поделе које се практикују у Србији, Европској унији и Сједињеним Америчким Државама.

Отпад не постоји у природном систему. Све што је природно створено има неку своју намену у затвореном животном циклусу [Hadjibiros, 2011]. Међутим, због несавршености и недограђености технолошких процеса које је створио човек мало је индустријских процеса у којима се не појављује некорисни производ – отпад. Теоретски посматрано, све што је човек физички створио, и што ће створити, је отпад, или ће некада бити отпад. Многе ствари које су у време настанка биле револуционарне доживеле су судбину отпада и нестале, односно чувају се у музејима, као експонати који имају само историјску вредност. У ово не

треба мешати човекова умна достигнућа која могу бити вечна, корисна и употребљива.

Отпад је најочигледнији и најраспрострањенији производ интензивног коришћења ресурса и потрошачки оријентисаног друштва и растуће економије. Повећање обима активности у привреди, урбанизација, раст животног стандарда становништва и раст популације, заједно доприносе повећању количине отпада.

Огромне количине свих врста отпада који се производе код многих изазивају бојазан за даљи опстанак живота на планети. Од седамдесетих година 20. века увелико се прича о одрживом опстанку, а поступања са отпадом су део тог глобалног програма. Пол Конет (Paul Connett) [према Chandak, 2010] назвао је 20. век "веком управљања отпадом", а 21. "веком управљања одбаченим ресурсима". У прошлом веку задатак је био "ефикасно управљање отпадом уз минимална оштећења јавног здравља и окружења", док је у новом веку задатак "управљање нашим одбаченим ресурсима тако да будућим генерацијама не одузмемо неке, или све вредности".

1.1. Дефиниција отпада

Дефиницијом отпада баве се сви закони и стандарди који се на отпад односе.

Према међународним стандардима [ISO 14000, 2004] отпади су "...материјали, енергија, производи и нус-производи који се одбацују у животну средину, као крајње одлагалиште, а делом могу бити извор секундарних сировина".

Према "Закону о управљању отпадом Републике Србије" [Управљање отпадом, 2009] отпад је "...свака супстанца или предмет који власник одстрањује, намерава или мора да одстрани, а који је сврстан у категорије отпада утврђене посебним прописом".

Према "Закону о заштити животне средине Републике Србије" [Заштита животне средине, 2004] "отпад јесте сваки предмет или супстанца, категорисан према утврђеној класификацији отпада са којим власник поступа или има обавезу да поступа, односно управља"

Према "Закону о поступању са отпадним материјалима" [Поступање с отпадом, 2005] "отпадне материје ... су материјали који настају у обављању производње, услужне или друге делатности, предмети искључени из употребе као и отпадне материје које настају у потрошњи, а могу се непосредно или уз одговарајућу доруду и прераду употребљавати као сировине у производњи или као полупроизводи. Отпацима, у смислу овог закона, сматрају се и материјали који немају употребну вредност...".

Очигледно је да је дефиниција отпада веома комплексна.

Остаје проблем да ли је отпад нешта што произвођач није желео да произведе, а произведено је као "нус-производ" (споредни производ) који недвосмислено има (или може да има) употребну вредност и представља сировину за неку другу индустријску грану или неког другог произвођача. Типичан пример су гипсеви који се произведу у систему одсумпоравања димних гасова (тзв. ОДГ-гипс) или

при производњи фосфорне киселине (тзв. фосфогипс). Они имају карактеристике сличне природном гипсу који се откопава као минерална сировина. За своје произвођаче су отпад, а за друге сировина. Проблем би се лако разјаснио када би масе које се произведу биле приближно једнаке масама које се, континуирано са производњом, могу пласирати као сировина. Стварно произведене количине су вишеструко веће од количина које се могу тржишно пласирати, при чему се производња и пласман увелико разликују од региона до региона. Тако се у САД сав произведени ОДГ-гипс пласира на тржиште јер је тамо коришћење монтажних кућа, за чије преградне зидове се користи гипс, цивилизацијска тековина, док је у Европској унији (ЕУ-15) од 10,6 милиона гипса произведеног у 2009.г. пласирано 8,1 милион тона, око 76% [Галка, 2013]. Без обзира на овакву ситуацију ОДГ-гипс се према "Каталогу" сврстава у отпад [Реџић и др., 2010].

Специфична ситуација је са фосфогипсом. За произвођаче фосфорне киселине то је отпад, а за произвођаче цемента, грађевинског материјала, за пољопривреду то је корисна сировина. Није експлицитно наведен у "Каталогу отпада" [Реџић и др., 2010], а често се третира као отпад, па чак и као опасан отпад, мада има више разлога да се не третира као отпад [Рајковић, 2004]:

- фосфогипс је споредни производ при производњи фосфорне киселине у којем се акумулирају све нечистоће, и
- количина фосфогипса масено 4-8 пута надмашује количину главног производа, што није уобичајено код отпада из индустријских, посебно хемијских, процеса (овај феномен се среће само код рударских отпада).

Да ствар буде компликованија због уранових једињења која су присутна у готово свим фосфатима фосфогипс се понекад третира и као опасни отпад мада фосфати вулканског порекла имају безначајне количине урана, а при преради фосфата са значајнијим учешћем радионуклида они углавном прелазе у фосфорну киселину и, потом у вештачка ђубрива [Рајковић, 2004]. Тако се долази до парадокса да главни производ, у који пређе 60-80% радионуклида, није опасан по окружење док се споредни производ, у којем је садржан остатак радионуклида, третира као опасан по окружење?!

Бавећи се проблемом разазнавања шта је отпад, а шта споредни или нус-производ Европска унија као отпад не третира производе који испуњавају следеће критеријуме [Directive 2008/98/EC]:

- даље коришћење је извесно,
- даље се користи без било какве дораде,
- представља интегрални део производног процеса,
- даље коришћење је законито, пошто испуњава услове везане за квалитет, заштиту окружења и здравља људи.

Наведено јесте, али како га недвосмислено применити? Шта је са "отпадом" чији се само део може искористити, а шта са отпадом који ће се моћи користити у догледно време? Уз мноштво других питања остаје констатација да је граница између отпада, корисне сировине и нус-производа веома осетљива и да је треба пажљиво одређивати од случаја до случаја, водећи се законским решењима, искуством и објективношћу при процени шта се може пласирати, а шта не.

1.2. Врсте отпада

Отпад се уобичајено дели по месту настанка и по карактеристикама. По месту настанка отпад се дели на:

- отпад из домаћинства (кућни отпад),
- комерцијални отпад,
- индустријски отпад.

Кућни отпад настаје у домаћинствима, веома је хетероген, скупљају га за то специјализоване фирме, одвозе и депонују на технички уређену и одржавану комуналну депонију. У ову групу спада и други отпад који је због своје природе или састава сличан кућном (парковски отпад и сл.).

Табела 1.1. Особине опасног отпада, према европским директивама, важи у Србији [Правилник 56/10]

Карактеристике	Дејство
Експлозивне материје	Супстанце које су под утицајем пламена склоне експлозији
Оксидирајуће материје	Супстанце које у контакту са другим супстанцама производе јаке егзотермичке реакције
Запаљиве материје	Течне супстанце чија се запаљивост јавља на температурама од 21-55°C
Високо запаљиве материје	Течне супстанце које су запаљиве на температури испод 21°C; супстанце које су запаљиве у контакту са ваздухом без присуства другог извора енергије
Надражујуће материје	Некорозивне супстанце које у додиру са кожом или слузокожом доводе до упале
Штетне материје	Супстанце које у случају удаха, гутања или продирања преко коже могу довести до угрожавања здравља
Токсичне материје	Супстанце које у случају продирања у организам изазивају озбиљно тренутно и хронично угрожавање здравља или смрт
Канцерогене материје	Супстанце које након уношења у организам, могу изазвати канцер или повећати ризик за његову појаву
Корозивне материје	Супстанце које приликом контакта могу уништити живо ткиво
Инфективне материје	Супстанце које садрже микроорганизме или њихове токсине који могу узроковати обољења код људи или других живих организама
Тератогене материје	Супстанце које приликом продирања у организам могу изазвати ненаследно заостајање у развоју или повећати ризик за његову појаву
Мутагене материје	Супстанце које приликом продирања у организам могу изазвати или повећати ризик од наследних генетских поремећаја
Супстанце које ослобађају токсичне или веома токсичне гасове у додиру са водом, ваздухом или киселином	
Супстанце које након одлагања имају особину да у реакцији са другим супстанцама стварају једињење са наведеним особинама	
Екотоксичне материје	Супстанце које могу изазвати тренутан или одложен ризик за један или више сегмената у животној средини

Комерцијални отпад настаје у предузећима, установама и другим институцијама које се у целини или делимично баве трговином, услугама, канцеларијским пословима, спортом, рекреацијом или забавом. Карактерише га хетерогеност, а на његовом прикупљању, транспорту и депоновању ангажују се посебне комуналне службе.

Кућни и комерцијални отпад назива се и комуналним отпадом [Радосављевић, 2013].

Индустријски отпад јесте отпад из било које индустрије или са локације на којој се налази индустрија.

По карактеристикама општа подела отпада је на: опасан или хазардни отпад, неопасни отпад и инертни отпад.

Опасан отпад јесте отпад који по свом пореклу, саставу или концентрацији опасних материја може проузроковати опасност по животну средину и здравље људи и има најмање једну од опасних карактеристика. У овај отпад се укључује и амбалажа у коју је опасан отпад био или јесте упакован.

Разликују се карактеристике који отпад чини опасним у Европи и у САД, табеле 1.1 и 1.2.

Табела 1.2. Карактеристике опасног отпада према прописима у САД [EPA, 2009]

Карактеристика	Опис (дејство)
Запаљивост	Запаљиви отпади који се могу, под одређеним условима, спонтано запалити или имају тачку паљења испод 60 °C (нпр. отпадна уља или коришћени растварачи).
Корозивност	Отпадне киселине или базе (pH ≤2,0 или ≥12,5) способне да кородирају металне контејнере, као што су танкови, бубњеви или бурад (нпр. акумулатори)
Реактивност	Отпади који су нестабилни под "нормалним" условима. Могу изазвати експлозије, бурне реакције, произвести токсичне гасове, или испарљиве или експлозивне мешавине када се загреју, компримују или мешају са водом (нпр. литијум-сумпорне батерије или експлозивни).
Токсичност	Отпади који су штетни или могу бити фатални када се прогутају или адсорбују (нпр. садрже живу, олово и сл.). Када се токсични отпади депонују, контаминирана излужена течност може загадити подземну воду.

Неопасан је онај отпад који нема карактеристике опасног отпада.

Производња опасног и неопасног отпада у Србији у периоду 2011-2016, без рударског отпада, приказана је у табели 1.3 [Ђорђевић и др., 2017].

Евидентно је превладавање неопасног отпада, који чини више од 99% укупно произведеног отпада. Количина опасног отпада варира од 0,57 до 1,30%. Не може се ухватити нека законитост везана за смањење/повећање количина произведеног отпада јер то, поред осталог, зависи и од заинтересованости произвођача отпада да уредно пријављују произведене количине отпада.

Табела 1.3. Производња опасног и неопасног отпада у Србији [Ђорђевић и др., 2017]

Година	Неопасни отпад		Опасни отпад		Укупно
	t	%	t	%	t
2011	7.242.191	98,70	95.142	1,30	7.337.333
2012	10.524.139	99,27	77.315	0,73	10.601.454
2013	9.754.383	98,72	126.930	1,28	9.881.313
2014	7.396.241	99,27	54.864	0,73	7.451.105
2015	9.301.212	99,43	53.468	0,57	9.354.680
2016	9.122.782	99,19	74.318	0,81	9.197.100
Просек	8.890.159	99,10	80.340	0,90	8.970.498

Поређење Србије са земљама у окружењу, према подацима Европске агенције за статистику [EUROSTAT, 2017] у 2014.г., дато је у табели 1.4.

Табела 1.4. Производња отпада у Србији, земљама у окружењу и ЕУ [EUROSTAT, 2017]

Држава	Укупно, мил. t	кг/становнику	Рударство	Производња	Енергетика	Грађевинарство	Домаћинства	Остали
Србија	49,1	6.890	84,5	1,8	9,1	0,6	3,3	0,7
Црна гора	1,2	1.872	22,5	5,2	31,7	9,2	16,1	15,3
БиХ	0,5	1.161	1,6	27,2	71,1	-	-	-
Хрватска	3,7	879	0,1	-	3,2	16,6	31,2	48,9
Мађарска	16,7	1.688	0,5	16,2	13,9	20,7	17,7	31,0
Румунија	175,6	8.820	87,0	-	4,0	0,6	2,2	6,2
Бугарска	179,7	24.872	88,6	-	5,1	0,7	1,5	4,0
Македонија	2,2	1.058	3,4	67,9	23,3	0,5	0,0	4,9
ЕУ	2.502,9	4.931	28,1	10,2	3,7	34,7	8,3	14,9

Стална настојања да се количина отпада смање показују резултате јер се укупна количина отпада у ЕУ смањила за око 5%, највише у пољопривреди, шумарству и риболову, те производњи и рударству, док је највеће повећање забележено код отпадних вода и у грађевинарству. Смањење отпада из домаћинства је симболично, испод 1%.

Отпад се сматра **инертним** ако су испуњени сви наведени критеријуми, у краткорочном и дугорочном раздобљу према директиви 2009/359/ЕС:

- (а) отпад неће претрпети никакво значајно распадање или растварање или другу значајну промену која може узроковати било какав штетан утицај на околину или угрозити здравље људи;
- (б) отпад има максимални садржај сулфидног сумпора 0,1%, или отпад има максимални садржај сулфидног сумпора 1% и однос потенцијала неутрализације изнад 3, однос између потенцијала неутрализације и киселинског потенцијала одређује се на основу статичког испитивања ргЕН 15875;
- (в) нема ризика да ће доћи до samozапалења и горења отпада;

(г) садржај материја у отпаду које су потенцијално штетне за околину или здравље људи, а посебно As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, V и Zn, укључујући у засебним финим честицама у отпаду, довољно је низак да је ризик за људе и околину занемарив, у краткорочном и дугорочном раздобљу. Како би се сматрао довољно ниским да не представља ризик за људе или околину, садржај тих материја не сме прелазити националне граничне вредности за локације за које је утврђено да нису онечишћене или битне за националне природне нивое у окружењу;

(д) отпад у већој мери не садржи производе који се користе за експлоатацију или прераду, а који би могли угрозити околину или здравље људи.

Ова разрађена дефиниција инертног отпада прихваћена је и у Србији. На депонију инертног отпада без испитивања отпада за одлагање може да се одлаже инертни отпад дат у табели 1.5.

Табела 1.5. Инертни отпад који се може одлагати на депоније инертног отпада без испитивања

Шифра	Опис	Ограничења
101103	Отпадни влакнасти материјали на бази стакла	Сами без органских везива
150107	Стаклена амбалажа	
170101	Бетон	Само одабрани грађевински отпад и отпад од рушења
170102	Опека	
170103	Цреп/плочице и керамика	
170107	Мешавина бетона, опеке	Само одабрани грађевински отпад и отпад од црепа/плочица и керамике рушења
170202	Стакло	
170504	Земља и камење	Искључујући: површински слој земљишта; тресет; искључујући земљу и камење с контаминираних локација
191205	Стакло	
200102	Стакло	Само одвојено скупљено стакло
200202	Земља и камење	Само отпад из вртова и паркова; искључујући површински слој земљишта и тресет

Среће се и подела по агрегатном стању: течне, гасовите и чврсте.

Поделу отпада је могуће и према месту настанка:

- комунални,
- индустријски,
- амбалажни,
- пољопривредни и баштенски,
- од експлоатације и прераде руда и минералних сировина,
- грађевински,
- медицински и фармацеутски (хумани и животињски),
- муљеви, талози, пепео, шљака и др.

Према саставу отпад се дели на: батерије, боје, возила, гуме, дрво, електрични и електронски уређаји, јаловине, лименке, метали, органски отпад, папир и картон, пластика, стакло, уља и мазива, хемикалије и др.

Према америчком "Закону о заштити и коришћењу ресурса" [RCRA] чврсти отпад подразумева следеће групе: смеће или кућни отпад, амбалажа, муљеви из постројења за третирање отпада, прераду воде, пречишћавање гасова и сл., неопасни индустријски отпад, рударски отпад, отпад од сирове нафте и природног гаса, грађевински отпад, медицински отпад, отпад из пољопривредне производње, кућни опасни отпад, и отпад који производе други "мали произвођачи"

Може се срести и подела на [Кеметер, 2013]:

- Посебне категорије отпада (биоотпад, отпадни текстил и обућа, отпадна амбалажа, отпадне гуме, отпадна уља, отпадне батерије и акумулатор, отпадна возила, отпад који садржи азбест, медицински отпад, отпадни електрични и електронски уређаји и опрема, отпадни бродови, морски отпад, грађевински отпад, отпадни муљ из уређаја за пречишћавање отпадних вода, отпад из производње титан-диоксида, отпадни полихлоровани бифенили и полихлоровани терфенили)
- Остале категорије отпада (комунални отпад, пољопривредни и шумарско-дрвни отпад, производни отпад, отпад животињског порекла, отпад од минералних сировина и постојани органски загађивачи).

1.3. Пuteви контаминације окружења и главни полутанти

Извори загађења су различити, а утицај отпада се огледа, у највећој мери, на воде, ваздух и земљиште. У табелама 1.6 – 1.8 дати су извори и загађивачи воде, ваздуха и земљишта [Walker, 2012].

Табела 1.6. Извори и загађивачи воде [Walker, 2012]

Извор загађења	Главни загађивачи
Излив из канализације	Широк опсег органских и неорганских загађивача из комерцијалних и домаћих извора. Уобичајено су присутни детергенти
Излив из индустријских постројења	Широк опсег загађивача из хемијске индустрије, метала из рударства, индустрије папира и др.
Излив из нуклеарних електрана	Радионуклиди
Са земљишта	Различити полутанти депоновани на тлу, пестициди
Из ваздуха	преципитација падавинама директно тровање биоцидима акцентне ситуације
Депоновање у воду	Излив из канализација, цурења из контејнера одложених у воду
Цурења са терминала нафте	Угљоводоници
Цурења из бродова	Угљоводоници и остали органски полутанти

Табела 1.7. Извори и загађивачи ваздуха [Walker, 2012]

Извор загађења	Главни загађивачи
Димњаци из кућа	Многе органске компоненте, испарљиви хидрокарбонати, различити гасови
Индустријски димњаци	Исто као и из кућних димњака
Аутомобили	Гасови, олово
Примена пестицида	Инсектициди, фунгициди, хербициди
Хладњаци	Хлорофлуорометани
Аеросоли	Хлорофлуорометани као CF ₂ Cl ₂ , CFCl ₂

Табела 1.8. Извори и загађивачи земљишта [Walker, 2012]

Извор загађења	Главни загађивачи
Депоније отпада (кућног, индустријског...)	Широк опсег загађивача
Употреба пестицида на пољима и шумама	Инсектициди, родентициди, хербициди, фунгициди
Контрола инсеката	Инсектициди
Коришћење канализационог муља на пољима	Тешки метали, нитрати, детергенти
Поплаве	Широк опсег загађивача
Преципитација из ваздуха	Киселе кише, пестициди

Очигледно је, дакле, да су извори загађења многобројни, као и загађивачи који се срећу. Карактеризација тих загађивача је комплексна и подразумева добро познавање извора и могућих загађивача.

Основни проблеми који се јављају при различитом третирању отпада у односу на окружење приказани су у табели 1.9 [ЕУ, 1999].

Табела 1.9. Утицај различитих метода третирања отпада на окружење [ЕУ, 1999]

	Депонување	Компостирање	Инсинерација	Рециклирање	Транспорт
Ваздух	Емисија CH ₄ , CO ₂ , мириси	Емисија CH ₄ , CO ₂ , мириси	Емисија SO ₂ , NO _x , HCl, HF, CO, CO ₂ , N ₂ O, диоксида, дибензофурана, тешких метали	Прашина	Емисија прашине, NO _x , SO ₂ , опасних супстанци у случају цурења
Вода	Излуживање опасних супстанци у подземне воде		Одлагање опасних супстанци у површинске воде	Испуштање отпадних вода	Ризик од контаминације вода при незгодама
Земљиште	Акумулација опасних супстанци у тлу		Депонување пепела, шљаке и отпада	Депонување неискоришћених делова	Ризик од контаминације тла при незгодама

	Депонованье	Компостирање	Инсинерација	Рециклирање	Транспорт
Релеф	Заузимање земљишта, ограничења за друго коришћење	Заузимање земљишта, ограничења за друго коришћење	Визуелна утисак, ограничења за друго коришћење	Визуелна утисак	Саобраћај
Екосистеми	Контаминација и акумулација токсичних супстанци у ланцу исхране				Ризик од контаминације при незгодама
Урбане средине	Излагање опасним супстанцама		Излагање опасним супстанцама	Бука	Ризик од излагања опасним супстанцама при незгодама, саобраћај

Литература

- [1] Hadjibiros K., D. Dermatas, C.S. Laspidou, (2011), Municipal solid waste management and landfill site selection in Greece: irrationality versus efficiency, Global NEST Jour., Vol 13, No 2, pp 150-161
- [2] Chandak S. P., (2010), Trends in Solid Waste Management: Issues, Challenges and Opportunities, International Consultative Meeting on Expanding Waste Management Services in Developing Countries, Tokyo, Japan
- [3] ISO 14000:2004 - Environmental management systems
- [4] Закон о управљању отпадом, Сл. гласник РС, 36/2009, 88/2010, 14/2016
- [5] Закон о заштити животне средине, Сл. гласник РС 135/04, 135/2004, 36/2009, 36/2009, 72/2009, 43/2011
- [6] Закону о поступању са отпадним материјалима, Сл. гласник РС 25/96, 26/96, 101/2005
- [7] Galka F, (2013), The gypsum market - Usage of Synthetic Gypsum in Europe, Ashtrans Europe 2013 Copenhagen, Denmark
- [8] Реџић Н., Ђорђевић Љ., Дукић И., Мисајловски Н., Михаиловић Л., (2010), Каталог отпада, Упутство за одређивање индексног броја, Агенција за заштиту животне средине, Београд
- [9] Рајковић М., (2004), Класификација фосфогипса као отпадног производа са аспекта животне средине, Хемијска индустрија, Вол. 58, бр. 1, стр. 26-32
- [10] Directive 2008/98/EC on waste and repealing certain Directives, European Communities, Official Journal of the European Union, L 312/3,
- [11] Радосављевић Ј., Ђорђевић А., (2013), Депоније и депоновање комуналног отпада, Факултет заштите на раду, Ниш
- [12] Commission decision of 30 April 2009 completing the definition of inert waste in implementation of Article 22(1)(f) of Directive 2006/21/EC of the European Parliament and the Council concerning the management of waste from extractive industries

- [13] Resource Conservation and Recovery Act, US EPA
- [14] Правилник о категоријама, испитивању и класификацији отпада, Сл. гласник РС бр. 56/10
- [15] Anon, (2009), Hazardous Waste Characteristics, A User-Friendly Reference Document, United States Environmental Protection Agency
- [16] Ђорђевић Љ., Радовановић Н., Реџић Н., (2017), Управљање отпадом у Републици Србији у периоду 2011-2016. г., Агенција за заштиту животне средине, Београд
- [17] http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics
- [18] Kemeter D., (2013), Održivo gospodarenje otpadom u Republici Hrvatskoj, Zbornik radova Međimurskog veleučilišta u Čakovcu, 4(2), 75-82, <http://hrcak.srce.hr/113501/>
- [19] Government of Victoria, Department of natural resources and environment, (2002), Tailings storage, guidelines for Victoria, discussion paper
- [20] Non-Hazardous Waste Management Hierarchy, <http://www.epa.gov/waste/nonhaz/municipal/hierarchy.htm>
- [21] Walker CH, Sibly RM, Hopkin SP, Peakall DB, (2012), Principles of ecotoxicology, 4th ed., CRC Press, Taylor-Francis Group, Boca Raton, London, New York
- [22] European Commission, (1999), EU focus on waste management, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg

2. АДМИНИСТРАТИВНО ДЕФИНИСАЊЕ ОТПАДА



У овом поглављу дати су основни подаци и образложења везана за процес карактеризације отпада и елементи који повезују карактеризацију и хијерархију руковања са отпадом. Држава је формални носилац "борбе" за здраву животну средину и одрживи развој. Она има и развија апарат који се стара да се о животної средини брину сви субјекти са подједнаким правима и обавезама. Суштина тог деловања почива на законској регулативи и административним процедурама. У овом поглављу приказани су основни закони, уредбе и правилници о руковању отпадом и административном дефинисању отпада. Дате су све, данас актуелне, листе на бази којих се административно категорисае отпад.

Лингвистички појам карактеризација значи "опис карактерних особина, приказивање нечијих битних особина, давање карактеристика некоме или нечему". Карактеризација рударског отпада подразумева утврђивање карактеристика и понашања отпада у смислу геохемијских карактеристика (састав, реактивност, термодинамичка стабилност, минералoшки састав, излуживост) и физичких карактеристика (гранулометријски састав, густина, пропустљивост, збијеност,

физичка стабилност) и међусобно деловање и промене карактеристика под различитим условима [CEN, 2012]. Ова дефиниција се може начинити универзалнијом у смислу да "карактеризација отпада подразумева утврђивање карактеристика и понашања отпада у смислу физичких, хемијских, биолошких, минералолошких, геотехничких, термичких и других особина и међусобно деловање и промене карактеристика под различитим условима".

2.1. Ток процеса карактеризације

Процес карактеризације отпада административно обухвата [Каталог, 2010]:

- 1) узорковање отпада;
- 2) идентификацију отпада са утврђивањем категорије отпада;
- 3) карактеризацију отпада у зависности од степена опасности (инертан, неопасан, опасан и одређивање опасних карактеристика отпада);
- 4) карактеризацију опасног отпада и утврђивање концентрације опасних материја у отпаду;
- 5) одређивање физичко-хемијских карактеристика отпада;
- 6) одређивање токсиколошких карактеристика и ефеката на људско здравље;
- 7) одређивање могућих утицаја на животну средину;
- 8) друге поступке у складу са примењеном методологијом;
- 9) израду извештаја о испитивању отпада.

Дакле, процес логично креће од узорковања, а завршава са подношењем извештаја. Међутим, процес узорковања није довољно разрађен, па се не види како се дефинисао циљ истраживања, како је сачињен и образложен план узорковања нити како су коришћена (са)знања и искуства стечена при анализи других (сличних) отпада са других локација. Претходна сазнања са постројења и отпада са других локација и сличних технолошких система чине битну предрадњу која истраживача усмерава ка вероватном циљу, помаже му у дефинисању активности и изради плана и програма истраживања, али и битно утиче на предузимање мера адекватне заштите свих учесника, посебно када се сумња да би отпад могао имати карактеристике опасног отпада.

Истраживачки ток процеса карактеризације отпада шематски је приказан на слици 2.1, у 7 корака [CEN, 2012].

Корак 1. Дефинисање општег циља

На почетку треба дефинисати општи циљ карактеризације отпада који треба да буде прилагођен специфичном случају и намени анализа. Обично се у овој фази:

- развија план управљања отпадом (пројектовање објеката, процена излуживости и пројектовање мера заштите, пројектовање затварања, класификација објеката и сл.)
- врши класирање отпада према "Каталогу отпада",
- утврђује да ли се отпад може класификовати као инертни,
- прорачунавају финансијске гаранције сагласно важећој законској регулативи.

Сви радови у овој фази оријентисани су на разумевање посла и усаглашавање са важећим законима:

1.					дефинисање општег циља				
2.					идентификовање потребних података				
3.		Потребно је више података			идентификовање тестова којима ће се обезбедити тражени подаци			Превише информација	
4.					израда плана узорковања и испитивања				
5.					тестирање и анализе				
6.					анализирање / евалуација података				
7.					извештај				

Слика 2.1. Шема процеса карактеризације отпада

Документ	Европска унија	Србија
План управљања отпадом	Directive 2006/21/EC	Закон о управљању отпадом ("Сл. Гласник РС", 36/09 и 88/10)
Пројектовање објеката	Directive 2006/21/EC	Уредба о одлагању отпада на депоније ("Сл. гласник РС", 92/10)
Излуживост	Directive 2006/21/EC	Уредба ("Сл. гласник РС" 53/2017)
Затварање	Directive 2006/21/EC	Уредба о одлагању отпада на депоније ("Сл. гласник РС" 92/2010)
Класификација објеката	COM decision 2009/337/EC	Уредба ("Сл. гласник РС" 53/2017)
Класификација инертног отпада	COM decision 2009/21/EC	Уредба о одлагању отпада на депоније ("Сл. гласник РС" 92/2010)
Финансијске гаранције	Directive 2006/21/EC, COM decision 009/335/EC	Уредба ("Сл. гласник РС" 53/2017)
Каталог отпада	COM decision 2000/532/EC	Правилник о категоријама, испитивању и класификацији отпада (Сл. гласник РС 56/10)

Корак 2. Идентификовање потребних података

Целокупна активност се дели на четири активности:

- 2.1. опис ситуације на терену
- 2.2. дефинисање задатака и тражење решења
- 2.3. идентификовање расположивих информација
- 2.4. рад на недостајућим деловима анализе

2.1. Корисно је да документ о карактеризацији отпада има и основне податке о постројењу, месту и начину издвајања, окружењу и потенцијалном управљању отпадом:

- врста постројења, затечена или планирана, (рудник метала или неметала, каменолом, фабрика ђубрива, фармацеутска индустрија...)
- фаза процеса у којој ће се отпад издвајати (експлоатација, постојећа депонија...)
- окружење (урбано, индустријско, фарме, шуме, удаљеност од водотокова и извора, заштићена подручја...)
- управљање отпадом (депоновање у простор ограђен насипима, одлагање, сатурисано/несатурисано, одвојено/мешано...)

2.2. У овој фази треба припремити одговоре на очекивана питања власника и надлежне институције. То су на пример:

- да ли је потребна дренажа? Ако јесте, како ће се то извести? Да ли та вода захтева третман да би задовољила захтеве стандарда? Ако да, какав третман се предвиђа?
- Каква технологија затварања се предвиђа?
- Да ли се отпад може користити као "грађевински" материјал?
- Да ли поступање са отпадом може оптимизовати ако се сепарише у различите категорије?

2.3. Обично власник поседује неке претходно испитиване (историјске) податке везане за карактер отпада, као што су:

- минералашке и геохемијске карактеристике,
- резултати претходних карактеризација,
- информације о депонији, топографији, хидрологији геологији, геотехници
- климатски и остали подаци којима се дефинише окружење

2.4. Потребно је утврдити да ли расположиви подаци дају довољно информација о отпаду и процесу управљања који се планира. Да ли расположиве податке треба још једном верификовати? Које информације недостају? На бази ове анализе одабраће се техника узорковања и, често, методе испитивања.

Корак 3. Идентификовање тестова којима ће се обезбедити тражени подаци

Од познатих и расположивих тестова и метода испитивања треба одабрати оне који најбоље одговарају специфичним условима.

Корак 4. Израда плана узорковања и испитивања

На бази до сада познатих чињеница треба одабрати технику узорковања, одредити број узорака и њихову масу (најмању и потребну), проверити репрезентативност коришћењем уобичајених техника статистичке анализе. Ради контроле и несметаног рада увек треба обезбедити већу масу узорака него што се то прорачунима захтева.

Корак 5. Тестирање и анализе

За ове послове треба ангажовати акредитоване лабораторије. Увек треба испоштовати процедуре обезбеђења и контроле квалитета.

Корак 6. Анализирање / евалуација података

Када се добију резултати испитивања, квалификована особа са довољно искуства, треба да резултате анализира и међусобно упореди. Уколико су неки од резултата необични или одударају од познатих (очекиваних), узорковање и тестирање треба поновити. Понављање узорковања и тестирања може бити и последица веће хетерогености отпада него што се то очекивало на бази претходних сазнања.

Корак 7. Извештавање

У извештају о карактеризацији отпада треба приказати све процедуре, дати све резултате који су испитивањима добијени и приказати све елементе на бази којих су донесени закључци. У извештају свакако треба дати и преглед историјских података који су коришћени.

2.2. Дефинисање обима и врсте карактеризације у зависности од даљег третмана отпада

Свако управљање отпадом полази од корака дефинисаних хијерархијом у управљању. За сваки од прописаних корака потребно је познавати одређене карактеристике и параметре отпада како би се одредила прихватљивост или неприхватљивост за неку употребу.

Међутим, ради безбедног рада са и око отпада и обезбеђења најбољих услова за окружење потребно је располагати са неким базичним информацијама. Базичне информације које је потребно прибавити кроз карактеризацију индустријског отпада су [Blight, 2010]:

- **Токсичност**, садржај хлора, арсена, олова, никла или сличних соли токсичних и тешких метала,
- **Радиоактивност** и сличне опасности по здравље, често се спомиње садржај азбестних влакана,
- **Учешће растворљивих соли** у отпаду, њихова киселост или алкалност,
- **Ефекат површинске деградације и оксидације** током времена, нерастворни сулфиди временом могу оксидисати до растворљивих сулфата и сумпорне или сумпорасте киселине,
- Могућност **спонтане самоупале** отпада,
- Могућност **преципитације растворљивих хемикалија** унутар дренажног система, нпр. натријум бентонит може прећи у водопропустивији калцијум бентонит,
- Производња **радиоактивних или токсичних гасова** током сагоревања отпада.

Прибављање претходно побројаних информација је битно за безбедан рад са отпадом и сматра се предусловом за било какав рад са и око отпада. Врло често се одлуке доносе на бази искуства и претходних радова са отпадом из технолошки сличних постројења. Овим се убрзава поступак испитивања, али се повећава ризик по извршиоце.

Поступак карактеризације потребно је прилагодити даљем или планираном третману отпада. Третман отпада треба прилагодити хијерархији управљања отпадом и сагласно томе потребно је одабрати адекватне методе карактеризације, табела 2.1.

Табела 2.1. Условљеност обима испитивања са фазом управљања отпадом

Корак у хијерархији управљања отпадом	Најчешће потребне анализе отпада
превенција стварања отпада и редукација	Технолошке анализе које су прилагођене технолошком процесу чији отпад се третира
поновна употреба	Постоје 2 могућности: 1. Обим испитивања се прилагођава потенцијалној употреби, и 2. На бази познатих параметара о својствима отпада бира се област поновне употребе. По правилу се проучавају физичке и хемијске карактеристике на допуњене са другим неопходним подацима
рециклажа	Анализирају се физичке, хемијске и биолошке карактеристике, потом хомогеност, структура и величина и облик комада [Средојевић, 2006]
- коришћење вредности отпада (компостирање), - спаљивање уз иско-ришћење енергије	За компостирање се анализира морфолошки састав, физичке, хемијске и биолошке карактеристике За спаљивање се анализира морфолошки састав, хемијске и термичке карактеристике. На пепелу после инсинерације врше се физичке, хемијске, минералашке и геомеханичке анализе.
одлагање	Раде се физичке, хемијске, минералашке и геомеханичке анализе.

Дакле, избор параметара који ће се испитивати зависи од намера у управљању отпадом и веома ретко се испитују "све" карактеристике отпада.

Свако руковање, па тако и испитивање отпада треба да буде рационално и економски одрживо. Отпад, по правилу, за собом повлачи трошкове. У условима када се редукује или спречава стварање отпада потребно је економски избалансирати приходе и трошкове.

Код поновне употребе цена отпада треба да буде прихватљива да се поновна употреба исплати, при чему треба знати да се овом мером само одлаже тренутак када ће тај производ постати отпад и када, сада нови власник, треба да покрије трошкове нове карактеризације и поступања са отпадом.

Рециклажа се исплати само у случајевима када је цена преузимања отпада који се рециклира реално ниска. Трошкови карактеризације и рециклаже могу бити високи, а додатно их прате и трошкови депоновања онога дела који се не може рециклирати.

Компостирање је исплативо ако је сировина јефтина или ако се скупљање сировине за компостирање плаћа кроз неку другу активност тако да се компостирањем решава више проблема.

Карактеризација и сагоревање отпада (инсинерација) је, по правилу, скупо и економски неодрживо, ако се посматрају трошкови по јединици произведене енергије, али је прихватљиво ако се посматра као смањење масе отпада и тиме смањење трошкова другог поступка збрињавања отпада. Ову фазу прате и трошкови депоновања пепела који остаје после инсинерације.

Депоновање је скупа варијанта, карактеризација отпада за депоновање такође, тако да се примењује само када нема другог решења.

Посебан случај карактеризације представља карактеризација као увод у одабир методе ремедијације и рекултивације депоније отпада. У овом случају потребно је програм рационално прилагодити карактеристикама отпада и карактеристикама локације на којој је формирана депоније и могућем негативном утицају на окружење, које и условљава примену процеса ремедијације и рекултивације. Саставни део ове карактеризације представља и процена ризика, односно степеновање приоритета којима ће се посветити пажња [ЕРА, 2000].

2.3. Регулатива о отпаду у Европској унији

За Србију су подједнако важни закони, прописи, правилници, уредбе и стандарди донесени на нивоу Европске уније и на нивоу саме земље. По правилу, последњих година та легислатива је усклађена или се, што је нарочито случај код стандарда, (не)преводи и усваја. У Европској унији отпаду се придаје велики значај па је и број директива и одлука велики и свакодневно се проширује.

Европска заједница је прву директиву о отпаду донела 15.07.1975. као **Оквирну директиву о отпаду** [Framework, 1975].

Директиву о опасном (хазардном) отпаду Европска комисија је донела 12.12.1991. [Hazardous, 1991].

Наредну директиву о отпаду Европска комисија је објавила 05.04.2006. као **Директиву о отпаду** [Waste, 2006], а 19.11.2008. донесена је 2008/98/ЕС, **Директива о отпаду и укидању неких директива** [Waste, 2008]. Овом директивом су замењене претходне директиве 75/439/ЕСС, 91/689/ЕЕС и 2006/12/ЕС.

Како директива о депоновању отпада не обухвата руднички отпад, ЕУ је донела посебну **Директиву 2006/21/ЕС о управљању отпадом из екстрактивне индустрије** [Extractive, 2006]. Ову директиву прати неколико одлука којим се ближе уређују поједине ставке:

- одлука, 2009/337/ЕС, о критеријумима за класирање објеката - депонија за отпад,
- одлука, 2009/335/ЕС, о техничким препорукама за успостављање финансијских гаранција,
- одлука, 2009/360/ЕС, о комплетирању техничких захтева за карактеризацију отпада,
- одлука, 2009/359/ЕС, о дефинисању инертног отпада,
- одлука, 2009/358/ЕС, о хармонизацији, регуларном преносу информација и упитнику према наведеној Директиви.

Основни правилник у Европској унији који покрива депоновање отпада на и унутар земљишта (земље) је **"99/31/EC Landfill waste directive"** [Landfill, 1999].

2.4. Закони Републике Србије о отпаду

Основни закон који уређује област руковања и депоновања отпадом јесте **"Закон о заштити животне средине"** [Заштита животне средине, 2004].

У овом Закону, члан 10, управљање отпадом спада у категорију "одрживог управљања природним вредностима и заштиту животне средине".

У поглављу "Управљање отпадом" (члан 30) стоји: "Управљање отпадом спроводи се по прописаним условима и мерама поступања са отпадом у оквиру система сакупљања, транспорта, третмана и одлагања отпада, укључујући и надзор над тим активностима и бригу о постројењима за управљање отпадом после њиховог затварања".

Власник отпада дужан је да предузме мере управљања отпадом у циљу спречавања или смањења настајања, поновну употребу и рециклажу отпада, издвајање секундарних сировина и коришћење отпада као енергента, односно одлагање отпада."

Други, врло важан закон за третирање отпада је **"Закон о управљању отпадом"** [Управљање отпадом, 2009].

Овим законом уређују се: врсте и класификација отпада, планирање управљања отпадом, субјекти управљања отпадом, одговорности и обавезе у управљању отпадом, организовање управљања отпадом, управљање посебним токовима отпада, услови и поступак издавања дозвола, прекогранично кретање отпада, извештавање о отпаду и база података, финансирање управљања отпадом, надзор, као и друга питања од значаја за управљање отпадом.

За одлагања отпада важна је **"Уредба о одлагању отпада на депоније"** [Уредба, 2010]. Највећи део текста из ове Уредбе односи се на формирање и експлоатацију комуналних депонија, но многи чланови се могу применити и на депоније индустријског отпада. У суштини, ова уредба представља српску верзију "Landfill waste directive".

Сагласно, потреби усклађивања домаће регулативе са регулативом ЕУ донесена је и **"Уредба о условима и поступку издавања дозволе за управљање отпадом, као и критеријумима, карактеризацији, класификацији и извештавању о рударском отпаду"** [Уредба, 2017] којом се обједињују Директива 2006/21/ЕС са одлукама Европске комисије 2009/337/ЕС, 2009/335/ЕС, 2009/360/ЕС и 2009/359/ЕС. Суштински се ради о преводу европских докумената на српски језик без било какве битне измене.

Пратећи европске директиве и прописе у Србији је донесено и више десетина прописа везаних за поједине врсте отпада (кућни, медицински, фармацевтски, електронски, амбалажни...) и поступање са њиме.

2.5. Категоризација и класификација отпада

2.5.1. Каталог отпада

За дефинисање и брзо препознавање отпада важна је категоризација отпадних материјала.

Земље Европске уније користе јединствени каталог отпада који се води у заједничком документу под називом "Европски каталог отпада и листа опасних отпада" [EWC, 2002]. Ова јединствена листа се примењује од 01. јануара 2002.

Према наведеној листи, око 1.000 отпадних материја је, према пореклу, груписано у 20 група. Исте групе и даља подела је пренесена и у наше законодавство и у законодавство суседних држава [Каталог, 2010]. Наведена поглавља су:

- 01** отпади који потичу од истраживања, ископавања из рудника или каменолома, и физичког и хемијског третмана минерала
- 02** отпади из пољопривреде, хортикултуре, аквакултуре, шумарства, лова и рибарства, припреме и прераде хране
- 03** отпади од прераде дрвета и производње папира, картона, пулпе, панела и намештаја,
- 04** отпади из кожне, крзнарске и текстилне индустрије
- 05** отпади од рафинисања нафте, пречишћавања природног гаса и пиролитичког третмана угља
- 06** отпади од неорганске хемијске прераде
- 07** отпади од органске хемијске прераде
- 08** отпади од израде, формулације, прибављања и употребе премаза (боје, лакови и стаклене глазуре), лепкови, заптивачи и штампарска мастила,
- 09** отпади из фотографске индустрије
- 10** отпади из термичких процеса
- 11** отпади од хемијског третмана површине и премазивања метала и других материјала; хидрометалургија обојених метала
- 12** отпади од обликовања и физичке и механичке површинске обраде метала и пластике
- 13** отпади од уља и остатака течних горива (осим јестивих уља и оних у поглављима 05, 12 и 19)
- 14** отпади од органских супстанци које се користе као растварачи, средства за хлађење и као погон за летилице (осим 07 и 08)
- 15** отпади од амбалаже; апсорбенти, крпе за брисање, материјали за филтрирање и заштитне тканине, ако није другачије специфицирано
- 16** отпади који нису другачије специфицирани у каталогу
- 17** грађевински отпад и отпад од рушења (укључујући и ископану земљу са контаминираних локација)

- 18** отпади од здравствене заштите људи и животиња и/или с тим повезаног истраживања (искључујући отпад из кухиња и ресторана који не долази из непосредне здравствене заштите)
- 19** отпади из објекта за обраду отпада, погона за третман отпадних вода даље од локације производње и припрему воде намењену људској употреби и воде за индустријску употребу
- 20** општински отпади (кућни отпад и слични комерцијални, индустријски и комерцијални отпади) укључујући одвојено сакупљене фракције

Свака од наведених група даље је издељена на подгрупе и индексе. На пример, рударски отпад из прве групе подељен је на следећи начин:

01 ОТПАДИ КОЈИ НАСТАЈУ У ИСТРАЖИВАЊИМА, ИСКОПАВАЊИМА ИЗ РУДНИКА ИЛИ КАМЕНОЛОМА, И ФИЗИЧКОМ И ХЕМИЈСКОМ ТРЕТМАНУ МИНЕРАЛА

- 01 01 отпади од ископавања минерала**
 - 01 01 01 отпади од ископавања минерала за црну металургију
 - 01 01 02 отпади од ископавања минерала за обојену металургију
- 01 03 отпади од физичке и хемијске обраде минерала за црну металургију**
 - 01 03 04* отпади из прераде сулфидне руде које стварају киселину
 - 01 03 05* друга јаловина која садржи опасне супстанце
 - 01 03 06 јаловина другачија од оних наведених у 01 03 04 и 01 03 05
 - 01 03 07* остали отпад из физичког и хемијског третмана минерала за црну металургију који садрже опасне супстанце
 - 01 03 08 прашњави и прашкasti отпад другачији од оних наведених у 01 03 07
 - 01 03 09 црвени муљ из производње алуминијума другачији од оног наведеног у 01 03 07
 - 01 03 99 отпади који нису другачије специфицирани
- 01 04 отпади из физичке и хемијске обраде минерала за обојену металургију**
 - 01 04 07* Отпади из физичке и хемијске обраде минерала за обојену металургију који садрже опасне супстанце
 - 01 04 08 отпадни шљунак и дробљени камен другачији од оних наведених у 01 04 07
 - 01 04 09 отпадни песак и глине
 - 01 04 10 прашњави прашкasti отпади другачији од оних наведених у 01 04 07
 - 01 04 11 отпади од прераде калијум карбоната и камене соли другачији од оних наведених у 01 04 07
 - 01 04 12 остаци и други отпади од прања и чишћења минерала другачији од оних наведених у 01 04 07 и 01 04 11
 - 01 04 13 отпади од сечења и обраде камена другачији од оних наведених у 01 04 07
 - 01 04 99 отпади који нису другачије специфицирани

01 05	муљеви настали бушењем и други отпади од бушења
01 05 04	муљеви и отпади од бушења за изворишта питке воде
01 05 05*	муљеви и отпади који садрже нафту
01 05 06*	муљеви од бушења и други отпади од бушења који садрже опасне супстанце
01 05 07	муљеви од бушења и други отпади од бушења који садрже барит другачији од оних наведених у 01 05 05 И 01 05 06
01 05 08	муљеви од бушења и други отпади од бушења који садрже хлориде другачији од оних наведених у 01 05 05 и 01 05 06
01 05 99	отпади који нису другачије специфицирани

Дакле, сваки отпад који се појави каталогизиран је и могуће га је представити са шифром сачињеном од 6 цифара, по две цифре за групу, подгрупу и индекс (код). Како би се одмах у каталогу видело који отпад је потенцијално опасан, употребљена је и звездица ("астерикс" - *) [Engleska, katalog, Каталог, 2010].

10 Wastes from Thermal Processes		
10 01	wastes from power stations and other combustion plants (except 19)	
10 01 01	bottom ash, slag and boiler dust (excluding boiler dust mentioned in 10 01 04)	
10 01 02	coal fly ash	
10 01 03	fly ash from peat and untreated wood	
10 01 04*	oil fly ash and boiler dust	A
10 01 05	calcium-based reaction wastes from flue-gas desulphurisation in solid form	
10 01 07	calcium-based reaction wastes from flue-gas desulphurisation in sludge form	
10 01 09*	sulphuric acid	A
10 01 13*	fly ash from emulsified hydrocarbons used as fuel	A
10 01 14*	bottom ash, slag and boiler dust from co-incineration containing dangerous substances	M
10 01 15	bottom ash, slag and boiler dust from co-incineration other than those mentioned in 10 01 14	
10 01 16*	fly ash from co-incineration containing dangerous substances	M
10 01 17	fly ash from co-incineration other than those mentioned in 10 01 16	
10 01 18*	wastes from gas cleaning containing dangerous substances	M
10 01 19	wastes from gas cleaning other than those mentioned in 10 01 05, 10 01 07 and 10 01 18	

Слика 2.2. Разврставање отпада насталог термичким процесима

Додатно је листу разрадила Енглеска агенција за заштиту животне средине која је, како је то приказано на слици 2.2, опасне отпаде разврстала у две групе:

- А – апсолутно опасан отпад, и
- М – средње опасан отпад.

Разуме се, каснијом анализом се може показати да нека посебна материја не спада у разврстану групу јер има другачије карактеристике од уобичајених или очекиваних. Наведени систем разврставања опасног од неопасног отпада примењен је и у Србији, слика 2.3 [Реџић и др., 2010].

Према српском "Упутству за одређивање индексног броја" постоје три групе индексних бројева:

- "Индексни број опасног отпада" означен је звездицом и **црвеном бојом**, односи се на отпаде који се сматрају опасним без обзира на њихов састав или концентрацију било које опасне материје; ово одговара отпаду из енглеског каталога означеном са "А",
- "Условни индексни број отпада" означен је звездицом и **плавом бојом**, може упућивати на опасне материје у целини или конкретно на неку одређену опасну материју, код ових отпада пре одлучивања да ли се ради о опасном или неопасном потребно је утврдити концентрацију опасне материје; ово одговара отпаду из енглеског каталога означеном са "М",
- "Индексни број неопасног отпада" нема у ознаци звездицу, а назив отпада је одштампан **црном бојом**.

10	ОТПАДИ ИЗ ТЕРМИЧКИХ ПРОЦЕСА
10 01	отпади из енергана и других постројења за сагоревање (осим 19)
10 0101	пепео, шљака и прашина из котла (изузев прашине из котла наведене у 10 01 04)
10 0102	летећи пепео од угља
10 01 03	летећи пепео тресета и сировог дрвета
10 01 04*	летећи пепео од сагоревања нафте и прашина из котла
10 01 05	чврсти отпади на бази калцијума у процесу одсумпоравања гаса
10 0107	муљеве на бази калцијума у процесу одсумпоравања гаса
10 01 09*	сумпорна киселина
10 01 13*	летећи пепео од емулгованих угљоводоника употребљених као гориво
10 01 14*	шљака и прашина из котла из процеса ко-спаљивања, која садржи опасне супстанце
10 01 15	шљака и прашина из котла из процеса ко-спаљивања другачији од оних наведених у 10 0114
10 01 16*	летећи пепео из процеса ко-спаљивања који садржи опасне супстанце
10 01 17	летећи пепео из процеса ко-спаљивања другачији од оног наведеног у 10 0116
10 01 18*	отпади из пречишћавања гаса који садрже опасне супстанце
10 01 19	отпади из пречишћавања гаса другачији од оних наведених у 10 01 05, 10 01 07, 10 0118

Слика 2.3. Разврставање отпада насталог термичким процесима

2.5.2. Листе отпада

У Србији је на снази "Правилник о категоријама, испитивању и класификацији отпада" у којем је дата класификација и означавање отпада. Према овом правилнику до класификације се долази преко испитивања отпада, што подразумева следеће поступке:

- 1) узорковање отпада,
- 2) идентификација отпада са утврђивањем категорије отпада, (*Q листа*)
- 3) карактеризација отпада у зависности од степена опасности (инертан, неопасан, опасан) и одређивање опасних карактеристика отпада, (*Y листа*)
- 4) карактеризација опасног отпада и утврђивање концентрације опасних материја у отпаду, (*C и H листа*),

- 5) одређивање физичко-хемијских карактеристика отпада,
- 6) одређивање токсиколошких карактеристика и ефеката на људско здравље,
- 7) одређивање могућих утицаја на животну средину,
- 8) друге поступке у складу са примењеном методологијом,
- 9) израда Извештаја о испитивању отпада.

Дакле, овде је дат општи преглед свих поступака испитивања без посебне и подробне анализе сваког од поступака. Овде није дата анализа резултата претходних испитивања, како би се безбедније приступило узорковању и/или даљем испитивању, али је дат редослед активности који је вођен листама отпада, посебно поступци 2-4.

Отпад се најпре категорише према **Q - листи**, табела 2.2, а потом се ближе одређује према другим листама, табеле 2.3-2.7.

Данас се користе следеће листе:

Q	категорија отпада по пореклу
Y	листа категорија или сродних типова опасног отпада према њиховој природи или према активности којом се стварају
C (од енгл. Constituents of potential hazardous wastes)	списак компоненти отпада које га чине опасним
H (од енгл. Hazardous)	карактеристике отпада које га чине опасним
D (од енгл. Disposal)	списак начина одлагања отпада
R (од енгл. Recovery)	списак начина искоришћење отпада

Q листа показује зашто се неки материјал контролише. Поступање по Q листи тражи познавање порекла отпада, односно производа који се може дефинисати као отпад. Класификација по овом параметру не тражи посебна испитивања већ се користе расположиви подаци, а класификацији по овој листи подлежу све врсте отпада.

Табела 2.2. Q - листа, листа категорије отпада [Правилник 56/10]

Ознака	Опис компоненте
Q1	Остаци од производње или потрошње који нису другачије специфицирани
Q2	Производи без спецификација
Q3	Производи чији је рок употребе истекао
Q4	Просути материјали, материјали који су настали услед губитка или незгоде при поступању са њима, укључујући све материјале, опрему и сл. контаминирани при незгоди
Q5	Контаминирани или запрљани материјали настали у току планираног поступка (нпр. остаци од поступака чишћења, материјали за паковање, контејнери)
Q6	Неупотребљиви делови (нпр. истрошене батерије, катализатори и др.)
Q7	Супстанце које више не задовољавају (нпр. контаминирани киселине или растварачи, истрошене соли за термичку обраду и др.)
Q8	Остаци из индустријских процеса (нпр. шљака, дестилациони талози и др.)
Q9	Остаци из процеса за смањење загађења (нпр. муљ из уређаја за влажно пречишћавање гасова, прашина из врећастих филтера, потрошени филтери)

Ознака	Опис компоненте
Q10	Остаци од машинске грубе/фине обраде (нпр. струготине, опиљци и отпаци од глодања и сл.)
Q11	Остаци од екстракције и прераде сировина (нпр. отпад из рударства, нафтне исплаке и др.)
Q12	Материјали чији је првобитни састав искварен (нпр. уље загађено полихлорованим бифенилима - РСВ и др.)
Q13	Свака материја, материјал или производ чије је коришћење забрањено
Q14	Производи које њихов власник одбацује као неупотребљиве (нпр. пољопривредни отпад, отпад из домаћинства, канцеларијски, комерцијални и отпад из трговина и сл.)
Q15	Контаминирани материјали, материје или производи настали у процесу ремедијације земљишта
Q16	Било који други материјали, материје или производи који нису обухваћени у горе наведеним категоријама

Дакле, за **Q листу** је карактеристично да се материјали који се класификују третирају као "остаці", "контаминирани материјали", "просути материјали", "неупотребљиви делови", а не као "отпади". Само се код Q14 експлицитно наводи отпад. Из овога се да закључити да материјал који има ознаку Q није увек отпад, мада се налази на крају свог индустријског ланца.

У листа је кључна листа отпадних материјала, а доноси списак опасних отпада према њиховој природи или према активностима којом се стварају. Поступање по У листи тражи познавање порекла отпада, али и његових конституената, па постоји уска повезаност ове листе са С и Н листама. Отпади који се не могу дефинисати по У листи спадају у неопасне отпаде. Ваља приметити да се у овој листи не користи појам "отпад" мада је јасно да се увек односи на њега. На У листи су органски и неоргански отпадни материјали који се, по својој природи и пореклу, недвосмислено сврставају у опасне отпаде (ознака "А" у Каталогу отпада написана црвеном бојом). Ту нема отпада чија класификација зависи од концентрације опасне супстанце. Анализом отпада који се класификују по У листи види се да претежно настају у хемијској, односно петрохемијској индустрији или су органског порекла па могу да буду инфективни.

Табела 2.3. У листа, категорије или сродни типови опасног отпада према њиховој природи или према активности којом се стварају [Правилник 56/10]

Ознака	Опис отпада
У1	анатомске супстанце; болнички и други отпад са клиника
У2	једињења која се користе у фармацији, медицини и ветерини
У3	средстава за заштиту дрвета
У4	биоциди и фито-фармацеутске супстанце
У5	остаці супстанци коришћених као растварачи
У6	халогеноване органске супстанце које нису коришћене као растварачи искључујући инертне полимеризоване материјале
У7	мешане соли које садрже цијаниде
У8	минерална уља или уљне супстанце (нпр. муљ од стругања)

Ознака	Опис отпада
Y9	уље/вода, мешавина угљоводоници/вода, емулзија
Y10	супстанце које садрже РСВ и/или РСТ (нпр. диелектрици и сл)
Y11	материјали са катраном, настали рафинацијом, дестилацијом или било којим пиролизичким третманом (нпр. на дну дестилационе колоне)
Y12	мастила, боје, пигменти, фарбе, лакови, фирнајс
Y13	смола, латекс, пластификатори, лепкови/адхезиви
Y14	хемијске супстанце које потичу од истраживања и развоја или у наставним активностима које нису идентификоване и/или су нове и чији ефекти на човека и/или животну средину нису познати (нпр. остаци из лабораторија и сл.)
Y15	пиротехнички и други експлозивни материјали
Y16	фотографске хемикалије и материјал за развијање
Y17	било који материјал контаминиран са било којим конгенером полихлорованих дибензо-фурана
Y18	било који материјал контаминиран са било којим конгенером полихлорованих дибензо-п-диоксида

Поступање по **С листи** своди се на карактеризацију отпада по њиховим хемијским особинама. До резултата се долази хемијским анализама, а утврђене концентрације се пореде и дефинишу према **Н листи**. Отпад који има дефинисан С број спада у категорију опасних. Могуће је да отпад има неки од конституената који се налазе у попису листе С, али да му је концентрација испод граничне, те да у званичној класификацији нема С број.

Табела 2.4. С - листа, листа компоненти отпада који га чине опасним [Правилник 56/10]

Ознака	Опис компоненте
S1	берилијум, једињења берилијума
S2	једињења ванадијума
S3	једињења хрома (VI)
S4	једињења кобалта
S5	једињења никла
S6	једињења бакра
S7	једињења цинка
S8	арсен; једињења арсена
S9	селен; једињења селена
S10	једињења сребра
S11	кадмијум; једињења кадмијума
S12	једињења калаја
S13	антимон; једињења антимона
S14	телур; једињења телура
S15	једињења баријума; искључујући баријум сулфат
S16	жива; једињења живе
S17	талијум; једињења талијума
S18	олово; једињења олова
S19	неоргански сулфиди

Ознака	Опис компоненте
C20	неорганска једињења флуора; искључујући калцијум флуорид
C21	неоргански цијаниди
C22	алкални или земноалкални метали: Li, Na, K, Ca, Mg који нису у смеси
C23	раствори киселина или киселине у чврстом облику
C24	раствори база или базе у чврстом облику
C25	азбест (прашину и влакна)
C26	фосфор; фосфорна једињења, искључујући фосфатне минерале
C27	метални карбонили
C28	пероксиди
C29	хлорати
C30	перхлорати
C31	азиди
C32	PCB и/или PCT
C33	једињења која се користе у фармацији или ветерини
C34	биоцидии и фито-фармацеутске супстанце (нпр. пестициде и сл.)
C35	инфективне супстанце
C36	креозати
C37	изоцијанати; тиоцијанати
C38	органски цијаниди (нпр. нитрили и сл.)
C39	феноли; једињења фенола
C40	халогеновани растварачи
C41	органски растварачи, искључујући халогеноване раствараче
C42	органохалогена једињења, искључујући инертне полимеризоване материје и остале супстанце наведене у овом прилогу
C43	ароматична једињења; полициклична и хетероциклична органска једињења
C44	алифатични амини
C45	ароматични амини
C46	етри
C47	супстанце које имају особине експлозива, искључујући оне које су наведене у овој листи
C48	сумпорна органска једињења
C49	било који конгенер полихлорованих дибензо-фурана
C50	било који конгенер полихлорованих дибензо- <i>p</i> -диоксида
C51	угљоводонике и кисеоник; азотна и/или сумпорна једињења која нису узета у обзир

Листа Н је основна листа која указује на хазардне карактеристике, односно дефинише потенцијалну опасност неког отпада. Према европском и домаћем стандарду отпад који има неку од особина приказаних бројевима 1-14 добија свој број и сврстава се у категорију опасних отпада. Најпроблематичнији при категоризацији су отпади из групе Н-15 јер се опасност дефинише на бази производа који може настати из тог отпада при чему добијени производ има једну од претходно наведених 14 карактеристика. Ова карактеристика се утврђује неким од прихваћених тестова излуживања и ако концентрација неког од анализираних параметара прелази усвојени лимит отпад добија карактеристику опасног, што

имплицира услове његовог даљег коришћења или одлагања. Међутим, ако се проблем излуживања размотри са аспекта истовременог деловања сулфидног сумпора, кисеоника и воде и услова када се то може догодити, може се десити да за појаву опасног раствора нема реалних услова, али да је отпад већ категорисан у опасне са свим последицама које таква ознака носи.

Табела 2.5. Н листа, карактеристике отпада које га чине опасним и граничне вредности опасних компоненти [Правилник 56/10]

Ознака	Карактеристика	Опис карактеристике	Граничне вредности концентрације опасних компоненти у отпаду на основу којих се одређују карактеристике отпада (својства отпада која га карактеришу као опасан отпад)
1	2	3	4
H1	Експлозиван	супстанце и препарати који могу експлодирати под дејством пламена или који су више осетљиви на ударе или трење од динитробензена	Отпад класификован као класа 1 према прописима који се односе на међународни транспорт опасних материја на путу, ADR (<i>European Agreement on the international transport of dangerous goods on road</i> , ADR).
H2	Оксидирајући	супстанце и препарати који изазивају високо егзотермне реакције у контакту са другим супстанцама, посебно са запаљивим супстанцама	Отпад класификован као класа 5.1 или 5.2 према прописима који се односе на међународни транспорт опасних материја на путу, ADR
H3-A	Високо запаљив	- 0 течне супстанце и препарати који имају тачку паљења испод 21°C укључујући веома запаљиве течности, или - 1 супстанце и препарати који се могу загревати и коначно запалити у контакту са ваздухом на температури околине без било каквог извора енергије, или - 2 чврсте супстанце и препарати који се могу лако запалити после кратког контакта са извором паљења и који настављају да горе или буду истрошени након уклањања извора паљења, или - 3 гасовите супстанце и препарати који су запаљиви на ваздуху при нормалном притиску, или - 4 супстанце и препарати који у контакту са водом или влажним ваздухом, развијају високо запаљиве гасове у опасним количинама	<ul style="list-style-type: none"> • Течни отпади који имају температуру паљења нижу од 21°C • Отпад класификован као класа 2 и означени словима F, TF, или TFC према прописима који се односе на међународни транспорт опасних материја на путу, ADR • Отпад класификован као класа 4.1, 4.2 и 4.3 према прописима који се односе на међународни транспорт опасних материја на путу, ADR
H3-B	Запаљив	течне супстанце и препарати који имају тачку паљења једнаку или већу од 21°C и мању или једнаку 55°C	Течни отпад који има температуру паљења нижу од 55°C
H4	Надражујући (иритантан)	супстанце и препарати који нису корозивни и који кроз непосредан, одложен или поновљен контакт са кожом или слузокожом, могу проузроковати запаљење	Ако садржи 10% масених или више, једне или више надражујућих супстанци класификованих као R41 или Ако садржи 20% масених или више, једне или више надражујућих супстанци класификованих као R36, R37 или R 38 према посебном пропису о хемикалијама
H5	Штетан (опасан)	супстанце и препарати који, ако се удишу или гутају или ако продиру кроз кожу, могу укључити ограничене ризике по здравље	Отпад који садржи 25% масених или више, једне или више супстанци класификованих као штетне према посебном пропису о хемикалијама

Административно дефинисање отпада

1	2	3	4
H6	Отрован	супстанце и препарати (укључујући веома токсичне супстанце и препарате) који, ако се удишу или гутају или ако продиру кроз кожу, могу укључити озбиљне, акутне или хроничне ризике по здравље, и чак смрт	Отпад који садржи 0,1% масених или више једне или више супстанци класификованих као веома токсичне према посебном пропису о хемикалијама. Отпад који садржи 3% масених или више једне или више супстанци класификованих као токсичне према посебном пропису о хемикалијама.
H7	Карциноген	супстанце и препарати који, ако се удишу или гутају или ако продиру кроз кожу, могу изазвати рак или његов пораст	Отпад који садржи 0,1% масених или више једне или више супстанци класификованих као карциногене (категорије 1 или 2) према посебном пропису о хемикалијама.
H8	Корозиван	супстанце и препарати који могу уништити живо ткиво при контакту	Отпад који садржи 1% масених или више једне или више супстанци означених као корозивне ознаком R35 према посебном пропису о хемикалијама. Отпад који садржи 5% масених или више једне или више супстанци означених као корозивне ознаком R34 према посебном пропису о хемикалијама.
H9	Инфективан	супстанце и препарати које садрже микроорганизме или њихове токсине, који су познати или се сумња да изазивају обољење код човека или других живих организама	Отпад контаминирани опасним патогеним микроорганизмима у складу са посебним прописима из области заштите здравља људи и здравља животиња.
H10	Токсичан за репродукцију (тератоген)	супстанце и препарати који, ако се удишу или гутају или ако продиру кроз кожу, могу изазвати ненаследне урођене неправилности или њихов пораст	Отпад који садржи 0,5% масених или више једне или више супстанци класификованих као токсично за репродукцију (категорије 1 или 2) према посебном пропису о хемикалијама
H11	Мутаген	супстанце и препарати који, ако се удишу или гутају или ако продиру кроз кожу, могу изазвати наследне генетске недостатке или њихов пораст	Отпад који садржи 0,1% масених или више једне или више супстанци класификованих као мутагене (категорије 1 или 2) према посебном пропису о хемикалијама
H12	Отпад који ослобађа токсичне или веома токсичне гасове у контакту са водом, ваздухом или киселином		Отпад чији укупан садржај ослобађајућих сулфида и цијанида при pH 4 превазилази следеће вредности концентрација: S2 - лако ослобађајући 10000 mg/kg dm CN - лако ослобађајући 1000 mg/kg dm dm – сува маса
H13*	Изазива преосетљивост	супстанце и препарати који, ако се удишу или ако продиру кроз кожу, имају способност изазивања реакције преосетљивости, тако да се даљим излагањем производе карактеристични негативни ефекти * у зависности од расположивих метода тестирања	супстанце и препарати који, ако се удишу или ако продиру кроз кожу, имају способност изазивања реакције преосетљивости, тако да се даљим излагањем производе карактеристични негативни ефекти
H14	Екотоксичан	отпад који представља или може представљати непосредне или одложене ризике за један или више сектора животне средине.	CFHCs, HCFHCs, HFHCs, FHCs, Халони Екотоксичне супстанце дефинисане класом 9, број 11 или 12 према ADR прописима. CFHCs: хлорофлуороугљоводоници; HCFHCs: делимично халогеновани хлорофлуороугљоводоници HFHCs: делимично халогеновани флуороугљоводоници; FHCs: флуороугљоводоници.

1	2	3	4		
H15	Отпад који има својство да на било који начин, након одлагања, производи друге супстанце, нпр. излужевине, које поседују било коју наведену карактеристику (H1-H14)	Отпад код кога укупне вредности концентрација загађујућих материја прелазе следеће вредности концентрација:			
		1. Садржај неорганичних супстанци (екстракт у воденој средини): Жива 20 mg/kg dm или 3 000 mg/kg dm ¹ Арсен ^{2,3} 5 000 mg/kg dm Олово ^{2,3} 10 000 mg/kg dm Кадмијум ^{2,3} 5 000 mg/kg dm			
		¹ односи се на солидификоване отпаде који садрже нерастворна сулфидна једињења			
		² не односи се на витрификовани отпад			
		³ не односи се на легуре челика			
		2. Садржај органичних супстанци:			
		РАН 100 mg/kg dm			
		PCB 100 mg/kg dm			
		PCDD/PCDF 10 000 ng TEF/kg dm ⁴			
		POX 1 000 mg/kg dm			
		Угљоводоници (минерална уља) 20 000 mg/kg dm ⁵			
		ВТХ 500 mg/kg dm			
		Феноли (слободни) 10 000 mg/kg dm			
		⁴ TEF – еквивалентни токсични фактор према пропису из области заштите ваздуха			
		⁵ не односи се на битумен и асфалт			
		Отпад код кога процедурна течност има вредности концентрација које прелазе следеће вредности концентрација у складу са 3.а и течни отпад који има вредности концентрација које прелазе следеће вредности концентрација у складу са 3.б			
		Ред. број	Параметар	Концентрација у процедурној течности mg/kg dm (3.а)	Укупан садржај mg/l (3.б)
		1	2	3	4
		1	pH вредност	6-13	2-11.5
		2	Остатак испаравања на 105°C	100.000	30.000
		3	Антимон Sb	50	5
		4	Арсен As	50	5
		5	Бакар Cu	100	10
		6	Баријум Ва	500	50
7	Берилијум Ве	5	0,5		
8	Бор В	1.000	100		
9	Ванадијум V	200	20		
10	Жива Hg	0,5	0,05		
11	Кадмијум Cd	5	0,5		
12	Калај Sn	1000	100		
13	Кобалт Со	100	10		
14	Никл Ni	500	50		
15	Олово Pb	100	10		
16	Селен Se и Телур Те, укуп.	50	5		
17	Сребро Ag	50	5		
18	Талијум Th	20	2		
19	Хром укупни Cr	300	30		
20	Хром (VI) Cr	20	2		
21	Цинк Zn	1.000	100		
22	Амонијак (NH ₄ ⁺)	10.000	1.000		
23	Нитрити (NO ₂ ⁻)	1.000	100		

1	2	3	4
24	Сулфиди S ²⁻	200	20
25	Флуориди (F ⁻)	500	50
26	Цијаниди укуп.	200	20
27	Цијаниди лако отпуштајући	20	2
28	АОХ (халогена органска једињења која се могу адсорбовати) као Cl	100	10
29	Индекс фенола	1.000	100
30	Полициклични ароматични угљоводоници РАН ⁷	0,5	0,5
31	Укупни угљоводоници осим под ^{6,7}	1000	100
32	Укупни угљоводоници ^{6,7}	50	-

Напомена:
dm - Сува маса
РАН је дефинисан као сума 6 једињења: flouranthene (C₁₆H₁₀), benzo[k]fluoranthene (C₂₀H₁₂), benzo[a]pyrene (C₂₀H₁₂), benzo[g,h,i]perylene (C₂₀H₁₂), benzo[b]fluoranthene (C₂₀H₁₂), indeno[1,2,3-c,d]pyrene (C₂₀H₁₂).
⁶ За отпаде: уљем контаминирано земљиште; остало контаминирано земљиште; отпадни муљ од бушења и отпад који садржи нерафинисано уље; отпадно нерафинисано уље које садржи муљ; отпадна земља, отпадна ископана земља и отпад од рушења који садрже нерафинисано уље, примењује се вредност граничне концентрације од 50 mg/kg dm
⁷ Процедна течност треба да се центрифугира, а не да се филтрира. Процедна течност је дефинисана техничким стандардом. EN 12457-2:2002

"D" и "R" листа упућују на могуће начине одлагања, односно додатног искоришћавања појединих компоненти и делова отпада.

Ове две листе донекле одуарају од горе приказаних листи јер дају препоруке, односно могућности, рециклирања и/или одлагања отпада. Избор методе и места депоновања свакако треба да буде плод инжењерских разматрања, али примена "D" листе служи искључиво као усмерење према могућим методама одлагања. Ову ознаку може да има било који отпад.

Табела 2.6. "D" листа, начини одлагања отпада [Правилник 56/10]

Ознака	Опис начина одлагања
D1	Депоновање отпада у земљиште или на земљиште (нпр. депоније и др.)
D2	Излагање отпада процесима у земљишту (нпр. биодеградиација течног отпада или муљева у земљишту)
D3	Дубоко убризгавање (нпр. депоновање врста отпада које се пумпама могу убризгавати у бунаре, напуштене руднике соли или природне депое)
D4	Површинско депоновање (нпр. депоновање течних или муљевитих врста отпада у јаме, базене или лагуне итд.)
D5	Одлагање отпада у посебно пројектоване депоније (нпр. одлагање отпада у линеарно поређане покривене касете, међусобно изоловане и изоловане од животне средине)
D6	Испуштање у воде, осим у мора, односно океане

Ознака	Опис начина одлагања
D7	Испуштање у мора, односно океане, укључујући утискивање у морско дно
D8	Биолошки третмани који нису назначени на другом месту у овој листи, а чији су коначни производи једињења или смеше које се одбацују у било којој од операција од D1 до D12
D9	Физичко-хемијски третмани који нису назначени на другом месту у овој листи, а чији су коначни производи једињења или смеше које се одбацују у било којој од операција од D1 до D12 (нпр. испаравање, сушење, калцинација)
D10	Спаљивање (инсинерација) на тлу
D11	Спаљивање (инсинерација) на мору. Напомена: Ова операција је забрањена прописима ЕУ и међународним конвенцијама
D12	Трајно складиштење (нпр. смештај контејнера у рудник)
D13	Мешање отпада пре подвргавања било којој од операција од D1 до D12 Напомена: Уколико нема друге одговарајуће D ознаке, у ову категорију се могу укључити припремне операције које претходе одлагању, укључујући и претходну прераду као што су, између осталог, сортирање, дробљење, сабијање, балирање, сушење, сечење, припремање или одвајање пре пријављивања за било коју операцију која је наведена од D1 до D12
D14	Препаковање отпада пре подвргавања било којој од операција од D1 до D13
D15	Складиштење отпада које претходи било којој од операција од D1 до D14 (изузимајући привремено складиштење, током сакупљања, на месту где је произведен отпад)

"R" листа упућује на примену метода рециклирања или регенерације и слично као код "D" листе представља само препоруку или смерницу за даље разрађивање поступка третирања отпада.

Табела 2.7. R листа, додатно или поновно коришћење отпада [Правилник 56/10]

Ознака	Опис отпада	Примедба
R1	Коришћење отпада првенствено као горива или другог средства за производњу енергије	Ово укључује спалионице чврстог комуналног отпада, само ако је њихова енергетска ефикасност једнака или изнад: - 0,60 за постројења у раду и са дозволом за рад до 1.1. 2009. год., - 0,65 за постројења, са дозволом након 31. децембра 2008.године, користећи следећу формулу: Енергетска ефикасност = $(E_p - (E_f + E_i)) / (0,97 \times (E_w + E_f))$ у којој је: E _p - годишња енергија која је произведена као топлотна или електрична енергија. Срачуната је као енергија у форми електричне помножена са 2,6 и топлотне која је произведена за комерцијалну употребу помножена са 1,1 (GJ/ год). E _f - годишњи енергетски унос у систем из горива која доприносе производњи паре (GJ/годишње). E _w - годишња енергија садржана у прерађеном отпаду, која се израчунава помоћу нето топлотне вредности отпада (GJ/годишње). E _i - годишње увезена енергија, искључујући E _w и E _f (GJ/годишње).

Оз-нака	Опис отпада	Примедба
		0,97 - фактор који се односи на енергетске губитке у пепелу на дну и радијацији. Ова формула се употребљава у складу са референтним документом о најбољим доступним техникама за спаљивање отпада.
R2	Регенерација/прерада растварача	
R3	Рециклирање/прерада органских материја који се не користе као растварачи (укључујући компостирање и остале процесе биолошке трансформације)	Ово укључује гасификацију и пиролизу користећи компоненте као хемикалије
R4	Рециклирање/прерада метала и једињења метала	
R5	Рециклирање/прерада других неорганских материјала	Ово укључује чишћење земљишта које доводи до његовог обнављања и рециклирања неорганских грађевинских материјала
R6	Регенерација киселина или база	
R7	Обнављање компонената које се користе за смањење загађења	
R8	Обнављање компонената катализатора	
R9	Ре-рафинација или други начин поновног искоришћења отпадног уља	
R10	Излагање отпада процесима у земљишту који имају корист за пољопривреду или еколошки напредак	
R11	Коришћење отпада добијеног било којом операцијом од R1 до R10	
R12	Промене ради подвргавања отпада било којој од операција од R1 до R11	Уколико нема друге одговарајуће R ознаке, ово може укључити припремне операције које претходе операцијама поновног искоришћења, укључујући и претходну прераду као што су, између осталог, демонтажа, сортирање, дробљење, сабијање, балирање, сушење, сечење, припремање, препакивање, одвајање или мешање пре пријављивања за било коју операцију која је наведена од R1 до R11.
R13	Складиштење отпада намењених за било коју операцију од R1 до R12 (искључујући привремено складиштење отпада на локацији његовог настанка)	

Како се отпад административно класификује може се видети из наредног примера:

Пример:	
Врста отпада:	отпадни изолациони материјали који садрже азбест
Каталогски број:	17 06 01*
Испитивања:	Извештај лабораторије број 12-11-0XXX/25.08.20XX.
Q листа:	Q16 (Било који други материјали, материје или производи који нису обухваћени у горе наведеним категоријама)
Y листа:	Y40
C листа:	C25 азбест (прашину и влакна)
H листа:	H7 Карциноген (Супстанце и препарати који, ако се удишу или гутају или ако продиру кроз кожу, могу изазвати рак или његов пораст)
Карактер отпада:	опасан
Количина отпада:	8 тона
D листа:	D5 (Одлагање отпада у посебно пројектоване депоније нпр. одлагање отпада у линеарно поређане покривене касете, међусобно изоловане и изоловане од животне средине)

2.5.3. Листе отпада према Базелској конвенцији

Закон о потврђивању Базелске конвенције о прекограничном кретању опасних отпада и њиховом одлагању ("Службени лист СРЈ - Међународни уговори", број 2/99) обезбеђује међународно усаглашене механизме и инструменте за контролу прекограничног кретања отпада; Сачињена је 22. марта 1989. године у Базелу, а код нас потврђена 1999.г.

У смислу ове Конвенције као "**опасни отпади који подлежу прекограничном кретању**" третирају се:

- Отпади који припадају било којој категорији садржаној у Анексу I, уколико не поседују било какве карактеристике садржане у Анексу III; и
- Отпади који нису обухваћени тачком 1(а), али су дефинисани, или се сматрају опасним отпадима у складу са домаћим законима Стране извоза, увоза или транзита.

Као "други отпади" третирају се отпади који припадају било којој категорији садржаној у Анексу II, и који подлежу прекограничном кретању.

Конвенција се не односи на следеће (потенцијално) опасне отпаде:

- Отпади који као радиоактивни подлежу другим међународним системима контроле,
- Отпади који потичу од нормалних операција брода, чије испуштање регулише неки други међународни инструмент.

Све државе потписници ове конвенције су сагласне да спрече производњу опасног отпада, али и да контролишу токове и управљају кретањем тог отпада на територији своје државе уз забрану извоза таквог отпада у државе које то општим актима или појединачно за неки отпад не дозвољавају.

Потписнице су се сагласиле да је незаконит промет опасних отпада или других отпада кривично дело.

Конвенција детаљно прописује процедуре извоза и увоза опасног отпада, односно транзита преко неке државе.

У **Анексу I**, као опасни отпади, који подлежу одредбама Базелске конвенције наведени су (*не треба мешати ову У листу са претходном*):

Токови отпада

- Y1 Клинички отпади настали услед лечења у болницама, медицинским центрима и клиникама
- Y2 Отпади из производње и припреме фармацеутских производа
- Y3 Отпади фармацеутских производа, дрога и лекова
- Y4 Отпади из производње, формулација и коришћења биоцида и фитофармацеутских производа
- Y5 Отпади из производње, формулација и коришћења хемикалија за заштиту дрвета
- Y6 Отпади из производње, формулација и коришћења органских растварача

- Y7 Отпади из операција загревања и одгревања које садрже цијаниде
- Y8 Отпадна минерална уља која не одговарају својој првобитној намени
- Y9 Отпадне смеше уља/вода, мешавине угљоводоника/воде, емулзије
- Y10 Отпадне супстанце и предмети који садрже или су загађене полихлорованим бифенилима (PCBs) и/или полихлорованим терфенилима (PCTs) и/или полибромованим бифенилима (CPBPs)
- Y11 Резидуални отпади из процеса прераде нафте, дестилације и сваког другог пиролитичког третмана
- Y12 Отпади из производње, формулације и коришћења мастила, боја, пигмената, фарби, лакова, фирнајза
- Y13 Отпади из производње, формулација и коришћења смоле, латекса, супстанци које пластифицирају друге супстанце, лепила/адхезива
- Y14 Отпадне хемијске и супстанце настале у истраживачком и развојном раду, које нису идентификоване и/или су нове и чији ефекти на човека и/или околину нису познати
- Y15 Отпади експлозивне природе који не подлежу другим законским актима
- Y16 Отпади из производње, формулација и коришћења фотографских хемикалија и материјала за развијање
- Y17 Отпади који настају код површинског третмана метала и пластике
- Y18 Остаци од операција одлагања индустријског отпада

Отпади имају као састојке:

- Y19 Метални карбонили
- Y20 Берилијум: једињења берилијума
- Y21 Једињења шестовалентног хрома
- Y22 Једињења бакра
- Y23 Једињења цинка
- Y24 Арсен: једињења арсена
- Y25 Селен: једињења селена
- Y26 Кадмијум: једињења кадмијума
- Y27 Антимон: једињења антимона
- Y28 Телуријум: једињења телуријума
- Y29 Жива: једињења живе
- Y30 Талијум: једињења талијума
- Y31 Олово: једињења олова
- Y32 Једињења неорганског флуора осим калцијум флуорида
- Y33 Неоргански цијаниди
- Y34 Кисели раствори или киселине у чврстом стању
- Y35 Базни раствори или базе у чврстом стању
- Y36 Азбест (прашина и влакна)

- Y37 Органска једињења фосфора
- Y38 Органски цијаниди
- Y39 Феноли: једињења фенола укључујући хлорофеноле
- Y40 Етери
- Y41 Халогенизирани органски растварачи
- Y42 Органски растварачи искључујући халогенизиране раствараче
- Y43 Сваки конгенор полихлорованог дибензо-фурана
- Y44 Сваки конгенор полихлорованог дибензо-п-диоксина
- Y45 Органохалогена једињења осим супстанци које се наводе у овом Анексу (нпр. Y39, Y41, Y42, Y43, Y44).

У **Анексу II** наведене су категорије отпада које захтевају специјалне консидерације:

- Y46 Отпади из домаћинства
- Y47 Остаци од спаљивања отпада из домаћинства

У **Анексу III** дата је листа опасних карактеристика, која обухвата:

- H1 Експлозив
- H3 Запаљиве течности
- H4.1 Запаљиве чврсте материје
- H4.2 Супстанце или отпади склони спонтаној запаљивости
- H4.3 Супстанце или отпади који, у контакту са водом емитују запаљиве гасове
- H5.1 Оксидирајуће
- H5.2 Органски пероксиди
- H6.1 Отровне (акутне)
- H6.2 Заразне супстанце
- H8 Корозивне
- H10 Ослобађање токсичних гасова у контакту са ваздухом или водом
- H11 Токсичне (накнадне или хроничне)
- H12 Екотоксичне
- H13 Могу, на сваки начин након одлагања, нпр. оцеђивања, произвести неку од горе наведених особина.

Анекс IV доноси попис операција одлагања (D листа) и операције које могу водити регенерацији, рециклирању, преради, директној поновној употреби или алтернативним употребама извора (R листа).

Анекс V даје практична упутства о информисању о кретању отпада, а **Анекс VI** о арбитражи.

Анекс VIII даје листу А. Отпад који се сматра опасним сходно члану 1, тачка 1 (а) Базелске конвенције, и његово стављање на овај анекс не искључује позивање на Анекс III у циљу демонстрирања да одређени отпад није опасан, а то су:

- A1 Метал и отпади који садрже метал А од 1010 до А1180
- A2 Отпад са претежно неорганским састојцима, који може да садржи метале и органске материје од А2010 до А2060
- A3 Отпад који претежно садржи органске супстанце, а може да садржи и метале и неорганске материје од А3010 до А3190
- A4 Отпади који могу да садрже неорганске или органске састојке од А4010 до А4160

Анекс IX доноси листу Б, Отпад који не потпада под члан 1, тачка 1 (а) Базелске конвенције, изузев ако не садржи материје из Анекса I у таквој мери да испољава неко од својстава из Анекса III

- B1 Метални отпад и отпади који садрже метал од В1010 до В1240
- B2 Отпад са претежно неорганским састојцима, који може да садржи метале и органске материје од В2010 до В2120
- B3 Отпади са претежно органским састојцима, који могу да садрже и метале и неорганске материје од В3010 до В3140
- B4 Отпади који могу да садрже органске или неорганске састојке од В4010 до В4030

Србија је "**Уредбом о листама отпада за прекогранично кретање, садржини и изгледу докумената који прате прекогранично кретање отпада са упутствима за њихово попуњавање**" ("Сл. гласник РС" 60/2009) дефинисале листе опасног отпада чији увоз је забрањен, који се могу увозити и чији извоз и транзит су дозвољени. Истом уредбом је дата и листа неопасног отпада чији је увоз, извоз и транзит дозвољен.

Србија је донела и "**Уредбу о листи неопасног отпада за који се не издаје дозвола, са документацијом која прати прекогранично кретање**" ("Сл. гласник РС" 102/2010) и "**Уредбу о одређивању појединих врста опасног отпада које се могу увозити као секундарне сировине**" ("Сл. гласник РС" 60/2009).

У пракси илегалног транспорта опасног отпада кршење ове конвенције је често. Процењује се да се од 44 милиона тона произведеног опасног отпада у току једне године око 9 милиона тона (око 20%) илегално транспортује из богатих у сиромашне земље у којима се врши неконтролисано и у нетехничким условима депоновање ("разбацивање") овога отпада [Clapp, -].

Литература

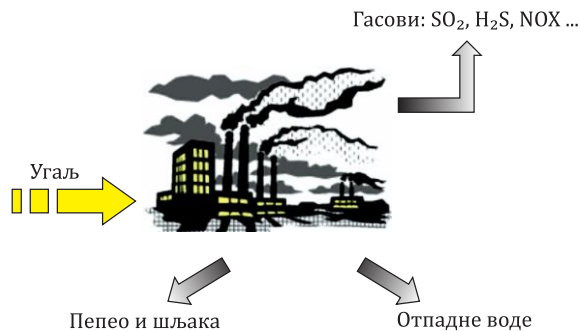
- [1] Anon, (2012), Characterization of waste – Overall guidance document for characterization of waste from the extractive industries, European committee for standardization, CEN, Brussels
- [2] Правилник о категоријама, испитивању и класификацији отпада, Сл. гласник, 56/2010
- [3] Закон о управљању отпадом, Сл. гласник РС, 36/2009, 88/2010, 14/2016
- [4] Уредба о условима и поступку издавања дозволе за управљање отпадом, као и критеријумима, карактеризацији, класификацији и извештавању о рударском отпаду, Сл.
- [5] Уредба о одлагању отпада на депоније ("Сл. гласник РС", 92/10)
- [6] Blight G., (2010), Geotechnical Engineering for Mine Waste Storage Facilities, CRC Press, Boca Raton
- [7] Средојевић Ј., (2006), Рециклажа отпада, Универзитет у Зеници, Машински факултет, Зеница
- [8] Grupa autora, 2000, The Abandoned Mine Site Characterization and Cleanup Handbook, EPA 910-B-00-001, EPA, Seattle, WA
- [9] Directive 75/442/EEC Waste framework directive
- [10] Directive 91/689/EEC on hazardous waste
- [11] Directive on waste 2006/12/EC
- [12] Directive 2008/98/EC on waste and repealing certain Directives
- [13] Directive 2006/21/EC of the European Parliament and of the Council on the management of waste from the industries
- [14] Directive 99/31/EC Landfill waste directive "Official Journal of the European Communities" L 182/1 od 16.07.1999.
- [15] Закон о заштити животне средине, Сл. гласник РС 135/04, 135/2004, 36/2009, 36/2009, 72/2009, 43/2011
- [16] Правилник о категоријама, испитивању и класификацији отпада, Сл. Гласник, 56/2010
- [17] European Waste Catalogue and Hazardous Waste List, <http://www.environment-agency.gov.uk/static/documents/GEN01105BJVS-e-e.pdf>
- [18] Реџић Н., Ђорђевић Љ., Дукић И., Мисајловски Н., Михаиловић Л., (2010), Каталог отпада, Упутство за одређивање индексног броја, Агенција за заштиту животне средине, Београд
- [19] Уредба о условима и поступку издавања дозволе за управљање отпадом, као и критеријумима, карактеризацији, класификацији и извештавању о рударском отпаду, Сл. Гласник, 53/2017
- [20] Clapp J., Seeping Through the Regulatory Cracks: The International Transfer of Toxic Waste, TIPEC Working Paper 01/1, <http://www.trentu.ca/org/tipec/clapp1.pdf>

3. УЗОРКОВАЊЕ ОТПАДА



У овом поглављу обрађени су основни појмови везани за узорковање индустријског отпада. Дат је преглед техника узорковања које имају најчешћу примену, плана узорковања, минималне количине и броја потребних узорака у зависности од карактеристика отпада и методе припреме и презервације узетих узорака. Посебна пажња је посвећена узорковању депонија индустријског отпада, са нагласком на хидрауличким депонијама.

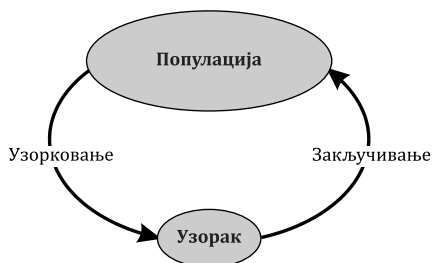
Узорковање отпадних материјала и материјала који се испитују ради њихове валоризације попут минералних сировина, битно се разликује, првенствено у чињеници да је циљ узорковања отпада најчешће непрофитабилан. Индустријски отпад се може наћи у у различитим облицима и агрегатном стању и најчешће је изразито хетерогеног састава (слика 3.1), те је врло тешко установити универзални „рецепт“ за његово узорковање.



Слика 3.1. Пример индустријског отпада различитог агрегатног стања

3.1. Опште о узорковању

Узорковање је комплексан процес одабирања репрезентативних узорака из основног скупа - популације који се врши како би се доносили закључци о читавој популацији без да се испитује сваки њен члан (слика 3.2). Представља један од најбитнијих корака у процесу карактеризације отпада, те је дисциплинованост и поштовање правила узорковања од суштинског значаја за целовитост података о неком отпаду.



Слика 3.2. Однос популације и узорка

Како се отпад може наћи у различитим облицима (течности, пасте, зрнасти, прашкасти...) и у различитим амбалажама (цеви, бурад, танкови ...), тако постоје различити фактори које би требало узети у обзир при узорковању. Процес узорковања је утолико комплекснији, уколико је отпад који се узоркује хетерогенији.

Теорија узорка почива на ставу да се сви подаци који се одреде на узорку за који се претпоставља да је репрезентативан, могу усвојити за читаву популацију која се испитује.

Фактори који утичу на узорковање су:

- Минимална количина узорка
- Минимални број узорака
- Опрема за узорковање
- Обученост лица која врше узорковање

- Техника узорковања
- Врста узорка
- Презервација и чување узорака
- Одабир интервала поверења
- Грешке узорковања

Сваки од ових фактора утиче на релевантност резултата добијених на основу узорака и зато је потребно поштовати одређена правила.

3.2. Основни појмови у узорковању

Скуп свих елемената са неком заједничком особином која је предмет посматрања зове се *статистички скуп*, *основни скуп* или **популација**. Популација има *просторну* и *временску дефиницију*. *Просторна дефиниција* популације подразумева одређивање њене територије. *Временска дефиниција* подразумева моменат или раздобље у ком ће се обухватити сви елементи које улазе у популацију.

Циљна популација је популација о којој се доносе закључци. Дефинисање циљне популације није лак задатак јер од правилно дефинисане циљне популације зависи поузданост добијених резултата. Дефинише се пре узорковања, на основу циљева узорковања и требало би да буде разумљива свим лицима укљученим у узорковање [Smith, 2013].

Оквир узорковања је већи подскуп циљне популације из ког се врши одабир узорка. Што је оквир већи, то је грешка статистичког закључивања мања.

"Врућа тачка" је место у популацији где је концентрација неког параметра од интереса изразито већа него у његовој околини [NSW, 1995].

Врло је битно приликом узорковања утврдити **идејни модел** предмета узорковања. Идејни модел идентификује предмет узорковања, дефинише површину области која би могла бити бити под његовим утицајем, идентификује све битне медијуме у околини који би могли бити угрожени, руте и механизме деловања, као и проходне путеве до њих, слика 3.3. [EPA, 2007].

Узорак је подскуп основног скупа (популације) и представља само средство којим се долази до података о карактеристикама скупа, што значи да узорак сам по себи није циљ, већ апарат да се дође до неког битног параметра основног скупа – популације [Ловрић, 2008].

Репрезентативан узорак је узорак који у потпуности представља популацију из које је узет, и то у погледу њених физичких, хемијских, минералošких, геомеханичких, биолошких, термичких и других особина. На основу њега се доносе закључци о читавој популацији која је предмет испитивања. Овај процес се у статистици зове *статистичко оцењивање*.

Репрезентативност узорка може бити *просторна* и *временска*. *Просторна* репрезентативност подразумева да узорак представља циљну популацију у сваком делу њене површине или запремине коју заузима, док *временска* репрезентативност подразумева да узорак представља изворну популацију у одређено доба дана или године.



Слика 3.3. Дефинисање идејног модела на примеру депоније као извора загађења

Примена метода узорка неминовно доводи до могућности грешке у статистичком закључивању. Разлог томе је што узорак скоро никада не може бити савршено репрезентативан, сем у два случаја [Ловрић, 2008]:

- када је по величини једнак скупу (када се врши статистички попис сваке јединице скупа), и
- када је скуп апсолутно хомоген, односно састављен од идентичних јединица посматрања.

Како су репрезентативни узорци једини узорци од интереса при било ком испитивању, може се рећи да нерепрезентативни узорци не постоје, односно, сваки узети узорак се сматра априори репрезентативним.

3.3. Врсте узорака

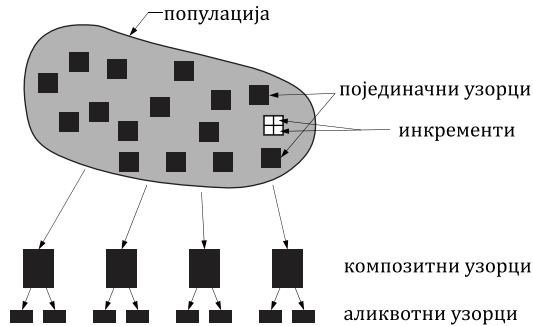
Одабир врсте узорака који ће се узорковати зависи од врсте анализа, периода узорковања, услова у којима се узоркује, као и од буџета предвиђеног за узорковање.

Постоје две основне врсте узорака :

- **Појединачни узорак** – узорак који је узет са једног места узорковања и у зависности од капацитета опреме за узорковање и минималне количине узорка, може бити сачињен од једног или више *инкремента*, узорака узетих у једном „потезу“ [СРПС, 2009а]. Ова врста узорака се узоркује када се испитује расподела неког анализата од интереса у популацији, анализирају његове минималне и максималне вредности.

- **Композитни узорак** – узорак који је сачињен од више појединачних узорака, узетих са различитих места узорковања. Ова врста узорка се узоркује када се испитује неко просечно стање у популацији. Узорак добијен скраћивањем композитног узорка за потребе лабораторијских анализа назива се *аликвотни узорак*.

Врсте узорака приказане су на слици 3.4.



Слика 3.4. Врсте узорака

Постоји четири типа композитних узорака [U.S. EPA, 1995]:

- **Просторни** – сачињен од више од појединачних узорака једнаких запремина, узетих широм неке дефинисане површине, на исти начин и са исте дубине;
- **Вертикални** – сачињен од више појединачних узорака узетих са различитих дубина једне бушотине. Појединачни узорци су узети на исти начин и истих су запремина.
- **Проточни** – узорак је сачињен пропорционално неком протоку током времена композитног узорковања тако да су узете једнаке количине појединачних узорака у различито време, или различите количине појединачних узорака у исто (константно) време. Односи се на узорковање отпадних вода или неког воденог тока/млаза.
- **Временски** – сачињен од различитог броја појединачних узорака који су подједнаке запремине, узетих у једнаким временским интервалима током периода композитног узорковања. Односи се на узорковање отпадних вода или неког воденог тока/млаза.

У смислу облика у ком се узорци узимају, разликују се:

- **Непоремећени узорци** – су узорци који верно осликавају стање медијума, без мешања дуж вертикалног стуба и обично су у виду језгара. Користе се за детаљније анализе популације. Најчешће се узоркују помоћу цилиндричних узоркивача.
- **Поремећени узорци** – су узорци који се најчешће узимају са површинског слоја популације која се узоркује, лакше се узимају него непоремећени, али увек постоји дилема колико верно приказују стање медијума јер неминовно долази до мешања узорка дуж вертикалног стуба. Користе се за простије анализе популације. Најчешће се узоркују помоћу кашика и лопатица.

3.4. Грешке

Грешке представљају одступање измерене вредности од стварне вредности параметра.

Грешке се могу поделити на:

- Грешке узорковања,
- Грешке закључивања.

3.4.1. Грешке узорковања

Грешке при узорковању су неизбежне. Међутим, да би се на величину грешке могло утицати потребно је установити факторе који на њу утичу.

На грешку узорковања утичу [Smith, 2003]:

- Неадекватно прикупљање узорака (лоше дефинисање циљне популације, места узорковања, временске и просторне промене, неадекватан прибор за узорковање...)
- Контаминирање узорка приликом самог чина узорковања
- Неадекватно чување и презервација узорака које резултује променом квалитета узорка
- Неадекватна количина узетог узорка

Пјер Жи (*Pierre Gy*) је грешке које се манифестују приликом неког испитивања класификовао према њиховом пореклу. Тако је **укупне грешке (УГ)** поделио у две основне групе:

- 1) **Грешке узорковања (ГУ)** – које потичу од некоректно спроведене процедуре узорковања и опреме за узорковање (материјалне грешке);
- 2) **Грешке припреме (ГП)**– које потичу од оперативних грешака у процесу припреме узоркованог материјала (уситњавања, транспорта и сл.);

Грешке узорковања (ГУ) се у свакој фази узорковања састоје од седам независних типова грешака [Gy, 1976]:

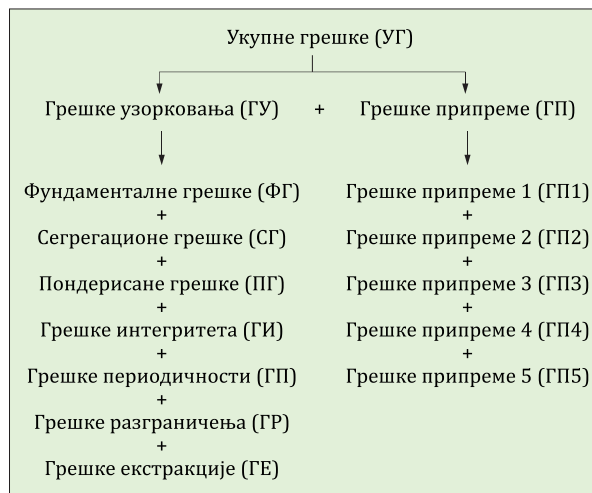
- 3) **Фундаменталне грешке (ФГ)**- извор већине грешака узорковања. Не могу бити елиминисане, али могу бити процењене. Појављују се као последица појаве неподударна састава свих зрна отпада. Резултат су варијабилитета и мања прецизности. У функцији су: минералшког фактора, степена ослобођења зрна, фактора облика зрна, гранулометријског састава, горње граничне крупноће зрна, масе узорка [Smith, 2003].
- 4) **Сегрегационе грешке (СГ)** – јављају се као последица тога што нису све честице насумично распоређене у отпаду. На њих утичу облик, величина зрна и масена концентрација. Могу бити умањене једноставним случајним узорковањем и прикупљањем великог броја узорака [Smith, 2003].
- 5) **Пондерисане грешке (ПГ)** – јављају се услед неједнаке густине узоркованог материјала.
- 6) **Грешке интегритета (ГИ)** – јављају се услед далекосежне дистрибуционе хетерогености узоркованог материјала.

- 7) **Грешке периодичности (ГП)**– јављају се услед периодичних варијација у квалитету узоркованог материјала.
- 8) **Грешке разграничења (ГР)** – јављају се услед неадекватне запремине узоркованог материјала.
- 9) **Грешке екстракције (ГЕ)**- јављају се када се не следи правилна процедура за узимање узорака.

Грешке припреме (ГП) се у свакој фази припреме узорка састоје из пет независних грешака [Gu, 1976]:

- 1) **Грешке припреме 1 (ГП 1)** – јављају се услед губитка дела узорка.
- 2) **Грешке припреме 2 (ГП 2)** - јављају се услед контаминације узорка.
- 3) **Грешке припреме 3 (ГП 3)**– јављају се услед случајне алтерације критичних карактеристика које се анализирају на узорку.
- 4) **Грешке припреме 4 (ГП 4)**– јављају се услед ненамерних грешака лица која припремају узорке (спајање суб-узорака који припадају различитим узорцима).
- 5) **Грешке припреме 5 (ГП 5)**– јављају се услед намерних алтерација карактеристика које се анализирају на узорку.

На слици 3.5 приказана је подела свих набројаних грешака.



Слика 3.5. Класификација грешака према Pierre Gu, 1976

Фундаменталне, сегрегационе, пондерисане грешке, грешке интегритета и периодичности се могу утврдити квантитативно. Њихова аритметичка средина и варијанса се могу утврдити експериментално.

Грешке разграничења, екстракције и припреме се могу утврдити квалитативно. Не могу се проценити експериментално, али уз поштовање одређених правила могу се потиснути.

Класификација грешака узорковања омогућава формирање логичног поретка за аудит саме процедуре узорковања. Аудит укључује следеће кораке [Minkinen, 2004]:

- 1) Провера опреме и процедуре узорковања у смислу испуњености правила коректног узорковања. Коректно узорковање у многоме елиминира грешке *пондерисања, разграничења, екстракције и припреме узорка*. Овај корак је круцијалан.
- 2) Процена преосталих грешака (*фундаменталне, сегрегационе, интегритета и периодичности*) и њихове зависности од величине узорка и фреквенције узорковања.
- 3) Утврђивање свеукупног прихватљивог нивоа поверења или трошкова испитивања уз дефинисање аспеката узорковања попут величине узорка, технике узорковања и фреквенције узорковања, како би се постигли циљеви везани за поверење и буџет.

3.4.2. Грешке закључивања

Грешке при закључивању које настају због нерепрезентативности узорка се сврставају у две групе:

- **Случајне**, и
- **Систематске**.

Случајне грешке су грешке које су могуће при сваком раду. Код ових грешака не може се установити проблем у ком ће се развијати, нити предзнак. Упркос тој чињеници, случајне грешке се врло добро уклапају у статистичка правила. Њихова величина се умањује са повећањем узорка, јер већи узорак обухвата и већи део популације [Гржетић, -]. Дефинише се као разлика између стварне и оцењене вредности параметра који се израчунава и одражава ризик везан за примену методе узорка, а то је да између структуре основне популације и структуре узорка постоји неизбежна разлика [Ловрић, 2008]. Случајна или *узорачка грешка* је разлика између статистике узорка и вредности параметра основног скупа [Пешић, 2013].

Систематска грешка је специфичан тип грешке који се може утврдити, а који систематски мења вредност одређену мерену вредност. Има увек исти предзнак и величину. Врло је битно препознати је, да би се сваки добијени резултат могао прерачунати [Гржетић, -]. Често се при закључивању појављује овакав тип грешке због лошег оквира из ког се бира узорак, јер је често немогуће узорак бирати из читаве популације.

3.5. Мерна несигурност и оцене мерења

Свако мерење је нетачно и захтева исказ о мерној несигурности да би се та нетачност квантификовала. Грешка и мерна несигурност нису исто. Ако је грешка одступање измерене од праве вредности, **мерна несигурност** је квантификација сумње у резултат мерења. Мерна несигурност је параметар који придружен резултату мерења изражава квалитет исказаног резултата [Тренкић, 2010, Пешић, 2013].

$$\left. \begin{array}{l} \text{Несигурност узорковања} \\ + \\ \text{Несигурност аналитичког процеса} \end{array} \right\} \text{Несигурност мерења}$$

На мерну несигурност утичу [Пешић, 2013]:

- Коришћени еталони и референтни материјали - несавршеност еталона или референтних материјала;
- Примењена метода мерења – неадекватно примењена мерна метода, нејасни захтеви, систематске грешке...
- Коришћена опрема – неадекватно еталонирана опрема, праг осетљивости, резолуција...
- Услови околине – недовољно познавање утицаја околине на поступак мерења;
- Особине и стања узорка – нерепрезентативност узорка, лоша презервација и припрема узорка;
- Лица која врше мерења – недовољна обученост лица која врше мерење;

Како целокупан процес анализе неког анализата тече, приказано је на слици 3.6.

Свако мерење захтева евалуацију добијених резултата помоћу оцена.

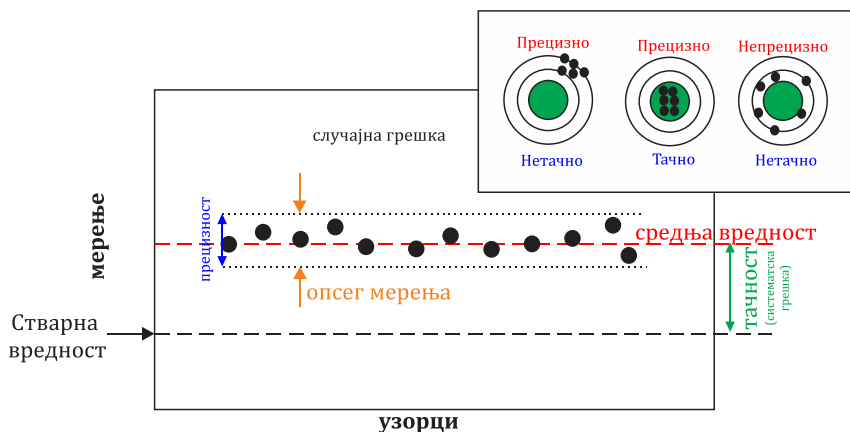
Основна својства оцена које се добијају помоћу узорака [Тренкић, 2010]:

- **Непристрасност** је непостојање разлике између аритметичке средине узорачке дистрибуције и параметра основног скупа чија се вредност оцењује.
- **Прецизност** означава колико је резултат неког мерења близу резултата који се добијају понављањем тог истог мерења под истим условима. Изражава се **систематском** грешком.
- **Тачност** је квалитативан појам и означава колико је добијени резултат неког мерења близу стварне вредности.



Слика 3.6. Процес анализе неког анализата

Својства оцена приказана су на слици 3.7.



Слика 3.7. Прецизност и тачност резултата

Резултат се сматра тачним ако је разлика између измерене и стварне вредности параметра унутар дозвољених граница. Најчешће је стварна вредност параметра непозната, те је и поузданост резултата мерења непозната. Тада је препоручљиво ослањати се на статистичке теорије, како би се умањила систематска грешка, а повећала поузданост добијених резултата [Gupta, Yan, 2006].

Случајне грешке се односе на случајне варијације прецизности података, док се систематске грешке односе на пристрасности, или вредности које су доследно више или ниже од праве вредности.

Када је резултат тачан, не мора да значи и да је прецизан. Када је резултат нетачан и непрецизан то значи да је лоша поновљивост резултата. Резултат је репрезентативан када је прецизан и тачан.

3.6. Технике узорковања

Узорковање може бити засновано на два приступа:

- **Пробабалистички** приступ – када сваки члан неке популације има подједнаку вероватноћу да буде изабран и лице које врши узорковање насумично врши узорковање;
- **Непробабалистички** приступ- када је вероватноћа одабира узорака из популације непозната, односно, када неки узорци имају већу вероватноћу одабира од других и одабир искључиво зависи од воље лица које врши узорковање;

У зависности од одабраног приступа узорковања, може се одабрати неколико техника узорковања које се међусобно разликују по томе у коликој мери је насумичност присутна у узорковању.

Према ЦЕН/ТР 15310-1 основне технике са пробабалистичким приступом су:

- једноставно случајно узорковање,
- стратиграфско случајно узорковање и
- систематско узорковање.

Док се као техника са непробабилистичким приступом наводи *експертско („judgemental“) узорковање*.

Поред набројаних, постоје још неке иновативне технике узорковања, попут *кластер узорковања* и *узорковања скупа ранжираних јединица*, које заправо представљају благо модификоване основне пробабилистичке технике узорковања.

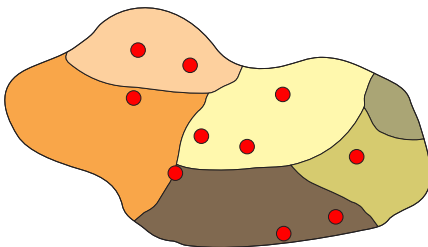
Одабир адекватне технике узорковања зависи од услова у којима се узорковање врши, приступачности популације која се узоркује, дефинисаног буџета за потребе узорковања, резултата неких ранијих испитивања популације од интереса и томе слично.

3.6.1. Једноставно случајно узорковање

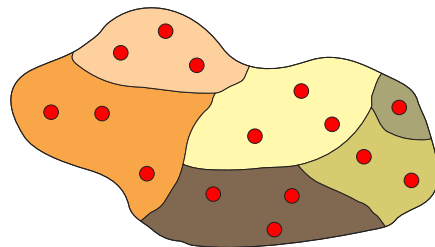
Једноставно случајно узорковање представља једину технику која је у потпуности насумична, односно, код које сваки члан популације има подједнаку вероватноћу да буде одабран.

Све тачке/локације узорковања у отпаду су идентификоване пре самог узорковања, а потом се насумично узоркује одређен број узорака [Lemieux, Ryan, 1993].

Врло је једноставна и подразумева да популација која се узоркује буде *коначна* и *пребројива*, да сви делови популације буду приступачни лицу које врши узорковање и да има јасно дефинисане просторне и/или временске границе. Представља основу свих других пробабилистичких техника узорковања [Gilbert, 1987]. Препоручује се за примену када се о популацији ништа не зна јер једино она може гарантовати истинску репрезентативност узорака. Омогућава правилну примену статистичких правила. Управо због своје насумичности, може проузроковати то да неки делови популације која се узоркује не буду покривени узетим узорцима (слика 3.8).



Слика 3.8. Једноставно случајно узорковање



Слика 3.9. Стратиграфско случајно узорковање

Ова техника је врло погодна за изразито хетерогене популације, док се не препоручује код популација код којих има „врлућих тачака“ или које су стратификоване на неки начин [Lemieux, Ryan, 1993].

Елиминише појаву систематских грешака, али није имуна на случајне грешке. Уколико је популација која се узоркује велика, узорци могу бити бројни, гломазни и тешки за обраду, те може проузроковати и велике трошкове узорковања [U.S. EPA, 2002].

3.6.2. Стратиграфско случајно узорковање

Стратиграфско случајно узорковање подразумева поделу популације на мање суб-популације, тзв. *стратуме* који представљају хомогене целине унутар хетерогене популације. Подела популације на стратуме врши се експертски, на основу познатих, уочљивих карактеристика по којима се стратуми међусобно разликују, док се одабир узорака унутар сваког стратума врши насумично, *једноставним случајним узорковањем*. Одабир броја узорака који се узимају унутар сваког стратума би требало да се усваја на основу удела популације који она има у датом стратуму (слика 3.9). Ова техника подразумева да популација буде дељива на стратуме и да се дефинисани стратуми не преклапају. Омогућава да се врше међусобна поређења карактеристика стратума унутар исте популације.

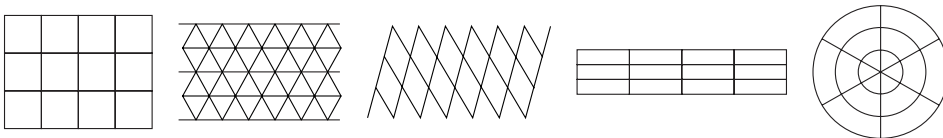
Подразумева да се о популацији која се узоркује зна више информација, него што је то потребно приликом примене једноставног случајног узорковања [Lemieux, Ryan, 1993].

Предност стратиграфског у односу на једноставно случајно узорковање је у томе што се са истим бројем узорака може постићи боља покривеност и тако добити реалнији подаци о популацији.

Ова техника је посебно погодна код хидрауличких депонија индустријског отпада, с обзиром на лако издвајање хомогених стратума унутар ње.

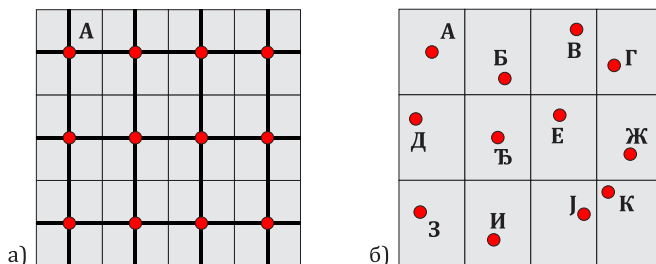
3.6.3. Систематско узорковање

Систематско узорковање подразумева потпуну покривеност популације која се узоркује. Први узорак који се узима се одабира на случајан начин, а потом се сваки следећи узорак узима тако да је једнако удаљен од претходног. Разликује се систематско узорковање по *просторном плану*, када се корак узорковања бира са тачно дефинисаним просторним размаком по шаблону квадратне (најчешће), троугаоне, радијалне или правоугаоне мреже (слика 3.10), и систематско узорковање по *временском плану*, тзв. периодично систематско узорковање (слика 3.12), када се узорци узимају према дефинисаној фреквенцији узорковања, односно, у одређеним временским интервалима [U.S. EPA, 2002],



Слика 3.10. Врсте мреже узорковања

Када се ради о великим популацијама, а с обзиром на потребу за њеном потпуном покривеношћу, ова техника захтева велики број узорака. Такође, када се у популацији која се узоркује нека карактеристика од интереса појављује у једнаким размацама дуж популације, употреба ове технике може проузроковати нерепрезентативност добијених резултата услед поклапања шаблона узорковања са појавом те карактеристике, (слика 3.11.а). У том случају, често је безбедније применити благо модификовану систематску технику узорковања, према којој би се прво аплицирала фиктивна мрежа узорковања на популацију од интереса, а потом унутар сваке ћелије мреже случајно одабрао узорак (слика 3.11.б).



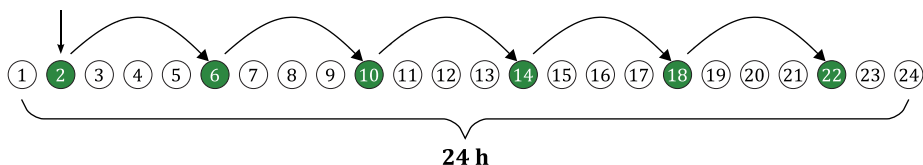
Слика 3.11. Дводимензионално просторно систематско узорковање: а) фиксни распоред места узорковања унутар сваке ћелије мреже, б) случајни распоред места узорковања унутар сваке ћелије мреже

Код просторног плана може се разликовати систематско узорковање у једној, две или три димензије, уколико особина популације који се испитује има ту просторну одлику. Узорковање дуж линије је пример једнодимензионалног узорковања. Узорковање сваког чвора мреже је пример дводимензионалног узорковања. Уколико је узорачка јединица на одређеној дубини медијума, онда мрежа узорковања има и хоризонтални и вертикални правац, то је пример тродимензионалног узорковања.

Уколико се примени квадратна мрежа, лако се може израчунати дистанца између чворова мреже према формули [RCRA, 2002]:

$$L = \sqrt{\frac{A}{n}}$$

где је: L- дистанца између чворова квадратне мреже, m,
 А- површина локације која се узоркује, m²,
 n- број узорака.



Слика 3.12. Периодично систематско узорковање

Прорачуната дистанца би требало да се заокружи на најближи цели број како би се олакшала примена ове технике на терену.

Код временског плана, интервал узорковања се може лако израчунати према једноставној формули [RCRA, 2002]:

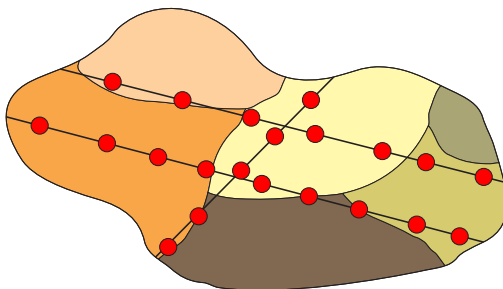
$$k = \frac{N}{n}$$

где је: k - интервал узорковања.

N - укупну дужину времена узорковања, h ,
 n - број узорковања.

Ова техника омогућава релативно лаку примену због своје шаблонске апликације [Lemieux, Ryan, 1993].

У оквиру систематског узорковања, може се разликовати и *пресечно узорковање* које се заснива на успостављању једне или више пресечних линија дуж популације која се узоркује, дуж којих се систематично понављају места узимања узорака (слика 3.13). Пресечне линије могу бити паралелне и непаралелне [U.S. EPA, 1995].



Слика 3.13. Пресечно систематско узорковање

Пресечно узорковање је посебно погодно код узорковања депонија индустријског отпада и одлагалишта отквивке [U.S. EPA, 1995].

Ова техника узорковања је погодна за дијагностиковање врућих тачака због потпуне покривености популације узорцима [Gilbert, 1987]. Са друге стране, није имуна на систематске грешке и код великих популација изискује велики број узорака, што са собом носи високе трошкове [Драгичевић, 2006].

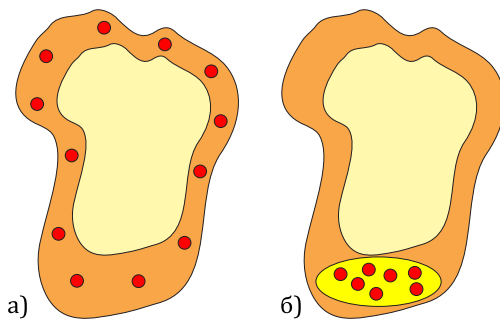
3.6.4. Експертско узорковање

Експертско узорковање подразумева узорковање на основу неког предзнања, искуства о популацији која се узоркује, вузелне инспекције. Идеална је када се захтева мали број узорака, када се врше рутинске, прелиминарне анализе и када се о популацији која се узоркује зна доста података.

Како техника једноставног случајног узорковања фигурише код готово свих осталих техника, тако и експертско узорковање има великог удела у њима. То

практично значи да су све технике узорковања (осим једноставног случајног узорковања) комбинација ове две технике (слика 3.14).

Експертско узорковање је врло једноставно за примену, омогућава уштеду времена и новца с обзиром на мали број узорака који изискује, а резултати који се добију овом техником су једноставни за тумачење.



Слика 3.14. Пример делимично пробабилистичког (а) и непробабилистичког (б) узорковања

Међутим, како је врло субјективна техника и зависи од стручности и процене експертског лица које врши узорковање, ова техника није имуна на систематске грешке [Драгичевић, 2006].

3.7. План узорковања

Узорковање се састоји од плана узорковања, узимања узорака на терену и од презервације узетих узорака.

Ако је процес узорковања најбитнији корак карактеризације отпада, онда би се по истој аналогiji могло рећи да је план узорковања најбитнији корак процеса узорковања јер од њега све полази.

План узорковања представља процедуру по којој се процес узорковања врши. Заправо, план узорковања је писана форма свих корака у узорковању. Циљ дефинисања плана узорковање јесте поновљивост и упоредивост резултата испитивања која се врше са истом намером. Свим корисницима пружа транспарентност.

Према стандарду за узорковање отпада ЦЕН/ТР 15310-1 тачни кораци у дефинисању плана узорковања су следећи [СРПС, 2009а]:

1. Дефинисање **циља** узорковања - Ово би требало да буде општи исказ о укупном циљу и ово је суштински први корак. Међутим, то је обично на доста високом нивоу и превише неконкретно да би директно водило до детаљних упутстава за план узорковања [Европска комисија, 2012].
2. Дефинисање **техничких аспеката** узорковања

- Дефинисање **популације** која ће се узорковати – популацију од интереса би требало ограничити временски и/или просторно. Тачније, мисли се на циљну популацију.
- Оцена **варијабилности** – подразумева оцену у којој мери је циљна популација хомогена, односно, хетерогена. Што је популација хетерогенија, променљивија, како у простору, тако и у времену, то ће план узорковања бити сложенији.
- Одабир **приступа** узорковања – односи се на одабир пробабилистичке или непробабилистичке технике узорковања.
- Одабир **распона** узорковања - распон се дефинише минимална количина материјала испод које се варијације сматрају безначајним [Европска комисија, 2012].
- Одабир одговарајућег **статистичког параметра** који ће се одређивати – у зависности од општег циља узорковања, дефинишу се статистички параметри попут аритметичке средине и стандардне девијације који ће се оцењивати за читаву популацију на основу узетих репрезентативних узорака.
- Одабир одговарајућег **нивоа поверења** (поузданости) – подразумева одабир онога што се у статистици назива вероватноћом да случајна променљива узме вредност из дефинисаног интервала поверења, односно, просто речено, одабир нивоа прецизности са којим се тврди да су резултати испитивања тачни. Најчешћи ниво поверења који се користи је 95%, што би значило да су резултати тачни са прецизношћу од 95%, док се 5% приписује статистичкој грешци.

3. Дефинисање **практичних аспеката** узорковања

- Одабир **технике** узорковања – у зависности од одабраног приступа узорковања, бира се адекватна техника.
- Дефинисање **величине/количине** инкремента/узорка, - подразумева дефинисање минималне количине коју треба узети по узорку, која би требало да обезбеди поузданост података.
- Опредељивање за **појединачни** или **композитни** узорак – у зависности од општег циља узорковања, буџета и хетерогености бира се узорковање и анализирање појединачног или композитног узорка.
- Дефинисање оптималног **броја** узорка - у зависности циља узорковања, буџета и хетерогености популације, усваја се који је то минимални број узорака који би требало узорковати да би се добили поуздани подаци.

4. Усвајање **коначне верзије плана** – сви усвојени кораци се записују са циљем да се поновно узорковање исте популације изврши под истим условима.

Сам план узорковања може бити благо модификован на самом терену, у зависности од затечених услова.

Када је реч о плану узорковања депонија индустријског отпада у сврху карактеризације отпада предлаже се нешто флексибилнија форма [U.S. EPA, 1995]:

- Преглед историјских података о депонији (количине депонованог отпада, места истакања, начин истакања...)
- Карактеризација одложеног отпада, на првом месту физичке и хемијске карактеристике

- Утврђивање топографије терена, геолошке и хидролошке карактеристике терена, укључујући површинске воде, подземне, карактеристике земљишта, као и потенцијалне руте од извора загађујућих материја до рецептора
- Утврђивање демографских и географских информација са циљем да се утврди угрожена популације и супстрати животне средине
- Одабир стратегије узорковања (технике узорковања)
- Утврђивање QA/QC циљева узорковања.

Пример плана за узорковања:

Циљ узорковања: *Средњи садржај арсена у флотацијској јаловини*

Технички аспекти:

- Популација која се узоркује: Флотацијско јаловиште рудника олова и цинка
- Варијабилност: Изразито хетерогена популација унутар које се могу издвојити релативно хомогене суб-популације (стратуми)
- Приступ узорковања: *пробабилитички*
- Распон узорковања: 1 узорак представља 25 m³ одложеног отпада
- Статистички параметар: аритметичка средина и стандардна девијација
- Ниво поверења: $1-\alpha=95\%$

Практични аспекти

- Техника узорковања: Стратиграфско случајно узорковање
- Минимална количина узорка: *1 кг*
- Појединачни/композитни узорак : *Композитни узорак*
- Минимални број узорака: У оквиру сваког стратума узорковаће се према дефинисаном распону онај број појединачних узорака од којих ће се правити по један композитни узорак за сваки стратум посебно.

Усвајање коначне верзије плана

3.8. Контрола узорковања

3.8.1. Систем обезбеђења и контроле квалитета

Пре почетка било ког пројекта који се ради из области животне средине, пројектанти би требало да развију детаљан Систем обезбеђења и контроле квалитета (QA/QC - *Quality assurance/Quality control*) план пројекта. Развијен QA/QC план се у писменој форми доставља надлежном органу који план ревидује и одобрава [USGS, 1994].

Систем обезбеђења и контроле квалитета (QA/QC) је структурно организован и документован управљачки систем који успоставља политику, циљеве, принципе, начин руковођења, одговорност, поузданост и план рада неке организације која се бави истраживањима у животној средини чиме се осигурава квалитетан процес лабораторијског рада и обезбеђује квалитет добијених резултата [Гржетић, -].

Систем квалитета је систем који подразумева обезбеђење квалитета (QA), скуп мера које се предузимају како би се измерио и обезбедио квалитет добијених

података, и контролу квалитета (QC), скуп мера које се предузимају како би се задовољили сви захтеви корисника тих података.

Обезбеђење квалитета (QA) односи се на целокупно управљање системом који обухвата организацију, планирање, прикупљање података, контролу квалитета, документацију, евалуацију и извештавање о активностима. QA даје информације које су потребне да се утврди квалитет података и да ли испуњавају захтеве пројекта. QA осигурава да ли подаци испуњавају дефинисане стандарде квалитета са потребним нивоом поверења [EPA, 1996].

Контрола квалитета (QC) се односи на рутинске техничке активности чија је сврха, у суштини, контрола грешке. Грешка може да се јави било где: на месту узорковања, у лабораторији или у канцеларији. QC треба да укључује и интерне и екстерне мере [EPA, 1996].

Добар QA/QC програм је успешан само ако сви пристану да га користе и ако су све компоненте пројекта доступне у писаној форми [EPA, 1996].

Обезбеђење квалитета је оријентисано на процес добијања података и фокусирано је на превенцију грешке, док је контрола квалитета је оријентисана на податке као крајње производе и фокусирана је на препознавање грешке.

У табели 3.1 дат је упоредни приказ активности у склопу обезбеђења и контроле квалитета [Mitchell, 2006].

Табела 3.1. Активности код обезбеђења и контроле квалитета [Mitchell, 2006]

Обезбеђење квалитета	Контрола квалитета
Предвиђа проблеме пре него што се они догоде	Одговара на уочене проблеме
Користи све расположиве информације да побољша квалитет	Користи резултате актуелних мерења да донесе одлуке о процесима или производима
Није везан за одређени стандард квалитета	Захтева претходно изјашњавање о стандарду квалитета ради поређења
Процењује да ли је примењиво, углавном у фази планирања	Процењује да ли је примењиво, углавном у фази обраде
Процењује да ли је свеобухватно у својим активностима	Процењује да ли је скуп процедура подскуп обезбеђења квалитета

Показатељи контроле квалитета укључују прецизност, тачност, репрезентативност, потпуност, упоредивост и осетљивост [Mitchell, 2006]. Са овим показатељима, могу се оценити извори варијабилности и повећати ниво поверења. Сваки програм узорковања може имати различите нивое прихватљивости ових показатеља, а у зависности од циљева и података који су потребни за испуњење програма.

Прецизност, позната и као репродуцибилност или поновљивост, јесте степен у којем поновна мерења под непромењеним условима показују исти резултат. Непрецизност је резултат недоследне примене правила на терену, при лабораторијским анализама или у оба случаја.

Тачност је степен блискости између измерене количине и њене стварне (праве) вредности. Случајне и систематске грешке током узорковања и анализе узорака смањују тачност. Ако постоји систематска грешка, повећањем величине узорка повећава се прецизност, али се не побољшава тачност. Елиминисање систематске грешке побољшава тачност, али се не мења прецизност.

Систем је **валидан** ако је и тачан и прецизан.

Репрезентативност је квалитативни термин који показује колико подаци одражавају стварно стање популације које се узоркује. Варијабилност узорковања треба свести на минимум како би се осигурала репрезентативност [Mitchell, 2006].

Потпуност је мера количине валидних података потребних за потврду, у програму постављене хипотезе. Неколико статистичких процедура је познато за процену броја узорака потребних за одређени ниво истраживања.

Упоредивост је квалитативни термин који показује колико добро се могу упоредити подаци узети са једног места са другим из исте зоне узорковања. Она упоређује методе прикупљања и руковања узорцима, аналитичке технике и протоколе обезбеђење квалитета.

Осетљивост је способност методе или инструмента да се може одредити и ниска концентрација анализата (аналит, или компонента, је супстанца или хемијски конституент који се мери). То се обично односи на границе детекције или опсег неког инструмента за мерење. Опсег је интервал између најниже и највише концентрације анализата/узорка у коме се тај анализат одређује. Лимит детекције је најмања количина анализата у узорку која се може детектовати, али не и одредити.

Природа и високи трошкови пројеката за контролу, очување или унапређење животне средине захтевају висок степен сигурности ради обезбеђења интегритета стручних или научних података. То захтева израду и одржавање свеобухватног и добро документованог плана за обезбеђење и контролу квалитета пројекта [Гржетић, -].

План обезбеђења и контроле квалитета пројекта настаје као логична последица процеса планирања било каквог подухвата који подразумева сакупљање података и увек треба да задовољи захтеве који произилазе из типа пројекта, врсте података који се сакупљају и одлука које треба да се донесу [Гржетић, 2001].

3.8.2. Надзор спровођења процедура

Пут од узимања узорака до анализе узорака подразумева извршавање неколико хронолошких корака који формирају тзв. надзор спровођења процедура („Chain of custody“, CoC). Циљ овог протокола је да се осигура да су узети узорци у сваком тренутку под надзором одговорне особе. Такође, овакав приступ уклања сумњу да је дошло до било какве злоупотребе узорака и поремећаја њиховог квалитета и омогућава њихову поуздану идентификацију [Loftus, -].

Ако су резултати проистекли из одређеног пројекта предмет било каквог спора, руководиоца пројекта је дужан да достави документацију и доказе да је протокол „ланца надзора“ испоштован [USGS, 1994].

Потребно је испоштовати процедуру руковања узетим узорцима која подразумева следеће [Jadhav, Purohit, 2008; Loftus, -]:

Обележавање узорака. Сви узорци се једнозначно обележавају бројем. Тај број прати узорке од момента када се пакују, до момента када се врши њихова анализа. На гумираним налепницама које се лепе на посуде са узорцима се уписује број узорка, датум узорковања, локација узорковања, као и име лица које врши узорковање. Све то се ради са циљем да не дође до мешања узорака и погрешних резултата.

Запечаћивање узорака. Врши се са циљем спречавања неовлашћеног ремећења узорака пре саме анализе.

Вођење теренског дневника. На самом терену треба завести све информације од важности, као нпр.: локације узетих узорака, опис процедуре и технике узорковања која је спроведена на терену, број узорака, врста узорака, количине узорака итд. Дневник се води за интерне потребе.

Формулар. Потребно је попунити формулар ради праћења сваког узорка или групе узорака. Тај формулар треба да садржи следеће: број узорка, потпис лица које врши узорковање, датум, време и место узорковања, врсту технике узорковања која је примењена, потписе лица која преузимају даље узорке у читавом ланцу и датуме преузимања. Иако формулар садржи скоро исте податке као дневник, то је званични документ који се испоручује заједно за узорцима.

Листа анализа узорка. Ова листа се испоручује заједно са узорцима у лабораторију. На овој листи је потребно унети име лица које преузима узорак у лабораторији, датум преузимања, као поступке које треба спровести.

Достављање узорака у лабораторију. Потребно је узорке доставити у лабораторију на што практичнији и безбеднији начин.

Преузимање узорака. У лабораторији, лице задужено за надзор преузима узорке, проверава њихово стање и жиг, бележи све информације из извештаја и додељује нове бројеве узорцима у лабораторијском дневнику. Потом их смешта на сигурно место одакле их преузима аналитичар.

Анализа узорака. Аналитичар је одговоран за узорке кад доспеју у његове руке. Он обавља крајње анализе.

3.9. Презервација и припрема узорака

Након узимања узорака, а пре њихове анализе у лабораторији потребно је узорке адекватно заштити како не би дошло до промене њиховог састава. Постоји доста техника презервације узорака, а која од њих ће се применити зависи од типа узорка, агрегатног стања популације која се узоркује, времена потребног за допрему узорака у лабораторију, као и од параметара који ће се анализирати.

Време презервације узорака зависи од аналитичке методе, и креће се од 2 до 7 дана, у зависности од осетљивости параметара који се анализирају.

Има више техника презервације узетих узорака: хлађење, залеђивање, концентрисање, елиминација воде, разблаживање, закисељавање, додавање одговарајућих

реагенаса, екстракција из раствора и/или филтрирање [СРПС, 2009а; Далмација, 2011; RBM, 2013]:

Хлађење подразумева смештање узорака у лед или приручни фрижидер одмах након узимања и током њиховог транспорта. Температура хлађења не би требало да буде виша од 6°C. По допремању узорака у лабораторију, док се не крене са њиховом анализом, узорци се смештају у фрижидер у коме температура не сме бити виша од 4°C.

Залеђивање се врши најчешће код узорака код којих се анализирају испарљива једињења, а температуре залеђивања иду и до -70°C [Sava, 1994]. Код узорака који захтевају анализирање на собној температури потребно је извршити одлеђивање и хомогенизацију пре анализе.

Концентрисање узорка може се радити у случају да је количина једињења од интереса сувише ниска да би се детектовала методом анализе.

Елиминација воде врши се када је анализирање узорака потребно вршити у сувом стању.

Разблаживање узорка се повремено спроводи ради побољшања перформанси аналитичких метода.

Закисељавање воде (рН испод 2) се врши ради заштите ретких метала, смањења преципитације и микробиолошке активности и губљења сорпцијом на зидовима контејнера у којем се узорак налази. Ова техника се посебно односи на узорке код којих се анализира алуминијум, кадмијум, хром, бакар, гвожђе, олово, магнезијум, сребро и цинк.

Додавање реагенаса се врши ради хемијске заштите аналитичких параметара. Избор реагенаса треба направити тако да они не загађују узорак (нпр. не користи се азотна киселина ако се анализирају нитрати).

Екстракција из раствора се врши када се анализира неки састојак из матрикса као што су органски полутанти (хидрокарбонати, PAH и неки пестициди).

Филтрирање на лицу места се врши:

- када се органски или неоргански загађивачи адсорбују на суспендоване честице у води, и
- када се одређује ниво растворених загађивача или када треба одредити загађиваче удружене са суспендованим честицама.

Филтрирање се обавља одмах по узимању узорка.

Када узорци стигну у лабораторију потребно је извршити њихово **подузорковање** и издвајање аликвотних узорака из примарних узорака, на такав начин да тест-порције буду репрезентативне према лабораторијском узорку, а са пажњом на параметар од интересовања и на аналитичку процедуру која ће се применити. Колико је битно да теренски узорак буде репрезентативан, толико је битно ту репрезентативност одржати и на нивоу лабораторијског узорка. Узимање тест-порције за лабораторијске анализе је веома захтеван и одговоран посао. Што је мањи аликвотни узорак, то је већа вероватноћа да дође до грешака.

Према европском стандарду EN 15002-2006 фазе у припреми тест-порције су:

- Фазна/фракциона сепарација,
- Сушење,
- Смањење величине зрна узорка,
- Хомогенизација,
- Подузорковање.

Фазна/фракциона сепарација је обавезна код хетерогених и вишефазних узорака. Код узорака код којих се врши раздвајање фаза, маса сваке фазе се мора измерити и уврстити у укупан резултат. Разликује се [EN 15002-2006]:

- **Чврсто-течна сепарација:**
 - ♦ **Таложење** – Користи се готово при свакој сепарацији, с тим што се код анализирања лакоиспарљивих компоненти комбинује са хлађењем. Не користи се када се у временски прихватљивом року не може постићи одвајање због специфичних особина узорка, када је потребно издвојити максималну могућу количину течне фазе или што сувљу чврсту фазу и када се очекују биолошке или хемијске промене током таложења. Прикладно време таложења је до 2 сата. Врши се тако што се посуда са узорком остави да мирује док се фазе не раздвоје.
 - ♦ **Филтрација** – Користи се када остале технике сепарације нису изводљиве и када се сепарација мора извршити за што краће време. Не користи се када су особине узорка такве да се не може постићи филтрација у прихватљивом временском року, када се филтрацијом мењају карактеристике које се испитују и када долази до адсорпције на филтеру. Прикладно време филтрације је до 1 сат. У зависности од типа узорка и жељених анализа, техника филтрације (под притиском, атмосферска, вакуум...) и врста филтера (стаклени, папирни, мембрански...) се бирају из стандарда за изабрану аналитичку методу испитивања узорка.
 - ♦ **Центрифугирање** – користи се када таложење траје дуго и када филтрација доводи до хемијских промена узорка или адсорпције. Не користи се када су особине узорка такве да се не може постићи сепарација у прихватљивом временском року или када се губе лакоиспарљиве компоненте. Прикладно време центрифугирања је до 30 минута.
- **Течно-течна сепарација:**
 - ♦ **Помоћу левка** – врло често се користи. Не користи се када може доћи до губитака адсорпцијом и када се сепарација не постиже у временски прихватљивом року. Прикладно време раздвајања је до 2 сата. Врши се тако што се левак за одвајање напуни узорком и сачека се да се фазе одвоје.
 - ♦ **Центрифугирање** – користи се када остале технике нису примењиве. Не користи се када су особине узорка такве да се центрифугирањем не постиже добра сепарација и кад може доћи до губитка лакоиспарљивих компоненти.
- **Чврсто-чврста сепарација:**
 - ♦ **Мануелна сепарација** – користи се кад се голим оком уочавају фазе које се могу лако раздвојити. Не користи се када може доћи до контаминације узорка или губитака параметара од интереса. Врши се ручно или помоћу алата попут пинцете или магнета тако што се макроскопски уочљиве компоненте од интереса издвоје из узорка и одложе у засебне посуде.

- ♦ **Пресејавање** – користи се кад потребно раздвајање узорка на различите класе, или када је потребно утврдити гранулометријски састав узорка. Не користи се када може доћи до контаминације узорка или губитака параметара од интереса. Врши се помоћу одговарајуће серије сита.

Сушење се врши у зависности од природе узорка и захтева тест порције. Сушење се врши како би уклонила она количина воде из узорка, колико то захтевају остале операције подузорковања. Приликом сушења потребно је узорак распоредити у танком слоју у чиније. Разликује се [EN 15002-2006]:

- Сушење на собној температури – користи се кад год сушење може да се изврши без промене особина узорка. Не користи се када је потребно брзо сушење узорка, када може доћи до контаминације узорка ваздухом.
- Сушење у пећници на 40°C – користи се када не долази до губљења лакоиспарљивих компонената из узорка. Не користи се када сушење не може да се обави у временски прихватљивом року. Прикладно време сушења је до недељу дана.
- Сушење у пећници на 105°C - користи се када не долази до губљења лакоиспарљивих компонената из узорка или кад лакоиспарљиве компоненте нису од интереса. Не користи се када може доћи до samozапалења узорка. Прикладно време сушења је до један дан.
- Сушење замрзавањем - користи се када долази до губљења лакоиспарљивих компонената из узорка другим техникама сушења. Не користи се када може да се употреби нека простија техника сушења.
- Хемијско сушење - користи се само код узорака на којима се утврђују органске компоненте. Користи се код муљева и у случајевима када се очекују губици лакоиспарљивих компоненти.

Смањење величине зрна узорка се врши како би се обезбедила хомогеност и репрезентативност тест-порције која се издваја из узорка. Овај корак се може вршити у једном или више степени, у зависности од жељене величине зрна. Разликује се више техника [EN 15002-2006]:

- **Дробљење/млевење** – користи се када је потребно величину зрна из узорка смањити за даље подузорковања. Не користи се када може доћи до контаминације узорка у уређајима за уситњавање. Дробљење се врши помоћу чекића, дробилице или „шредера“, а млевење помоћу одговарајућег млина и то када се захтева величина зрна мања од 1 mm. Смрзнуто дробљење се користи када су средњеиспарљиве компоненте од интереса, а потребно је умањити величину зрна. Тада је потребно замотати узорак у полиетиленски контејнер и напунити посуду са довољно течног азота у који се урања узорак. Узорак хладити око 10 минута и након тога извадити га из течног азота, а потом издробити/самлети до одговарајуће величине зрна.
- **Резање** – користи се када није могуће применити дробљење или млевење услед недовољне чврстоће узорка. Уситњавање се врши помоћу маказа, ручно. Смрзнуто резање се користи када су средњеиспарљиве компоненте од интереса, а потребно је умањити величину. Узорак се хлади на исти начин као и у случају смрзнутог дробљења/млевења.

Хомогенизација је процес који је неопходан пре подузорковања, како би се гарантовала уједначеност подузорака. Подразумева мешање узорака ради адекватне прерасподеле узорка и спречавања појаве стварања талоба унутар узетог узорка. [U.S. EPA, 1995]. Разликује се [EN 15002-2006]:

- **Мануелна хомогенизација:**
 - ♦ **Чврсти узорци** – када постоји могућност да се из узорака изгубе лакоиспарљиве компоненте, хомогенизацију треба вршити врло пажљиво и брзо. Узорак се меша помоћу одговарајућег алата (лопате, кашике, тучка...). Није препоручљива код узорака код којих постоји велика разлика у величини зрна јер се стварају слојеви, као и код узорака које имају велика зрна па се хомогенизација не може извршити мануелно.
 - ♦ **Течни узорци** – користи се код једнофазних и визуелно хомогених узорака. Не користи се код течних узорака код којих су честице попут муљева и глине уочљиве па стварају слојеве. Врши се тако што се узорак првобитно промеша одговарајућим алатом, а потом промућка у затвореној боци.
- **Механичка хомогенизација:**
 - ♦ **Чврсти узорци** - користи се када мануелна хомогенизација није могућа, када су у питању велика мас узорка и када нема појаве слојевитости услед различите густине зрна у узорку. Код изражене слојевитости сваки слој се анализира засебно. Такође, није препоручљива и код узорака код којих услед загревања апаратуре за хомогенизацију постоји могућност да дође до губитка лакоиспарљивих компоненти.
 - ♦ **Течни узорци** – користи се код узорака код којих су уочљиви слојеви муљева и глине. Врши се помоћу различитих типова миксера (магнетне мешалице, пропелера, емулгатора...). Не користи се код течних узорака код којих су присутна зрна већих димензија које се не могу хомогенизовати, а које се не таложу неколико минута након хомогенизације. Овакви узорци се раздвајају на фазе које се третирају засебно.

Подузорковање је процес који подразумева узимање малих количина тест-порција из примарног узорка. Разликује се више техника подузорковања [EN 15002-2006]:

- Мануелно, четвртањем – користи се у случајевима када се захтева велика маса лабораторијског узорка и када је узорак довољно сув, а крупнији комади из узорка могу лако да се издвоје. Тада се узорак распореди на равну површину на којој се налази инертна фолија и лопатом или кашиком се формира купа. Купа се, потом развлачи у погачу која се подели на 4 дела од којих се два дела узимају за даљи рад, а два остављају као резерва. Не користи се када долази до губитака лакоиспарљивих компонента на собној температури.
- Механичко – користи се када је узорак довољно сув и у њему нема крупних комада. Узорак се раздваја на подузорке помоћу одговарајућег раздвојивача. Не користи се када крупне комаде из узорка није лако издвојити и када долази до губитака лакоиспарљивих компонента.
- Подузорковање ради испитивања лакоиспарљивих компоненти – користи се када не може да се користи друга техника подузорковања и када није доступан посебан узорак за испитивање ових компоненти. Не користи се када није примењиво због специфичних особина узорка. Узорак пре подузорковања треба охладити.

Репрезентативни узорак треба да садржи одређени број зрна који зависи од дозвољеног просечног одступања састава узорка и састава популације и степена хомогености целине. Ако се узме у обзир најједноставнији пример по ком је узорак смеша две врсте идентичних зрна, потребан број зрна у узорку је [Генералић, Крка, 2012]:

$$n = \frac{1-p}{p \cdot \sigma^2} \quad (3.1)$$

где је: n - потребан број зрна одређене врсте,

p - удео једне врсте зрна,

σ^2 - варијанса

Варијанса, или квадратно одступање састава узорка и састава читаве популације се рачуна као:

$$\sigma^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N - 1} \quad (3.2)$$

где је: x_i – i -то мерење,

\bar{x} – аритметичка средина свих мерења, рачуна се као $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{N}$,

N – укупан број узорака

Чак и када је подузорковање извршено по свим правилима, може постојати бојазан од непоузданих резулата. У те сврхе користи се статистички параметар Z -вредност, који служи за објективну процену ваљаности аналитичких података. Z -вредност се рачуна као:

$$z = \left| \frac{x_i - A}{s} \right| \quad (3.3)$$

где је: x_i -измерена вредност анализата,

A - стварна вредност анализата,

s - стандардна девијација

Стварну вредност анализата можемо знати:

- Ако додамо неку познату количину анализата у матрицу;
- Користимо прихваћену вредност (резултате више експертских лабораторија);

Z-вредност представља одступање посматране вредности од стварне вредности анализата изражено у стандардним девијацијама.

Уз жељу за 95%-ном поузданошћу, прихватљиве границе z вредности су од +2 до -2. На основу тих граница може се тврдити да **z -вредност** [Генералић, Крка, 2012]:

$|z| \leq 2$ Задовољава $2 < |z| \leq 3$ Непоуздан $|z| > 3$ Не задовољава

Пример:

Резултати анализе олова у узорцима отпада дати су у табели, а стварна вредност износи 120 µg/kg. Проверити да ли добијени резултати **репрезентативни!**

Број мерења	Резултат (x_i)	($x_i - A$)	z вредност $x_i - A_s$	Резултат
1.	127	7	0,18	задовољава
2.	129	9	0,23	задовољава
3.	186	66	1,70	задовољава
4.	150	30	0,77	задовољава
5.	146	26	0,67	задовољава
6.	130	10	0,26	задовољава
7.	169	49	1,27	задовољава
8.	104	-16	0,41	задовољава
9.	125	5	0,13	задовољава
10.	220	100	2,58	непоуздан
11.	68	-52	1,34	задовољава
12.	141	21	0,54	задовољава
13.	113	-7	0,18	задовољава
14.	120	0	0,00	задовољава
15.	149	29	0,75	задовољава
16.	220	100	2,58	непоуздан
	$\bar{x}=143,56$ $s=38,73$			

На основу добијених резултата може се констатовати да су само вредности под редним бројем 10 и 16 непоуздане, што задовољава интервал поверења од 95%, те се може закључити да је подузорковање добро извршено и тест-порције се могу сматрати репрезентативним.

3.10. Минимална количина и број узорка

Карактеристике самог отпадног материјала утичу на техничке аспекте узорковања, попут броја узорака, њихове количине, одабир врсте узорка, као и опреме за узорковање. Неке од карактеристика отпада које имају навећи утицај на поменуте аспекте су [ЕРА, 1996]:

1. Хомогеност/хетерогеност

Отпад може бити у мањој или већој мери хомоген, односно хетероген. Код израито хомогених отпада довољно је узети један појединачни узорак. Међутим, што је отпад хетерогенији повећава се број потребних узорака. Према Жију, (1995):

- Скуп се сматра хомогеним када су сви чланови скупа, не слични већ идентични један другом. Тада је узорак савршено репрезентативан.
- Скуп се сматра хетерогеним када услов идентичности није испуњен.

Врло често се при узорковању претпоставља да је популација која се узоркује хомогена. Слепо придржавање ове клаузуле може довести до грешака. Увек је сигурније претпоставити да су све популације хетерогене, јер иако разлике нису макроскопски уочљиве, оне се тек могу испољити на молекуларном нивоу. Тако насуте популације, попут отпада, могу варирати у величини зрна, облику зрна, густини итд. Како се хетерогеност популације увек може испољити на неком нивоу, она може проузроковати случајну грешку, која је фундаментална грешка [Smith, 2008].

2. Агрегатно стање и величина зрна отпада

У зависности од агрегатног стања отпада врши се одабир броја узорака узорка и врста опреме за узорковање. Течни и прашкасти отпад је хомогенији од чврстог, крупнозрног [СРПС, 2009а], те је потребан мањи број узорака. Опрему за узорковање треба бирати тако да омогући несметано изузимање узорка из популације. Нпр. код крупнозрног отпада узоркивач се бира тако да отвор буде три пута већи од пречника највеће честице у материјалу који се узоркује. Код тродимензионалног узоркивача захтева се да запремина узетог узорка буде $(3d)^3 = 27d^3$ [СРПС, 2009а].

3. Хемијска стабилност отпада

Под утицајем атмосферских падавина, сунца, ветра и температуре, отпад може мењати свој квалитет. Опрему треба бирати у зависности од запаљивости, токсичности, корозивности и реактивности отпада.

4. Вискозитет отпада

Вискозитет је одлика течног отпада и утиче на одабир количине узорка и опреме за узорковање. Веома вискозни материјали се узоркују лопатицама, док се слабо вискозни материјали могу једноставно усисати или усути у посуду.

3.10.1. Минимална количина узорака

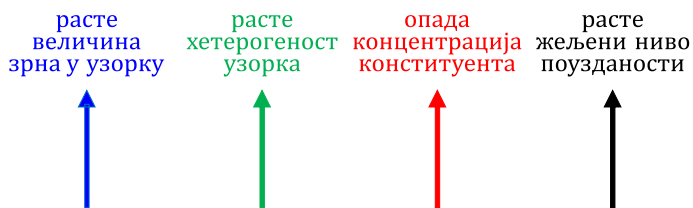
У зависности од облика и агрегатног стања отпада који се узоркује, као и од врсте анализа које се врше на узетим узорцима варира и минимална количина узорка. На пример, минимална количина чврстог узорка отпада се креће од 100 грама па до неколико стотина килограма.

Фактори који утичу на потребну количину узорака приказани су на слици 3.15.

Према ЦЕН/ТР 16365, у зависности врсте анализа које се врше на узетим узорцима препоручена количина узорка *чврстог отпада* је:

- Гранулометријски састав:
 - ♦ 1-2 килограма ситнозрног отпада попут флотацијске јаловине
 - ♦ 3-5 килограма крупнозрног отпада попут отквивке
- Минералозна испитивања: 100-200 грама
- Тестови излуживања: 2-10 килограма
 - ♦ Секвенцијална екстракција: 100 грама
 - ♦ АВА-статичка тестирања: 1 килограм према EN 14875:2011
 - ♦ Кинетички тестови: 2-5 килограма за лабораторијске тестове и неколико стотина килограма за тестирања на терену

Већа количина узорка је потребна како:



Слика 3.15. Фактори који утичу на повећање потребне количине узорка

Посебне смернице за утврђивање минималне количине узорка постоје код *крупно-зрног отпада* када се примењује *пробабилитичко узорковање*. Тако се за израчунавање минималне количине **инкремента** користи једначина [СРПС, 2009а]:

$$M = 10^{-9} \cdot \rho \cdot (3 \cdot \text{ГГК})^3 = 2,7 \cdot 10^{-8} \cdot \rho \cdot \text{ГГК}^3 \quad (3.4)$$

где је: M - минимална количина инкремента, kg,

ГГК - горња гранична крупноћа, представља величину отвора сита на којем остаје 5 % или кроз коју пролази 95 %, mm,

ρ - густина материјала који се узоркује, kg/m³

Ако је ГГК материјала који се узоркује 3 mm и већа, висина, ширина и дужина узоркивача би требало да буде три пута већа од ГГК материјала [СРПС, 2009а].

Ако је ГГК материјала који се узоркује мања од 3 mm, висина, ширина и дужина узоркивача би требало да буде бар 10 mm [СРПС, 2009а].

Једначина за израчунавање минималне количине **узорка** је нешто комплекснија [СРПС, 2009а]:

$$M = \frac{1}{6} \cdot \pi \cdot (\text{ГГК})^3 \cdot \rho \cdot g \cdot \frac{(1-p)}{CV^2 \cdot p} \quad (3.5)$$

где је: M - минимална количина узорка, kg,

ГГК - горња гранична крупноћа, представља величину отвора сита на којем остаје 5 % или кроз коју пролази 95 %, mm,

ρ - густина материјала који се узоркује, g/m³,

g - корекциони фактор за гранулометријски састав материјала који се узоркује,

p - удео зрна са специфичним карактеристикама, m/m,

CV - жељени коефицијент варијације проузрокован фундаменталном грешком

Треба имати у виду да су количине инкремента и узорка добијене на овај начин само грубе процене.

Прашкови и муљеви су заправо чврсти материјали са веома малим честицама, с тим што муљеви садрже и одређену количину течности. Уколико уређај за узорковање омогућава узорковање материјала било ког агрегатног стања, онда не постоје никакви посебни захтеви у вези са минималном количином узорка. Разлике

између тих зрна не могу имати велики утицај на карактеристике самог узорка, што у пракси значи да ће узети узорак бити увек довољно велики јер се састоји од великог броја зрна па је количина узетог узорка условљена искључиво захтевима лабораторијских анализа [СРПС, 2009а].

Минимална количина *течног узорка* нема неке специјалне одредбе, првенствено из разлога што се разлике у течном отпаду испољавају тек на молекуларном нивоу. Када се узоркује композитни узорак, величина узорка је условљена бројем подузорака и њиховом величином, а величина подузорака је опет условљена капацитетом узоркивача [СРПС, 2009а]. У пракси се те количине крећу најчешће од 0,5 до 1 литра по узорку.

Код узорковања *гасовитих* узорака не постоје одредбе овог типа.

3.10.2. Минималан број узорака

Минималан број узорака зависи од нивоа карактеризације отпада, величине популације која се узоркује, као и од хомогености/хетерогености популације.

Сам приступ узорковања утиче на минималан број узорака. Тако пробабилистичке технике узорковања изискују већи број узорака како би се донели релевантни закључци са одређеним нивоом поверења. Баш из тог разлога, одабир минималног броја узорака врло често подлеже експертској процени, без статистичке оправданости. Ипак, често се препоручује употреба неких званичних препорука везаних за овај сегмент узорковања.

У зависности од агрегатног стања отпада, постоје и различите препоруке за усвајање минималног броја узорака.

3.10.2.1. Чврст отпад

Према препорукама [Агенсу, 2013] у табели 3.2 је дат предлог минималног броја узорака чврстог отпада.

Табела 3.2. Минималан број узорака чврстог отпада [Агенсу, 2013]

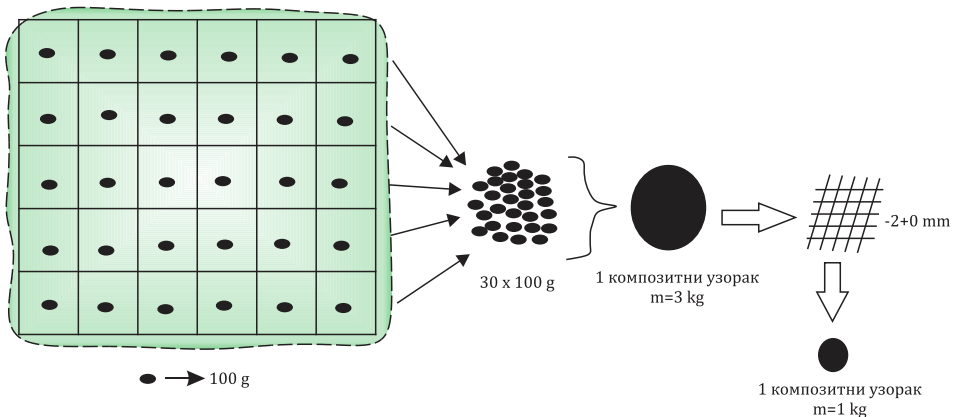
Ниво испитивања	Капацитет изворне популације	Број узорака из хомогене популације	Број узорака из хетерогене популације
Ниво 1: Основна карактеризација отпада	<100 t	2	5
	<500 t	3	8
	<1000 t	5	14
	10.000 t + на сваких додатних 10.000 t	11 +5	22 +10
Ниво 2: Поновна карактеризација како би се утврдило да ли су претходни резултати валидни		Један узорак годишње по дефинисаној субпопулацији	Три узорка годишње по дефинисаној субпопулацији
Ниво 3: Рутинска провера на лицу места		Визуелно	Визуелно
		Један годишње (за хемијска испитивања)	Три годишње (за хемијска испитивања)

За добијање релевантних информација о карактеристикама отпада одложеног на депонију довољно је узети 30 појединачних узорака, од којих се прави један композитни. Сматра се да један композитни узорак сачињен од 30 појединачних даје једнако квалитетне податке о популацији, као и 30 појединачних, а знатно смањује трошкове анализа. Композитни узорак сачињен од минимално 30 појединачних подлеже Централној граничној теореми.

Централна гранична теорема

У многим случајевима расподела параметра од интереса у популацији није позната или значајно одступа од нормалне расподеле. Тада се користећи резултате Централне граничне теореме може одредити облик расподеле аритметичких средина узорака. По овој теореми, независно од облика криве расподеле параметра у популацији, расподела аритметичких средина узорака биће приближно нормална, ако су узорци које извлачимо довољно велики. Прецизније речено, ако основни скуп има расподелу произвољног облика, са аритметичком средином μ и варијансом σ^2 , онда ће расподела аритметичких средина свих једноставних случајних узорака величине n тежити нормалној расподели, са аритметичком средином μ и варијансом σ^2/n када $n \rightarrow \infty$. Под великим узорком се сматра узорак од 30 и више појединачних узорака, и отуда, кад год важи да је $n \geq 30$ сматра се да важи Централна гранична теорема [Жижић и др., 2007].

Поступак узорковања депонија подразумева деобу површине депоније на око 30 ћелија. Свака ћелија се потом узоркује тако да узорак из сваке ћелије тежи око 100 грама. Од 30 појединачних узорака прави се један композитни који се потом просејава тако да се издвоји класа $-2+0$ mm, слика 3.16. Финални композитни узорак треба да тежи минимум 1 kg после просејавања [Smith, 2013].



Слика 3.16. Процес узорковања композитног узорака отпада

3.10.2.2. Течни отпад

Број узорака потребних за испитивање отпадних вода се одређује након прикупљања неких почетних података о концентрацији и варијанси концентрације параметара од интереса. Ови подаци се могу и претпоставити (проценити), међутим, процена би умањила веродостојност резултата. Користе се две технике у одређивању броја узорака воде, једна се базира на ограниченој стандардној девијацији а друга на прецизности аритметичке вредности узорака. Свака ће дати потребни број узорака, при чему се увек бира већи број узорака [U.S. EPA, 1982].

1. Одређивање броја узорака при ограниченој стандардној девијацији

Да би се применио овај начин, потребни су следећи подаци [U.S. EPA, 1982]:

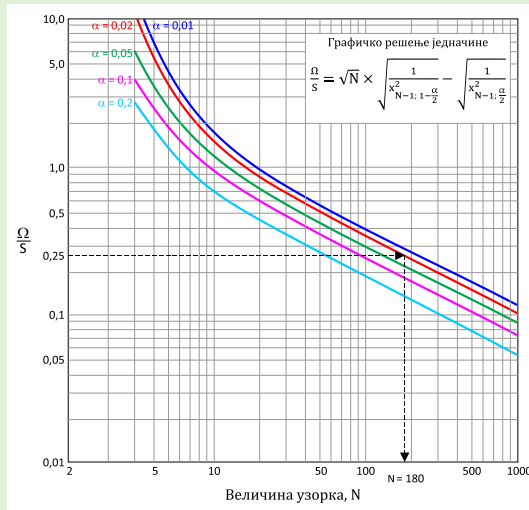
- дозвољена грешка стандардне девијације Ω/S_x ,
- захтевани ниво поверења $(1-\alpha)$,

Стога, у овим ситуацијама, процењује се да ће се вредност одређене варијабле појавити у одређеном интервалу. Узета је у обзир нормална расподела података.

Пример:

[U.S. EPA, 1982]: *Одредити број узорака потребних за карактеризацију отпадних вода при чему је процењена стандардна девијација 25% ($x \pm 12,5\%$) од њене стварне вредности, при нивоу поверења од 98%.*

Тада је: $\alpha = 1 - 0,98 = 0,02$ и $\Omega/S_x = 0,25$.



Слика 3.17. Одређивање минималног броја узорака воде на основу захтеване прецизности

Према слици 3.17, вредност $\Omega/S_x = 0,25$ се читава на у-оси, повлачи се хоризонтална линија и тамо где она пресече криву $\alpha=0,02$, на x-осу се спусти нормална линија и чита тражени број узорака, што је у овом случају 180.

2. Одређивање броја узорака при ограничењу средње аритметичке вредности

Да би се овај начин применио, потребни су следећи подаци [U.S. EPA, 1982]:

- захтевани ниво поверења $(1-\alpha)$,
- коефицијент варијације $CV = \frac{S_x}{\bar{X}}$,
- захтевана прецизност аритметичке вредности узорака.

Препоручује се метода итерације, поготову кад је добијени број узорака мали ($N < 30$). При овом прорачуну, разматра се нормална расподела података.

При првој итерацији користи се формула:

$$N' = \left(\frac{CV \cdot Z_{\frac{\alpha}{2}}}{\frac{D}{100}} \right)^2 \quad (3.6)$$

где је: D - дозвољено одступање од аритметичке средине узорка, изражено као удео стварне средине,

$Z_{\frac{\alpha}{2}}$ - стандардизован нормалан распоред који се одређује из табеле 3.3.

Табела 3.3. Стандардизован нормалан распоред-функција распореда [EPA, 1982]

z_{α}	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	0,5000	0,4960	0,4920	0,4880	0,4840	0,4801	0,4761	0,4721	0,4681	0,4641
0,1	0,4502	0,4562	0,4522	0,4493	0,4443	0,4404	0,4364	0,4325	0,4268	0,4247
0,2	0,4207	0,4168	0,4129	0,4090	0,4052	0,4013	0,3974	0,3936	0,3897	0,3859
0,3	0,3821	0,3783	0,3745	0,3707	0,3669	0,3632	0,3594	0,3557	0,3520	0,3483
0,4	0,3446	0,3409	0,3372	0,3336	0,3300	0,3264	0,3228	0,3192	0,3156	0,3121
0,5	0,3085	0,3050	0,3015	0,2981	0,2946	0,2912	0,2877	0,2843	0,2810	0,2776
0,6	0,2743	0,2709	0,2676	0,2643	0,2611	0,2578	0,2546	0,2514	0,2483	0,2451
0,7	0,2420	0,2389	0,2358	0,2327	0,2296	0,2266	0,2236	0,2206	0,2177	0,2148
0,8	0,2119	0,2090	0,2061	0,2033	0,2005	0,1977	0,1949	0,1922	0,1894	0,1867
0,9	0,1841	0,1814	0,1788	0,1763	0,1736	0,1711	0,1685	0,1660	0,1635	0,1611
1,0	0,1587	0,1562	0,1539	0,1492	0,1492	0,1469	0,1446	0,1423	0,1401	0,1379
1,1	0,1357	0,1335	0,1314	0,1271	0,1271	0,1251	0,1230	0,1210	0,1190	0,1170
1,2	0,1151	0,1131	0,1112	0,1075	0,1075	0,1056	0,1038	0,1020	0,1003	0,0985
1,3	0,0968	0,0951	0,0934	0,0901	0,0901	0,0885	0,0869	0,0853	0,0838	0,0823
1,4	0,0808	0,0793	0,0778	0,0749	0,0749	0,0735	0,0721	0,0708	0,0694	0,0681
1,5	0,0668	0,0665	0,0643	0,0618	0,0618	0,0606	0,0594	0,0582	0,0571	0,0559
1,6	0,0584	0,0537	0,0526	0,0505	0,0505	0,0495	0,0485	0,0475	0,0465	0,0455
1,7	0,0446	0,0436	0,0427	0,0409	0,0409	0,0401	0,0392	0,0384	0,0375	0,0367
1,8	0,0359	0,0351	0,0344	0,0329	0,0329	0,0322	0,0314	0,0307	0,0301	0,0294
1,9	0,0287	0,0281	0,0274	0,0262	0,0262	0,0256	0,0250	0,0244	0,0239	0,0233

За другу итерацију се користи формула:

$$N = \left(\frac{CV \cdot t_{\frac{\alpha}{2}; N'-1}}{\frac{D}{100}} \right)^2 \quad (3.7)$$

при чему се $t_{\frac{\alpha}{2}; N'-1}$ одређује из табеле 3.4.

Табела 3.4. Критичне вредности студентовог t-распореда [EPA, 1982]

$\alpha/2 \rightarrow$	00,10	0,05	0,025	0,01	0,005	$\alpha/2 \rightarrow$	00,10	0,05	0,025	0,01	0,005
N'-1 ↓						N'-1 ↓					
1	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657	19	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861
2	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	20	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845
3	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	21	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831
4	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	22	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819
5	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	23	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807
6	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	24	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797
7	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	25	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787
8	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	26	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779
9	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	27	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771
10	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	28	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763
11	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	29	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756
12	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	30	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750
13	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	40	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704
14	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	60	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660
15	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	...			1,983		
16	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	120	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617
17	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	∞	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576
18	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878						

Пример:

U.S. EPA, 1982]: На месту изливања отпадне воде са просечном дневном концентрацијом БПК од 120 $\mu\text{g/l}$ и стандардном девијацијом од 32 $\mu\text{g/l}$, потребно је одредити број узорка које треба узимати сваког дана са прецизношћу од 5% од дневних просека. Ниво поверења је 95%.

$$D=5 \bar{x} = 120 \quad s_x = 32$$

$$CV = \frac{S_x}{\bar{X}} = \frac{32}{120} = 0,27$$

Ако је $\alpha=0,05$ (ниво поверења је 95%), онда је $Z_{\frac{\alpha}{2}} = Z_{0,025}$ из табеле 3.3 - 1,96.

Корак 1.

$$N = \left(\frac{0,27 \cdot 1,96}{\frac{5}{100}} \right)^2 = 112,02 \approx 113 \text{ узорка}$$

Корак 2.

Ако је $N'=110$, онда је $t_{\frac{\alpha}{2}, N'-1} = t_{0,025;112}$ из табеле 3.4 апроксимативно 1,982 (користећи линеарну интерполацију $y = y_1 + \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \cdot (x - x_1)$), па је:

$$N = \left(\frac{0,27 \cdot 1,983}{\frac{5}{100}} \right)^2 = 114,5 = 115 \text{ узорака}$$

Уколико су као критеријуми код оба начина коришћена стандардна девијација и аритметичка средина, бира се већа вредност N . У датим примерима, $N = 180$ са ограничењем стандардне девијације, и $N = 115$ са ограничењем аритметичке средине, па се бира 180 узорака које би требало узорковати на двеном нивоу.

Вредност 1,983 је добијена методом интерполације на бази $N'-1=112$.

3.10.2.3. Гасовити отпад

Иако смернице за минималан број узорака гасовитог отпада, као таквог не постоје, у те сврхе се могу користити препоруке које генерално важе за узорковање ваздуха. Број и трајање интервала узорковања ваздуха треба да буду довољни да се добију релевантни подаци о ваздуху који су подобни за статистичку обраду. Према NAAQS (*National Ambient Air Quality Standards*) годишњи ниво неког параметра треба да се израчуна на основу укупно **104 мерења вршена два пута недељно у трајању од 24 h** [NAAQS, 2011].

3.11. Правила узорковања отпада

Специфичности узорковања отпада су прописане стандардом ЦЕН/ТР 15310-2. Препоруке су дате на основу степена хомогености отпада, облика отпада, амбалаже унутар које је складиштен отпад, као и на основу тога да ли је одабран пробабилистички или непробабилистички приступ. Неке од тих препорука су [СРПС, 2009б]:

- При узорковању **течног отпада** из бурића или бачви, отвор за узимање узорака мора бити са горње стране. Уколико је потребно да се буре/бачва преврће да би отвор био са горње стране, неопходно је да се буре након превртања остави да одстоји 20-30 минута, како би се садржај бурета слегао. Уколико је садржај бурета непознат или се сумња да је запаљив, потребно је поставити каиш за уземљење на метални контејнер близу обруча на врху.
- Ако се врши пробабилистичко узорковање **хомогеног течног отпада** узима се вишеслојни узорак тако што се узоркивач са отвореним вентилом полако урони у течност водећи рачуна да ниво течности у узоркивачу не буде испод нивоа течности у бурету. Потом се затвори вентил, извуче узоркивач из бурета и остави течност која се прилепила на зидове узоркивача да се слије. Поступак се понавља онолико пута колико је потребно да се сакупи довољна количина узорка.

- Узорковање течног отпада када **степен хомогености течности није познат** се врши тако што се узима циљани узорак испод површине течности, и то одмах испод површине или са дна. Приликом узорковања неопходно је да отвор узоркивача буде постављен попречно у односу на дно, док се узоркивач пуни. Када се заврши узорковање, затвори се посуда са узорком, неколико пута се окрене боца на горе како би се узорак измешао и остави да одстоји минимално 2 минута. Уколико нема приметних раслојавања, поступак узорковања тече као код пробабилистичког узорковања хомогених течности. Уколико се примете раслојавања потребно је оценити и забележити количину сваког слоја у бурету и сакупити одвојене узорке сваког слоја посебно, односно, узима се стратификовани узорак хетерогених течности. Тада је неопходно је узети узорак целом дубином кроз течност, да би се могла проценити запремина сваког слоја течности. Узорци се узимају са површине сваког слоја и увек се почиње од доњег слоја.
- Пробабилистичко узорковање **муљева** је слично као и узорковање отпадних течности када се муљевити отпад налази унутар контејнера или јама. Ако је амбалажа за складиштење муља мале запремине, битно је уклонити површински слој, одредити дубину и чврстоћу материјала који се наталожио унутар амбалаже и растрести материјал. Потом се узорковању приступа по истим правилима која важе за отпадне течности. Непробабилистичко узорковање је просто и своди се на потапање узоркивача до дна амбалаже, његовог пуњења и бележења дубине на којој се узорковало.
- Узорковање отпада у облику **пасте** се своди на узимање *једносмерног (директног) узорка*, тако што се узоркивач гурне што дубље у отпадни материјал и напуни њиме, или *геометријског узорка*, тако што се уз помоћ ножа, жице за сечење или сврдла исече утврђени облик и количина отпадног материјала.
- Приликом узорковања **крупнозрног чврстог отпада** из џакова, буради или бубњева, пробабилистичко узорковање се врши тако што се узоркује једносмерни (директни) узорак. Једносмерни узорак се добија тако што се у расутом материјалу направе два паралелна реза помоћу лењира и издвоји материјал између резова.
- Приликом узимања узорака са **гомиле крупних комада**, узорковање се врши искључиво на бази експертске процене и нема препорука за пробабилистичко узорковање.

3.12. Узорковање отпада са депонија индустријског отпада

Начин узорковања отпада са депонија индустријског отпада зависи од тога да ли се ради о активним или неактивним депонијама, као и да ли се ради о сувим или хидрауличким депонијама.

Узорковање активних хидрауличких депонија је често компликованије у односу на неактивне и суве депоније због таложног језера које постоји унутар депоније. Са друге стране, одлагалишта рудничке отквивке могу компликовати процес узорковања услед велике варијације у крупноћи одложеног отпада, што код флотацијских јаловишта на пример није случај, с обзиром да се ради о веома уситњеном отпаду, микрометарских величина зрна.

Рударски отпад у глобалу може бити сачињен од крупнијих и ситнијих зрна, муљевитих материјала и течности. Може бити одложен на различите начине, на отвореним уређеним површинама – депонијама, у облику привремених гомила, унутар буради и танкова, лабораторијског посуђа, и то све у зависности од његове даље намене и карактеристика (потенцијално опасни отпад се одлаже у бурад која се заптивају све до момента када се отпочиње са њиховом анализом). У том смислу, узорковање отпада на депонијама се може разликовати од случаја до случаја.

3.12.1. Правила приликом узорковања отпада са депонија

Депоније индустријског отпада су комплексни објекти на којима се не може применити неки јединствени шаблон узорковања. Из тог разлога, пре самог узорковања, потребно је депонију рашчланити на стратуме који је чине и узорковању сваког стратума приступити на њима својствен начин.

Приликом одређивања локација узорковања треба узети у обзир да узорци морају бити репрезентативни. Узорке треба узети *вертикално* и *хоризонтално* дуж читаве депоније како би се добила што реалнија слика о варијабилитету у карактеристикама зрна. Уколико се примењује хидрауличко депоновање, треба узети у обзир процес сегрегације који се одиграва у оквиру депоније. Такође, треба узети у обзир промену места истакања пулпе, евентуалне промене у односу Ч:Т и промене у условима одлагања услед смене годишњег доба и временских услова.

Иако је отпад унутар депонија изразито хетероген, одабир репрезентативног узорка не би требало да буде проблематичан уколико се барата свим релевантним подацима о режиму депоновања у протеклом периоду.

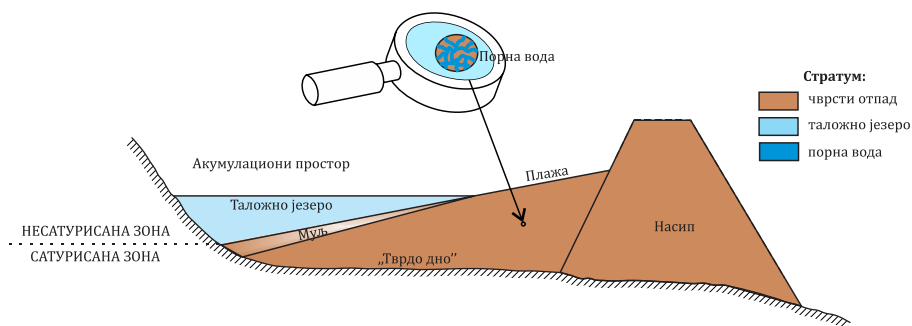
Међутим, ако ови подаци нису познати, тада се препоручује фазно узорковање.

У првој фази узимају се једноставни поремећени узорци који су широко распрострањени дуж депоније. На основу резултата који се добију из ових узорака, могу се додатно набушити још неки узорци, ради детаљнијих информација. Ови додатни узорци могу бити поремећени или непоремећени и могу бити узорковани континуално или у одређеним интервалима. Генерално, узоковање се најчешће врши у опсегу од 0,75 до 1,5 метара дубине. Број и распоред бушотина се експертски утврђује на лицу места, како испитивања напредују. У зависности од комплетности добијених података, број узорака може расти.

Такође, треба обратити пажњу и на чување узетих узорака до лабораторијских испитивања. Начин презервације такође зависи од врсте планираних испитивања. Тако на пример, када се на узорцима отпада врше геотехничка испитивања, узорци не би требало да се замрзавају и требало би што пре да се испитују, како не би током времена дошло до поремећаја првобитних карактеристика отпада. Цилиндри узоркивача не би требало да буду од корозивних материјала. Поремећени узорци се чувају у пластичним кесама или стакленим теглама где могу остати и до неколико недеља, до се непоремећени узорци чувају унутар запечаћених цилиндара помоћу којих су узорковани и до неколико недеља [Feenstra et al., 1985].

У смислу зона узорковања, депонија (сл. 3.18) се може поделити на следеће стратуме [Feenstra et al., 1985]:

- **Чврсти отпад** унутар депоније - у који спада, како онај од којих у сачињени насипи, тако и онај који је одложен унутар акумулационог простора. Онај који је одложен унутар акумулационог простора се може поделити на ниво муља, слој у депонији који се налази између воде у језеру и слоја исталожених зрна јаловине, и „тврдо дно“, слој који се налази на самом дну депоније и сматра се да је у том слоју отпад консолидован [Ansah-Sam et al., 2015].
- **Таложно језеро** – избистрена вода из одложеног отпада који се хидраулички одлаже. За узорковање површинског слоја депоније индустријског отпада на којој се обично налази вода, опрема за узорковање би требало да има прецизност +/-25 mm. Опрема за узорковање не захтева фиксно позиционирање с обзиром да нема висинских разлика на површини језера. Једини захтев је да локација опреме буде заштићена од евентуалних таласа, као и да варијабилност узорака услед деловања таласа треба да се узме у обзир. Ако се узорковање врши са чамца, треба узети у обзир узбуљивање воде услед кретања чамца [Ansah-Sam et al., 2015].
- **Порна вода** – вода заробљена унутар зрна чврстог отпада. Циљ узорковања порне воде на депонијама индустријског отпада је да се утврди хемијски састав порне воде која се налази у интерстицијалном простору између зрна отпада како би се могао прогнозировать њен утицај на квалитет површинских и подземних вода. Разликује се узорковање порне воде у сатурисаној зони, изнад нивоа воденог огледала, и узорковање порне воде у несатурисаној зони, испод нивоа воденог огледала. Локације узорковања се бирају на основу хидрогеолошких услова унутар депоније, физичких и хемијских карактеристика одложеног отпада и дубине таложног језера [Feenstra et al., 1985].



Слика 3.18. Зоне узорковања на депонији

Када су у питању узорци *чврстог отпада* са депоније индустријског отпада, они се генерално могу поделити у 2 групе [Feenstra et al., 1985]:

- 1) **Површински** или плитки узорци узимају се ручно, углавном ради неких једноставних анализа и вршења квалитативних испитивања отпада. То су најчешће поремећени узорци.
- 2) **Дубински** узорци се узимају ради неких детаљнијих анализа и најчешће су то непоремећени узорци.

Ако се ради о нехомогеном чврстом отпаду на одлагалиштима, појединачни узорак нехомогеног чврстог отпада се припрема из 6 инкеремента, и то по један

са дна, трећине висине и две трећине висине, и по један инкремент са спољњег, средњег и горњег дела гомиле на одлагалишту. Ако је одлагалиште тако формирано да насути отпад нема облик правилне гомиле, онда се прва три захвата узимају по истим висинама из средине одлагалишта, а друга три такође по истим висинама уз једну страну одлагалишта. Из ових шест захвата припрема се појединачни узорак од најмање 1 килограм, а даљим мешањем и четвртањем, репрезентативни узорак као и за хомогени отпад [УЗ 011, 2014].

Приликом узорковања неактивних депонија индустријског отпада, према Smith, (2013), у обзир се узимају површински слојеви, до 15 центиметара дубине, с обзиром на могућност лаког узимања узорака и очекивања да би у случају атмосферских падавина тај слој у највећој мери отекао са депоније и евентуално загадио околину. Услед велике хетерогености у величини зрна одложеног отпада, неопходно је дефинисати гранулометријски састав циљне популације. С обзиром да су се ради о историјским одлагалиштима, и да је отпад доживео извесне промене под утицајем атмосферарилија, одабирају се фракције отпада ситније од 2 mm. То је поткрепљено теоријом да су ситније честице најреактивније, у смислу најгорег могућег сценарија. Узимање у обзир зрна ситнијих од 2 милиметара се врши са намером да се умањи грешка узорковања и смањи количина узорка на разумну меру за теренско узорковање.

3.12.2. Подлоге за узорковање отпада са депонија

Први корак пре осмишљавања и имплементације плана узорковања депонија индустријског отпада је прикупљање релевантних историјских података од значаја за депонију која се испитује. Ти подаци су битни за прилагођавање програма узорковања од случаја до случаја, као и при евалуацији података који проистекну из узорковања. Ти подаци се могу поделити у неколико група [Feenstra et al., 1985]:

- **Физички и хемијски:**
 - ♦ Топографија терена (депоније и околине)
 - ♦ Локални и регионални геолошки услови терена
 - ♦ Хемијски и минералозшки састав руде
- **Хидролошки:**
 - ♦ Локални и регионални хидролошки подаци (преципитација, евапотранспирација, ниво језера, протицај водотокова, квалитет воде...
 - ♦ Локални и регионални хидрогеолошки подаци о нивоима и квалитету подземних вода.
 - ♦ Метеоролошки
 - ♦ Климатски подаци о температури, брзини и учесталости ветрова
 - ♦ Квалитет ваздуха
- **Оперативни:**
 - ♦ Подаци о припреми руде, посебно: реагенсни режим, квалитет руде, производне стопе, третирање ефлуената...
 - ♦ Историјски подаци о одлагању отпада, посебно: места истакања, реветација...
 - ♦ Хемијске и физичке карактеристике декантираног дела хидромешавине.

Када се прикупе ови подаци, план узорковања се сачињава према устаљеном поретку.

3.13. Узорковање врућих тачака

Када је циљ испитивања да се утврди површина загађеног тла тада се процедура узорковања своди на претпоставку да је загађење концентрисано у виду врућих тачака. Иако је у тим ситуацијама пожељно испитати комплетну површину потенцијално загађеног тла, чешће се прибегава процедурама које изискују мање узорака, и самим тим, стварају мање трошкове и штеде време.

На слици 3.19 приказан је пример „вруће тачке“ настале приликом изливања 800.000 литара нафте из оштећеног цевовода на пољопривредно земљиште [Kimberly, 2017].

Избор технике зависи од циља узорковања, хипотезе загађења (тип, мобилност и биодоступност у тлу), као и потребне резолуције [Dragičević, 2006].

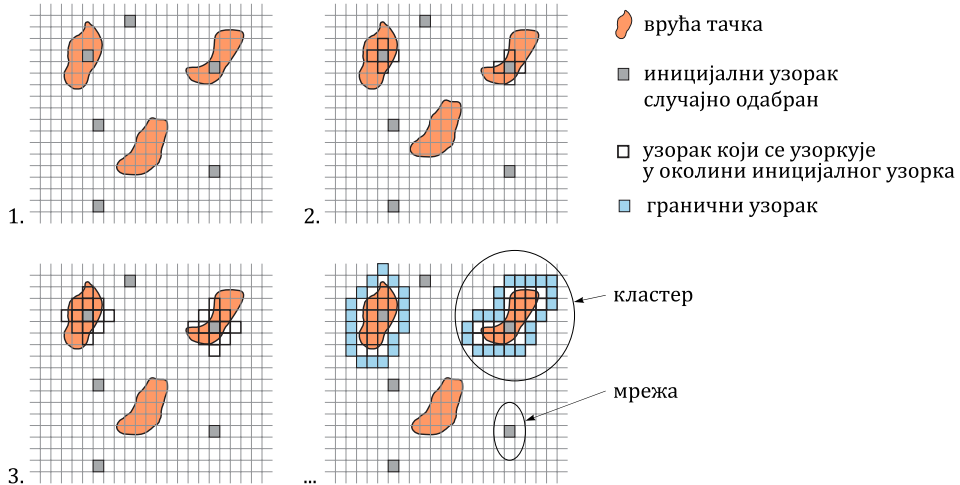
Према Greenberg (1987) једноставно случајно узорковање се препоручује када се прелиминарним испитивањима могу дијагностиковати бројне вруће тачке издуженог елипсоидног облика, а циљ испитивања је да се умањи вероватноћа неидентификовања загађења. Ако мање вруће тачке нису од примарног значаја, а поједностављивање узорковања је пожељно и не постоји доказ да су загађујуће материје подједнако или случајно распоређене широм предметне локације, тада се препоручује систематско узорковање са хексагоналном мрежом [Greenberg, 1987].

Међутим, као техника идеална за идентификовање врућих тачака предлаже се тзв. кластер узорковање које подразумева дефинисање кластера (група) широм предметне локације [U.S. EPA, 2002].

Принцип узорковања овом техником заснива се на аплицирању квадратне мреже узорковања унутар које се случајно одабирају иницијални узорци, слика 3.20.



Слика 3.19. Пример вруће тачке услед изливања нафте из нафтовода на пољопривредно земљиште



Слика 3.20. Кластер узорковање „врућих тачака“

Наранџасти уоквирени делови на слици представљају потенцијалне вруће тачке. Пет уоквирених сивих коцкица представљају **иницијалне узорке**. Сваки иницијални узорак се испитује и ако се утврди да неки има повишену концентрацију загађујуће материје, сматра се да тај узорак захвата вруће тачке. По аутоматизму се и суседне ћелије мреже које окружују иницијални узорак узоркују. Узорковање траје све док се не установе први узорци око вруће тачке који не показују повишену концентрацију загађујуће материје. Ти узорци се називају **гранични узорци**. Финални узорак се састоји од кластера узорака око иницијалног и сваки кластер је оивичен граничним узорцима. Уколико је установљено да иницијални узорци немају повишену концентрацију загађујућих материја, они чине кластере сачињене од једног узорка. Такав кластер се зове **мрежа** [U.S. EPA, 2002].

Број узорака потребних за идентификовање зависи од облика и величине вруће тачке и жељеног нивоа поузданости. Вруће тачке су обично визуелно уочљиве на основу промене у боји тла или према доступним подацима о некој хаваријској ситуацији која је проузроковала њихово стварање.

Пошто се утврди површина и облик вруће тачке, минималан број узорака се са нивоом поузданости од 95% (вероватноћа да ће се обухватити врућа тачка износи 95%), може се израчунати као [Ferguson, 1992]:

$$N = k \cdot \frac{A}{a} \quad (3.8)$$

где је: N – минимални број узорака,

A – површина локације, m^2 ,

a – површина вруће тачке, m^2 ,

k – константа за геометријски облик вруће тачке и њене вредности су:

1- за кружни облик, 1,25 – за облачасти облик, 1,5 – за непознати облик,

1,8 – за елипсоидни облик.

Британски стандард за истраживање потенцијално загађених тала (BS 10175: BSI 2001) препоручује да се за време прелиминарних истраживања локације од интереса користи квадратна мрежа од 50-100 метара што је еквивалент од 1-4 узорка по хектару.

Дубине узорковања зависе првенствено од типа загађења (ИСО 10381-5:2005). Расподела загађења на локацији може варирати са дужином будући да загађујуће материје могу имати различите изворе и различиту мобилност, као и различито понашање у интеракцији с тлом. Стога при одабиру дубина узорковања загађеног тла из локалног извора треба узети у обзир:

- 1) хемијско-физичке карактеристике профила тла и њихове варијације,
- 2) локацију извора загађења која се може налазити испод садашње површине тла и
- 3) употребно својство тла на локацији.

У основи, дубина узорковања може се утврдити тек након што су обављена детаљна истраживања којима је утврђен облик вруће тачке. Узорковањем треба да обухватити целу дубину профила загађеног тла, тако да појединачни узорци на дубини од 10 до 50 cm представљају дубину 1 m профила. Композитни узорци се препоручују само у случају хомогеног тла, када су загађујуће материје неволатилне или семиволатилне (ISO 10381-5:2005).

3.14. Опрема за узорковање отпада

Избор адекватне опреме за узорковање у складу са свим карактеристикама отпада је врло битан фактор који утиче на репрезентативност узорака. У зависности од врсте, облика и места на ком је ускладиштен отпад, разликују се различити типови узоркивача.

Узоркивачи који се најчешће користе за узорковање отпада су:

Цевасти узоркивач „COLIWASA“ који се користи за узорковање течног отпада из буради, танкова и кофа (слика 3.21). Обично је дужине 150 cm, 2,5 cm ширине, од пластике или провидног стакла, отпорног на хемијске реакције. Погодан је за слабо вискозне материјале. На једном крају се налази отвор кроз који се увлачи материјал, док на другом крају има стегу којом се регулише евентуално цурење [SESD, 2007]. С обзиром на његову дужину, овај тип узоркивача није за контејнере дубље од 1,5 m [Lemieux, Ryan, 1993].

Стаклена пипета која се такође користи најчешће за узорковање течног отпада из буради, дужине 100-120 cm и ширине 10-19 mm. Капацитет овог узоркивача је 75 ml по инкременту (слика 3.22). У случају узорковања изразито вискозног материјала, користе се дуже пипете. Њена предност је могућност узорковања репрезентативних слојевитих узорака. Површински напон отпада помаже да се одржи узорак у цеви [УЗ 011, 2014].

Бајлер служи за узорковање течног отпада унутар дубоких контејнера, када је површина течности далеко од отвора (слика 3.23). Такође, користе се за узорковање порне воде из сатурисане зоне депоније. То су веома једноставне цевасте посуде са затварачима на обе стране, с тим што се са једне стране, обично горње,

могу, преко вођица, отворати и затварати. Погодности коришћења бајлера су постојање широког спектра величина изграђених од различитих материјала, није потребно напајање енергијом, малих су димензија, лако су преносиви и јефтине су па се могу набавити за сваки од пијезометара без могућности да дође до контаминације при узорковању воде из различитих пијезометара истом посудом. Подесни су за узимање узорака волатила, могуће је најпре уклонити устајалу воду па потом узорковати свежу воду итд. [Кнежевић и др., 2015]. Када се њиме узоркује течни отпад, треба имати на уму да је погодан само за хомогене течности и никако за вискозне течне отпаде [SESD, 2007].



Слика 3.21. Цевасти узоркивач „COLIWASA“



Слика 3.22. Стаклена пипета

„Васон Бомб“ узоркивач је погодан за узорковање стратификованог отпада на више нивоа унутар танкова, буради или депонија. Цилиндричног је облика са унутрашњим конусним клипом за узорковање (слика 3.24). Израђен је обично од нерђајућег материјала. Када се узоркивач урони и дотакне дно средине из које се узоркује, клип узоркивача се отвара и омогућава прихват материјала. Након тога, клип се повлачи и заптива узоркивач, чиме онемогућава расипање узорка. Није погодан за вискозни отпад [SESD, 2007].



Слика 3.23. Бајлер

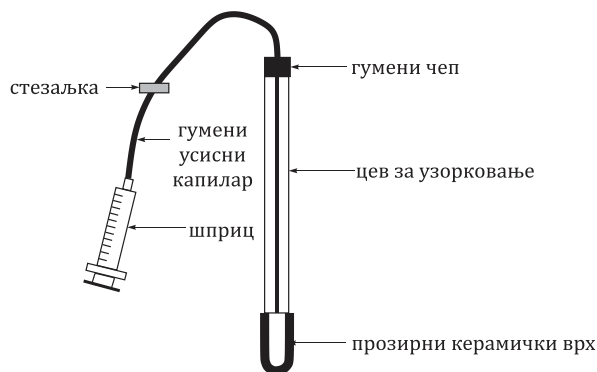


Слика 3.24. „Васон Бомб“ узоркивач

Усисни лизиметри се користе за континуално узорковање порне воде из несатурисане зоне изнад воденог огледала депоније [Feenstra et al., 1985]. Они се заправо користе за прикупљање процедурне воде [Vrbek, 2005]. Омогућавају екстракцију порне воде из депоније стварањем вакуума, док њихови керамички (синтеровани) врхови омогућавају коришћење у сваком тлу, без бојазни о евентуалној реактивности. Делови лизиметра приказани су на слици 3.25.

Усисне пумпе попут **перисталтичких пумпи** користе се за узорковање релативно великих количина порне воде са плитких дубина депоније, до 8 метара дубине и течног отпада одложеног унутар танкова. (слика 3.26). Перисталтичка пумпа се

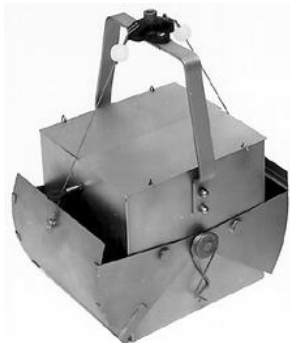
састоји од ротационог ваљка (импелера), обично израђеног од нерђајућег челика, који наизменично врши компресију и растерећење високо еластичног црева, израђеног од силикона или других инертних материјала, формирајући вакуум који усисава течност коју потом потискује навише. Капацитет им је мали, око 3,5 l/s. За ове пумпе је карактеристично да се не урањају у пијезометар већ остају на површини, а у пијезометар се урања само усисно црево [Кнежевић и др., 2015]. Нису погодне за вискозне течности [SESD, 2007].



Слика 3.25. Усисни лизиметар



Слика 3.26. Перисталтичка пумпа



Слика 3.27. Екманов хватач



Слика 3.28. Базенски узоркивач

За узорковање муљевитог и песковитог отпада користе се узоркивачи типа хватачи. **Хватачи** (багери) се обично састоје од једне или више посуда са зглобом који се затвара после захватања довољних количина материјала или при подизању. Хватачима се обезбеђују поремећени узорци код којих се обично губи део разводњеног и најситнијег материјала. Хватачи обезбеђују узимање узорака са малих дубина (5-50 cm), мада је тешко тачно утврдити дубину до које је хватач продро код урањања у седимент. Хватачи се користе за узимање узорака муља и песка. Нису погодни за узимање узорака крупнозрног шљунка, тресета и глине. Најчешћи хватач који се користи код узорковања муљевитог отпада унутар депонија је *Екманов хватач* (слика 3.27) [Кнежевић и др., 2015]. Екманов хватач је кашика код које се отварају и затварају два крила на дну. Примењив је до дубине од 10-15 cm и нису погодни за непоремећене узорке отпада. Дакле, користе се за узорковање површинског отпада одложеног унутар депонија.

Базенски (pond) узоркивач – користи се за узорковање течности и муљева. Сачињен је од телескопске алуминијумске или стаклене шипке дужине од 60 до 450 центиметара (2 или 3 дела подесиве дужине) на који се намонтира метална, заокретна или угаона чаша која око себе има клапну (слика 3.28). Челична чаша је погодна за муљевите узорке, док је заокретна чаша погодна за уске шахтове (окна). Угаона чаша се може окретати до угла од 90° [УЗ 011, 2014].

За узорковање *површинских узорака чврстог ситнозрног отпада* са депоније користе се [Feenstra et al., 1985] лопате, ашови, бургије итд.

Лопатице и ашови, слика 3.29 - Лопатице се користе за плитке површинске узорке зрнастог чврстог отпада, док се ашови користе за узорковање потповршинских слојева зрнастог чврстог отпада. Они пружају добар увид у попречни пресек узоркованог отпада [УЗ 011, 2014].



Слика 3.29. Лопатица (лево) и ашов за узорковање отпада (десно)

Кашика - користи се за прелиминарна испитивања и испитивања површинског слоја одложеног отпада слика 3.30.а. Мана им је та да узети узорци не могу дати репрезентативне податке који се могу применити и на отпад са већих дубина услед ефеката ерозије, лужења, спирања. Може бити потешкоћа при узорковању на дубини већој од 8 cm [Lemieux, Ryan, 1993].

Еделманова бургија - користи за прикупљање узорака за просту карактеризацију отпада. Мана им је то што добијени узорци поремећени и стога тежи за презервацију. Генерално су ограничени на узорковање депоније до површине таложног језера. Тело Еделманове (*Edelman*) бургије је конично и састоји се од два

ножа спојена на сврдло, слика 3.30.б. Врх ножева је заварен за конзолу преко које је везан за дршку (шипку) бургије. Ножеви су закривљени и када продиру у земљиште узорак се усмерава у средишњи део тела сврдла. Позната су четири типа Еделманове бургије: за глину, комбиновани тип, за песак и за крупнији песак. Разлика између ових типова бургије у основи лежи у облику (конструкцији) ножева [Кнежевић и др., 2015].



а) Кашика

б) Еделманова бургија

в) Ручни клипни узоркивач

Слика 3.30. Опрема за узорковање површинских узорака ситнозрног чврстог отпада

Ручни клипни узоркивач се користи за узимање узорака за детаљну карактеризацију отпада. Узорци су мање поремећени него они који се добијају помоћу бургије, слика 3.29.в. Такође, узорци се могу чувати у самим клиповима док се не изврши њихова лабораторијска анализа. Мана им је та да су узети узорци релативно кратки и да се не могу вршити *in-situ* мерења уколико се презервирају унутар клипова.

За узорковање **дубинских узорака ситнозрног чврстог отпада** са депоније користе се [Feenstra et al., 1985] различити узоркивачи.

Разделна кашика - користи се за узимање узорака у сврху *in-situ* карактеризације отпада. Узети узорци су релативно поремећени, слика 3.31.а.

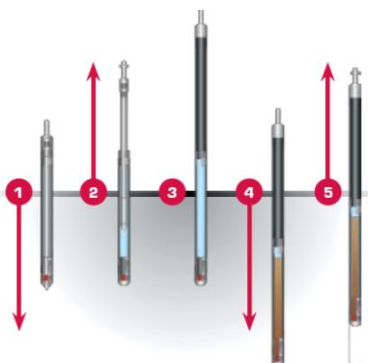
Шелби узоркивач – Користи се за узимање непоремећених узорака за детаљна хемијска и физичка испитивања отпада, слика 3.31.б. Узорци се презервирају до лабораторијских анализа тако што се не ваде изван цилиндара. Мана им је то што су узорци релативно кратки (око 0,75 m). Услед специфичног начина презервације, само крајеви узорка се могу испитивати на самом терену.



а) Разделна кашика



б) Шелби узоркивач



в) Клипни узоркивач



г) Дугачки цилиндар са танким зидом

Слика 3.31. Опрема за узорковање дубинских узорака ситнозрног чврстог отпада

Клипни узоркивач – сличних је карактеристика као и Шелби узоркивач, с тим што се код овог типа узоркивача спречава упадање отпада унутар цилиндра, све док се не достигне жељена дубина, слика 3.31.в. Узорци се презервирају до лабораторијских анализа тако што се не ваде изван цилиндара. Мана им је то што узорци релативно кратки (око 0,75 m). Услед специфичног начина презервације, само крајеви узорка се могу испитивати на самом терену, као и код Шелби узоркивача.

Дугачки цилиндар са танким зидом – Омогућава узимање дугачких (до 10 m), континуалних, релативно непоремећених језгровитих узорака, слика 3.31.г. Идеални су за одређивање слојевитости отпада. Мана им је то што дугачка језгра могу бити тешка за транспорт и манипулацију. Узорци су често недовољно непоремећени за детаљна физичка испитивања.

Као што се може закључити, сви ови узоркивачи за дубинске узорке су мање-више исти, разлика је само у димензијама крајњег језгровитог узорка.

Литература

- [1] Minkkinen P., (2004), Practical applications of sampling theory. Chemometrics and intelligent laboratory systems, 74(1), 85-94.
- [2] Smith P., (2008), An Introduction to General Sampling Principles: Reducing Bias and Variation in Bulk Sampling, Journal of GXP Compliance, Summer 2008 Volume 12 No. 4
- [3] Sampling Design Guidelines, NSW Environment Protection Authority, Sidney
- [4] Code of practice. Environmental Risk Assessment for Unregulated Waste Disposal Sites, Environmental Protection Agency, Ireland.
- [5] Ловрић М., (2008), Основи статистике – дескриптивна статистика, Економски факултет, Универзитет у Крагујевцу, Крагујевац
- [6] СРПС: ЦЕН/ТР 15310, Карактеризација отпада - Узимање узорака отпада - Део 1: Смернице за избор и примену критеријума за узимање узорака под различитим условима, Институт за стандардизацију Србије, Београд
- [7] Superfund program, Representative sampling guidance, Volume 4: Waste, U.S. Environmental Protection Agency, Washington: https://clu-in.org/download/char/SF_Rep_Samp_Guid_waste.pdf
- [8] Smith K., (2013), Sampling Consideration at Mining Sites – expanded version, Sampling, Monitoring and Remediation at Mine Sites Workshop, CLU-IN Webinar Series on Hardrock Mining Geochemistry and Hydrology, U.S. Geological Survey
- [9] Gy P. M., (1976), The sampling of particulate materials—A general theory. International Journal of Mineral Processing, 3(4), 289-312.
- [10] Гржетић И., - Аналитичке грешке и статистичка анализа грешака, Хемија животне средине 2, Београд, стр. 1-40.
- [11] Пешић В., (2013), Мерна несигурност узорковања, Нови Сад
- [12] Тренкић, Ј., (2010), Утицај избора методе узорковања на поузданост ревизијских доказа, Економски факултет, Суботица
- [13] Lemieux, P. M., Ryan, J. V., (1993), Characterization of air pollutants emitted from a simulated scrap tire fire. Air & Waste, 43(8), 1106-1115.
- [14] Gilbert R., (1987), Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring, Van Nostrand Reinhold Company Inc., New York
- [15] Guidance on choosing a sampling design for environmental data collection, U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Washington
- [16] Gupta, A., & Yan, D. S. (2006). Introduction to mineral processing design and operation, Elsevier B.V., Perth, Australia.
- [17] RCRA Waste Sampling Draft Technical Guidance, (2002), Office of Solid Waste, U.S. Environmental Protection Agency, Washington
- [18] Драгичевић, С.К., (2006), Приручник за трајно мотрење тала Хрватске, Агенција за заштиту околиша (АЗО), Загреб
- [19] Kimberly L., (2017), TransCanada: More than 44,000 gallons of oil recovered from Keystone spill so far, Washington Examiner

- [20] Нацрт документа са упутствима, Уредба о мониторингу и извештавању – Упутство о узорковању и анализи, Документ са упутствима УМИ бр. 5, коначна верзија, (2012), Европска комисија, Генерални директорат за климатске акције, http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/monitoring/index_en.html
- [21] Collection, Handling, and Analysis of Environmental Samples in Support of Regulatory Projects. Office of water quality, Technical memorandum No. 94.08, <https://water.usgs.gov/admin/мемо/QW/qw94.08.html>
- [22] EPA, (1996), The Volunteer Monitor's Guide to Quality Assurance Project Plans, Environmental Protection Agency, United States
- [23] Mitchell P., (2006), Guidelines for Quality Assurance and Quality Control in Surface Water Quality Programs in Alberta, W0603, Environmental Monitoring and Evaluation Branch, Environmental Assurance Division, Alberta Environment, Edmonton, Alberta
- [24] Гржетић И., (2001), Обезбеђење квалитета и управљање квалитетом на пројектима и задацима са аналитичком праксом, Техника - Квалитет, стандардизација и метрологија 2, Но. 2, стр. 1- 14
- [25] Loftus T., -, Lagoon Systems in Maine, Chain of Custody, <http://www.lagoonsonline.com/laboratory-articles/custody.html>
- [26] Jadhav, H., Purohit, S., (2008), Global Pollution and Environmental Monitoring, Global Media, Mumbai
- [27] Далмација М., (2011), Ланац продукције података и процена усаглашености у мониторингу отпадних вода, Школа за заштиту животне средине, Нови Сад http://www.cecra.dh.pmf.uns.ac.rs/pdfww2011/Lanac%20produkcije_MilenaD.pdf
- [28] RBM, (2013), Sample Collection, Storage and Preservation, RMB Environmental Laboratories, Inc. <http://rmbel.info/wp-content/uploads/2013/05/Sample-Collection-and-Preservation-List.pdf>
- [29] Sava R., (1994), Guide to Sampling Air, Water, Soil and Vegetation for Chemical Analysis, Environmental Protection Agency (EPA), Sacramento
- [30] EN 15002-2006, Characterization of waste. Preparation of test portions from the laboratory sample.
- [31] Генералић Е., Крка С., (2012), Приручник за вежбе – Анализа реалних узорака, Кемијско-технолошки факултет у Сплиту, Сплит
- [32] Gy P. M., (1995), Introduction to the theory of sampling, I. Heterogeneity of a population of uncorrelated units, Trends in analytical chemistry, Vol. 14, no. 2, 1995
- [33] СРПС, (2013), ЦЕН/ТР 16365, Карактеризација отпада-Узимање отпада из екстрактивне индустрије, институт за стандардизацију Србије, Београд
- [34] Waste Sampling and Testing for Disposal to Landfill, (2013), Environment Agency, Bristol, https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/321207/Sampling_and_testing_of_waste_for_landfill.pdf
- [35] Жижих М., Ловрић М., Павличић Д., (2007), Методи статистичке анализе, Економски факултет Универзитета у Београду, Београд

- [36] Handbook for Sampling and Sample Preservation of Water and Wastewater, (1982), U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio
- [37] National Ambient Air Quality Standards, (2011), U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Washington, <http://www.epa.gov/air/criteria.html>
- [38] СРПС, (2009), ЦЕН/ТР 15310, Карактеризација отпада -Узимање узорака отпада - Део 2: Смернице за технике узимања отпада, Институт за стандардизацију Србије, Београд
- [39] Feenstra, S., Reades, D. W., Cherry, J. A., Chambers, D. B., Case, G. G., & Ibbotson, B. G., (1985), Uranium tailings sampling manual (No. NUTP--1E). Canada Centre for Mineral and Energy Technology.
- [40] Ferguson, C., (1992), The statistical basis for spatial sampling of contaminated land, *Ground Engineering*, 25, 34-34.
- [41] ISO 10381-5:2005, Soil quality - Sampling - Part 5: Guidance on the procedure for the investigation of urban and industrial sites with regard to soil contamination
- [42] BS 10175: BSI 2001, Investigation of potentially contaminated sites. Code of practice, BSI Committee
- [43] Greenberg, M. R. (1987), Sampling strategies for finding contaminated land, *Applied Geography*, 7(3), 197-202.
- [44] Ansah-Сам М., Binczyk Т., Dobek С., Geremew А., Guo С., Мимурa W., Wrrtakone S., (2015), Guidelines for Tailings Deposit Sampling and Measuring Tools, Cosia geostatistical and deposit sampling working group
- [45] Operating Procedure Waste Sampling, (2007), U.S. Environmental Protection Agency, Science and Ecosystem Support Division, Athens, Georgia
- [46] Кнежевић Д., Нишић Д., Цвјетић А., Ранђеловић Д., Секулић З., (2015), Мониторинг у животној средини, Рударско-геолошки факултет, Београд
- [47] Упутство за узорковање отпада, Издање 6, (2014), Градски завод за јавно здравље, Београд
- [48] Vrbek, B., (2005), Lysimetric pedology as a method of quality researches of soil solution in forest soils of Croatia. *Šumarski list*, 129(7-8), 397-407.

4. ФИЗИЧКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ОТПАДА



У овом поглављу обрађени су основни појмови везани за физичке карактеристике отпада. Дате су дефиниције сваког од физичких параметара који се изучава, начин одређивања, као и тумачење вредности за конкретне индустријске отпаде.

Познавање физичких карактеристика је битно за свако проучавање отпада и за сваки вид манипулације њиме. То су општи параметри, који се релативно лако и брзо одређују. Методе одређивања физичких параметара су, по правилу, стандардизоване.

Узорковање отпада за одређивање физичких карактеристика битно се не разликује од узорковања за одређивање геотехничких карактеристика (поглавље 5).

4.1. Густина, релативна густина, запреминска и насипна густина

Густина представља масу материјала, без влаге и пора, која стане у јединицу запремине:

$$\rho = \frac{m_s}{V} = \frac{m_s}{m_s + m_{pt} + m_{pts}} \cdot \rho_t \quad (4.1)$$

где је: ρ - густина, kg/m^3 ,

m_s - маса узорка, g (kg , t),

V - запремина суда у који се узорак сипа, cm^3 (m^3),

m_{pt} - маса пикнометра напуњеног течношћу, g (kg , t),

m_{pts} - маса пикнометра напуњеног течношћу и узорком, g (kg , t),

ρ_t - густина течности, g/cm^3 (kg/m^3 , t/m^3)

У литератури се срећу различити називи за густину: специфична тежина, јединична тежина, запреминска тежина [Максимовић, 2014], запреминска тежина чврстих зрна [Обрадовић, Најдановић, 1999]. У извештајима појединих лабораторија користи се назив "запреминска тежина чврстих честица – специфична тежина", што је у сагласности са старим ЈУС стандардом, ЈУС В.В8.032 из 1962.г.

Основна јединица за изражавање густине је kg/m^3 , али се из практичних разлога често се користи t/m^3 , док се у геотехници користи kN/m^3 . Дакле: $2710 \text{ kg/m}^3 = 2,71 \text{ t/m}^3 = 27,10 \text{ kN/m}^3$. Када се густина одређује у лабораторији онда се ради са узорком који се мери у грамима, а запремина пикнометра се израђава у милилитрима или cm^3 .

Густина се одређује у пикнометру (слика 4.1) на потпуно сувом узорку, самлевењом до нивоа да се запремина пора може потпуно занемарити (тзв. "млевање на мртво").



Слика 4.1. Пикнометар

Као флуид којим се пуни пикнометар најчешће се користи дестилована вода, но када долази до реакције између воде и материјала чија густина се одређује користе се различите органске течности – ксилол, терпентин, толуол и др.

Поступак одређивања густине чврстих тела пикнометром. За одређивање густине најпре се одваже, на прецизној лабораторијској ваги, потпуно уситњени узорак (маса зависи од величине пикнометра), потом се (потпуно суви) пикнометар до врха напуни течношћу, а да би се знало да је потпуно испуњен течношћу на њега се ставља чеп који истисне део течности и мехуриће ваздуха. Пре мерења масе пикнометар се споља пажљиво обрише и осуши. Потом се пикнометар испразни па се у њега усипа одмерени узорак, а потом улије течност. Да би се истиснули мехурићи ваздуха који остају заробљени унутар узорка,

пикнометром се више пута благо куцка о чврсту подлогу. Уклањање ваздуха могуће је обавити и вакуум пумпом. Када више нема мехурића ваздуха на пикнометар се поново ставља чеп, брише се, суши и вага. Истиснута течност практично чини запремину коју је узорак заузео. Када се ради са дестилованом водом тада је добијена разлика маса једнака запремини, а када се ради са органским течностима тада треба узети у обзир и густину течности, која је различита од 1.000 kg/m^3 (1 t/m^3). Ако се полазна маса подели са добијеном запремином коју је та маса заузела добија се густина тог узорка. Експеримент се понавља најмање још једном па се прорачунава просечна вредност. У лабораторији поступност рада се постиже и попуњавањем табеле, као на следећем примеру:

Ознака узорка	Маса сувог узорка, g	Маса пикнометра испуњеног течношћу, g	Маса пикнометра испуњеног течношћу и узорка, g	Маса пикнометра са течношћу и узорком, g	Запремина узорка, cm^3	Густина, g/cm^3
1	2	3	4	5	6	7
			Збир (2) + (3)		(4)-(5)	(kg/m^3)

Густина отпада који је у облику комада може се одредити и хидростатичком вагом, слика 4.2.

Тело чију густину треба одредити, веже се лаким концем о један крак ваге и измери његова маса m_1 у ваздуху. При мерењу у ваздуху тело треба да буде суво, а при другом мерењу потпуно потопљено у води. Тада се измери његова привидна маса m_2 у води. Разлика ових маса $m_1 - m_2$ једнака је маси истиснуте воде. Ако густину воде означимо са $\rho_0 = 1000 \text{ kg/m}^3$ онда израз $(m_1 - m_2)/\rho_0$ даје запремину тела V . Тражена густина тела добија се на основу израза:

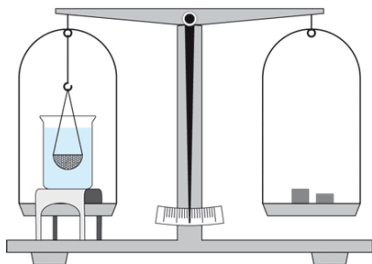
$$\rho = \frac{m}{V} = \rho_0 \cdot \frac{m_1}{m_1 - m_2} \quad (4.2)$$

Густина полиминералног материјала, какав је обично отпад минералног порекла, представља резултантну вредност густина појединих минералних компонената. Минерали који су доминантни у саставу отпада минералног порекла имају густине између 2.400 и 3.000 kg/m^3 (кварц, 2.650 kg/m^3 , калцит, 2.720 kg/m^3 , мусковит, 2.850 kg/m^3 , серпентинит 2.500 - 3.200 kg/m^3 , каолинит, 2.600 kg/m^3 , фелдспати, 2530 - 2630 kg/m^3 itd.), те су и густине отпада тог реда величине. Пепео, који се издаваја као несагорели остатак горења угља, има густину 2.000 - 3.000 kg/m^3 , фосфогипс 2.200 - 2.600 kg/m^3 , црвени муљ 2.600 - 3.500 kg/m^3 , а гипс од одсумповања димних гасова 2.300 - 2.400 kg/m^3 .

Релативна густина се добија поређењем густине неког материјала са густином воде. Тиме се добија бездимензионална вредност идентична некадашњој "специфичној тежини" или густини исказаној у t/m^3 [Максимовић, 2014].

Поред густине за прорачунавање расположивог и потребног простора важно је познавати насипну и запреминску густину или насипну и запреминску масу отпадног материјала.

Насипна густина (или маса) подразумева слободно пражњење неког материјала на равну површину без било каквих интервенција у погледу збијања, нагуравања, "табања" и сл. Пошто се бележи само запремина коју материјал заузима добијена вредност укључује поре и слободни простор који остаје у маси услед различитог облика и крупноће зрна која се одлажу. Насипна маса је карактеристична за одлагање сувог отпада са транспортне траке или преко одлагача.



Слика 4.2. Хидростатичка вага



Слика 4.3. Уређај за одређивање насипне густине (маса)

Запреминска густина (или маса) подразумева да се маса ваздуха заробљеног у порима максимално смањи. Код одређивања запреминске масе подразумевају се три случаја: одређивање запреминске масе на сувој сировини, одређивање запреминске масе при природној влажности и одређивање запреминске масе на узорку који је потпуно засићен водом.

Насипна и запреминска густина одређује се на узорцима ситнијим од 2 mm, познате влажности. Насипна маса се понекад назива и запреминска маса у растреситом стању.

Поступак одређивања насипне масе. Посуда познате запремине (најчешће $1 \text{ dm}^3 = 1 \text{ l}$) и масе пуни се, кроз левак, слободним падом, слика 4.3. Пре него што материјал почне да "прелива" из посуде прекида се пуњење, а формирана купа се равњачом ("лењиром") поравна до врха руба посуде. Посуда се пажљиво споља очисти, извага се маса посуде и узорка, одузме се маса празне посуде и добије маса материјала који је насут. Тако се добије маса (g, kg, t) која стаје у суд познате запремине (dm^3 , m^3). При чишћењу посуде или преношењу до ваге најчешће долази до сабијања насутог материјала. У таквом случају не треба додавати материјал јер се насута маса, без обзира на сабијање, није променила.

Поступак одређивања запреминске масе. Одређивање запреминске густине обично следи после одређивања насипне. Наиме, користи се иста апаратура, посуда се пуни на исти начин, али се додатно уводи уређај за сабијање материјала у посуду, слика 4.4. Обично се за сабијање користи неуравнотежени замајац. До руба напуњена посуда (са купом) ставља се на радну плочу која преко неуравнотеженог замајца "пада" (у вертикалној равни) чиме се сабија материјал у посуду. Након 30 "падања" посуда се допуњава до врха и процес се понавља све док се визуелно не уочи да нема промене нивоа материјала у посуду. Посуда се пажљиво очисти и вага. Потом се дода још материјала у посуду и додатно сабија. После првих 30 падања, поравна се руб посуде и поново вага. Ако нема разлике у масама (дозвољена разлика је 0,01%) опит је завршен.



Слика 4.4. Уређаји за одређивање запреминске густине (месе)

Уређаји за одређивање запреминске масе могу бити веома једноставни, слика 4.4 лево, али и дизајнерски сређени, како је то приказано на слици 4.4 десно. Принцип рада је у оба случаја идентичан.

Постојеће методологије одређивања запреминске густине углавном се разликују у погледу броја "падања". Понекад се то задаје, од 30 преко 500 до 1250, па се онда мери и утврђује разлика.

И насипна и запреминска густина се одређују на потпуно сувом узорку, али је могуће одређивање и на узорку познате влажности (при тзв. "доставној влази"). Када влага није наведена подразумева се да су ове густине одређене на суво, а када се ради са влажним узорком онда се то стриктно наводи.

Типичне вредности запреминске густине неких некохерентних и кохерентних материјала дате су у табели 4.1 [IS, 1999].

Табела 4.1. Типичне вредности запреминске густине неких материјала [IS, 1999]

Врста тла	Запреминска густина, суво, kg/m ³
GC глиновити шљунак	>1840
GM прашинасти шљунак	>1830
SM прашинасти песак	1830 ± 16
SC глиновити песак	1840 ± 16
ML неорганске прашине, глиновити ситни пескови	1650 ± 16
CL неорганске, прашинасте и песковите глине	1730 ± 16
CH неорганске глине високе пластичности	1510 ± 32
MH неорганске прашине високе пластичности	1310 ± 64

Типичне вредности насипне и запреминске масе неких отпада приказане су у табели 4.2.

У инжењерској пракси се зна да насипна маса приближно једнака једној трећини густине, а запреминска маса у сувом стању приближно једнака половини вредности густине.

Просечне вредности густине и порозност јаловина из неколико шведских рудника приказана је у табели 4.3. [Bjelkevik, 2005].

Табела 4.2. Типичне вредности насипне и запреминске масе неких отпада

Врста отпада	Густина, суво, kg/m ³		Извор
	Насипна	Запреминска	
Флотацијска јаловина, плажа депоније		1.950	Bjelkevik, 2005
Флотацијска јаловина, плажа, муљ		1.640-1.780	Bjelkevik, 2005
Флотацијска јаловина бабра		1.310	
Флотацијска јаловина олова и цинка		1348 - 1.600	Кнежевић, 1992
Фосфогипс		900-1.700	Rutherford, 1994
Фосфогипс, Прахово	800	950	Кнежевић, 2013
Пепео и шљака, Колубара	570-660		Обрадовић, Најдановић, 1999
Пепео и шљака, ТЕНТ	550	750	Кнежевић, 2014
Шљака, Костолац	506	588	Бранковић, 1991
Пепео и шљака, Гацко		838	Беатовић, 2012
Пепео и шљака, Косово	627	942	Кнежевић, 1995
Муљ гравитацијске сепарације, Омарска	910	1320	

У табели 4.3 порозност је израчуната из односа суве запреминске густине са порам и густине (дакле, без пора, суво) по обрасцу:

$$n = 1 - \frac{\rho_{\text{зап}}}{\rho} \cdot 100 \quad (4.3)$$

Из горњег обрасца може се доћи и до обрасца за прерачунавње запреминске густине у случају када се знају густина и порозност:

$$\rho_{\text{зап}} = \rho \cdot (1 - n) \quad (4.4)$$

где је: $\rho_{\text{зап}}$ – запреминска густина, kg/m³,
 ρ - густина, kg/m³,
 n – порозност, %/100

Табела 4.3. Просечне вредности густина јаловине са неколико шведских рудника [Bjelkevik, 2005]

Рудник	Корисна минерална сировина	Запреминска густина, t/m ³		Густина, t/m ³	Порозност, %
		Суво	Влажно		
Кируна	Fe	1,74	2,11	2,88	40
Свапавара	Fe	1,75	2,16	3,42	48
Малмбергет	Fe	2,01	2,35	3,31	40
Аитик	Cu, Au, Ag	1,49	1,92	2,82	47
Болиден	Zn, Cu, Pb, Au, Ag	1,86	2,12	4,07	54
Гарпенберг	Zn, Ag, Pb, Cu, Au	1,46	1,91	2,99	51
Зинкгруван	Zn, Pb, Ag	1,54	1,86	2,80	45

Када се узоркују седименти, из језера или река, важно је познавати њихову запреминску густину. Запреминска густина се одређује на непоремећеним узорцима који се добијају утискивањем неког узоркивача у депоноване седименте. Искуство показује да запреминска густина седимената зависи, у највећој мери, од крупноће, али да утицај има и начин седиментације и дебљина седиментног слоја. Запреминску густину је могуће прорачунати и преко емпиријских образаца [Verstraeten, Poesen, 2001]:

- Образац Лејна и Келцера (Lane, Koelzer)

$$\rho_{\text{zap.sed.}} = 0,817 \cdot (P+2)^{0,13} \quad (4.5)$$

- Образац Комуре (Komura)

$$\rho_{\text{zap. sed.}} = 2 - \frac{0,229}{d_{50}^{0,21}} \quad (4.6)$$

где је: P – учешће честица крупнијих од 0,050 mm, %,
d₅₀ – средњи пречник честице, cm

Табела 4.4. Запреминска густина седимената

По Траску		По Ембрију	
Крупноћа, μm	ρ _{zap. sed.}	Средња вредност, μm	ρ _{zap. sed.}
250-500	1,426	1000	1,922
125-500	1,426	500	1,667
64-125	1,378	250	1,426
16-64	1,266	100	1,234
4-16	0,881	50	0,121
1-4	0,368	10	0,913
<1	0,048	5	0,833
		1	0,673

У табели 4.4 дате су литературне вредности седимената по Траску (*Trask*), утврђено у лабораторији, и по Ембрију (*Hembree*) и осталим, утврђено експериментално на седиментима у САД.

Из односа запреминске (γ_{zap}) и насипне (γ_{n}) густине могуће је дефинисати течљивост (проточност, покретљивост) материјала коришћењем Каров (*Carr*) индекса [Schüssele, Bauer-Brandl, 2003, Krantz, 2009]:

$$I = \frac{\gamma_{\text{zap}} - \gamma_{\text{n}}}{\gamma_{\text{zap}}} \cdot 100 \quad (4.7)$$

Ако је Каров индекс испод 15 течљивост је добра, а ако је изнад 25 течења је лоше. Хознеров (*Hausner*) однос има следећи облик [Sawa et al., 2015]:

$$H_r = \frac{\gamma_{zap}}{\gamma_n} \quad (4.8)$$

Ако је H_r мањи од 1,2 течење је слободно, а ако је изнад 1,4 ради се о кохезионом материјалу који тешко тече. Детаљнија подела течљивости материјала у функцији Каровог индекса и Хознеровог односа дат је у табели 4.5 [Carr, 1965].

Табела 4.5. Течљивост према Каровом индексу и Хознеровом односу [Carr, 1965]

Каров индекс, %	Течење	Хознеров однос
1-10	Изврсно	1,00-1,11
11-15	Добро	1,12-1,18
16-20	Добар	1,19-1,25
21-25	Прихватљиво	1,26-1,34
26-31	Слабо	1,35-1,45
32-37	Врло слабо	1,46-1,59
>38	Врло, врло слабо	>1,60

У англосаксонској литератури се среће нешто другачија подела и дефиниција густина [Earth, 2000].

Particle density или **true density**- густина потпуно "чистог" зрна која искључује поре унутар или између зрна (практично у српском "густина", некадашња специфична тежина) означава се са грчким словом "ρ" и назива "густина честице (зрна)".

Bulk density - када су у питању уситњени и растресити материјали користи се овај општи назив (густина растреситог) и означава се грчким словом "γ". Међутим, овде се разликују три стања:

- **as poured** или **loose** - насуто,
- **compacted** или **tapped** - збијено, и
- **aerated** - са ваздухом.

"Насута" одговара нашој насипној густини, с тим што се разликују два стања, суво: "**dry bulk density**" и влажно: "**wet bulk density**". Суво се одређује сипањем потпуно сувог материјала у суд познате запремине, а влажно сипање материјала са "затеченом" и познатом влажношћу у суд познате запремине.

"Збијена густина" одговара нашој запреминској густини јер се врши збијање честица силом удара или вибрација.

Густина "са ваздухом" подразумева да су честице међусобно одвојене ваздушним филмом и одговара сувим пудерима. У домаћој терминологији не постоји одговарајући израз за ову густину. С обзиром да се ово стање среће у бункерима (силосима) са ситним материјалом, који се флуидизира ради лакшег пражњења, код нас се за прорачун потребне запремине силоса користи насипна густина.

Густина која се одређује на непоремећеном узорку тла, лежишта или депоније на лицу места назива се "**in situ unit weight**" [Earth, 2000] и одговара запреминској маси са природном или затеченом влажношћу. На таквим узорцима се одређује и маса у сувом стању или "**dry unit weight**" (ознака ρ_d) и маса у влажном стању или "**wet unit weight**" (ознака ρ_{wet}).

4.2. Хидрауличка збијеност

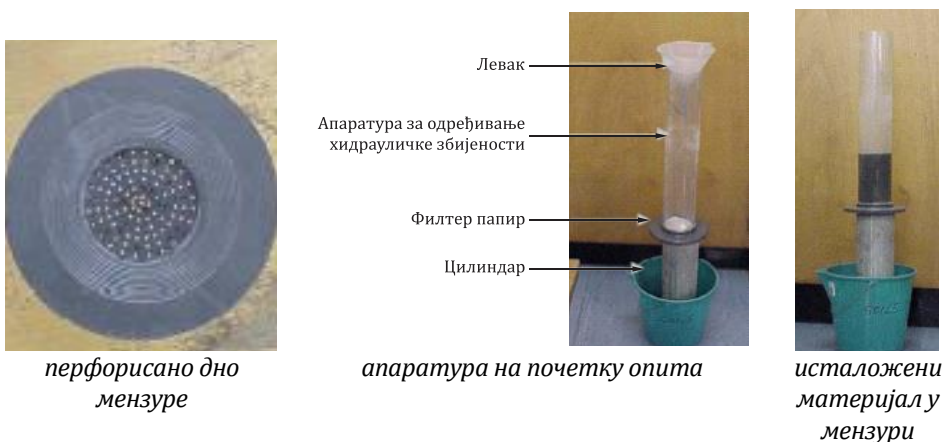
Хидрауличка збијеност је параметар који дефинише запремину коју одређена количина материјала заузме при хидрауличком одлагању унутар дренажног одлагалишта. Овај параметар није код нас стандардизован, али његово вишегодишње коришћење у пракси показује да при прорачуну капацитета одлагалишта даје тачније резултате него коришћење запреминске густине (маса). Хидрауличка збијеност се одређује у мензури чије дно је перфорисано и обложено филтер папиром који омогућава дренарање воде, али не и изношење чврстих зрна. Мензура се пуни хидромешавином чије карактеристике одговарају хидромешавини која ће се одложити. Напуњена мензура се дренира 24 часа, након чега се читава заузета запремина. С обзиром да је позната маса (сувог) материјала који је саставни део хидромешавине лако се прорачунава хидрауличка збијеност по обрасцу:

$$\gamma_{hz} = \frac{m_s}{V} \quad (4.9)$$

где је: γ_{hz} – хидрауличка збијеност, kg/m^3 (g/cm^3),
 m_s – маса сувог материјала у хидромешавини, kg (g),
 V – заузета запремина у мензури, m^3 (cm^3)

Хидрауличка збијеност је, обично 5 - 20%, мања од запреминске густине.

У Аустралији је одређивање максималне запремине коју хидраулички депоновани материјал заузима стандардизовано - стандард ознаке AS 1289.5.5.1 [према Ранкиновој, 2002]. По овом стандарду се такође користи мензура са перфорисаним дном и заштитом дна филтер папиром уз 24-часовно "цеђење" воде из мензуре. Једина разлика у односу на претходно описану процедуру је у јасно дефинисаном односу чврсте и течне фазе која се улива у мензуру (Ч:Т - 1:3). Изглед перфорисаног дна мензуре, инсталације на почетку и крају опита дати су на слици 4.5.



Слика 4.5. Апаратура за одређивање хидрауличке збијености

Упоредни приказ хидрауличке збијености и запреминске густине (прерачунао на суво) за неке индустријске отпаде дат у табели 4.6 показује да је хидрауличка збијеност увек мања од запреминске густине што значи да је увек потребно више простора за смештај исте количине отпада.

Табела 4.6. Упоредни приказ хидрауличке збијености и запреминске густине отпада

Отпад	Порекло	Запреминска густина, γ_{zap} , kg/m ³	Хидрауличка збијеност, γ_{hz} , kg/m ³	Однос $\gamma_{zap} / \gamma_{hz}$
Муљ	Гравитацијска сепарација руде гвожђа Омарска	1.320	1.098	1,20
Флотацијска јаловина	Рудник олова и цинка Шупља стијена	1.438	1.304	1,10
Пепео	Термоелектрана Косово Б	942	920	1,03
Пепео	Термоелектрана Костолац Б	773	667	1,16
Фосфогипс	ИХП Прахово	950	850	1,12

4.3. Гранулометријски састав

Гранулометријски састав приказује масену дистрибуцију зрна разврстану по одређеним класама крупноће. Гранулометријски састав некохерентних материјала се одређује просејавањем на лабораторијским ситима, а кохерентних седиментацијом и елутријацијом. Добијени резултати се приказују табеларно или графички (уобичајено се црта крива просева) у дијаграму са семилогаритамском поделом.

Гранулометријски састав отпадног материјала је условљен карактеристикама технолошког процеса и примењене опреме за припрему и прераду. Посматрано преко горње граничне крупноће отпади минералног порекла имају крупноћу:

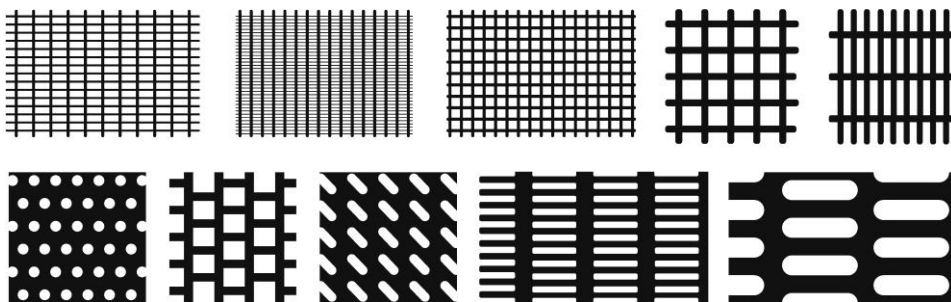
- рудничка откривка ≤ 1500 mm
- рудничка јаловина ≤ 1000 mm
- металуршке јаловине..... ≤ 500 mm
- јаловина сувих сепарација..... ≤ 300 mm
- шљака лигнита..... ≤ 75 mm
- јаловине мокрих сепарација ≤ 25 mm
- пепео лигнита ≤ 1 mm
- флотацијска јаловина ≤ 0,5 mm
- муљевеи ≤ 0,05 mm

Зрна која су крупнија од 2 mm не показују капиларност. По правилу, са одлагањем зрна изнад 2 mm нема посебних проблема, без обзира на примењени метод. Зрна крупноће -2+0,074 mm су најинтересантнија са аспекта формирања депонија јер представљају пожељну класу у грађи ободних насипа. Зрна ситнија од 0,074 mm превладавају у јаловинама из процеса флотацијске концентрације (50 - 90%), пепелу после сагоревања угља у термоелектранама (50 – 70%) и индустријским отпадним гипсевима (30-90%). Због обезбеђења статичке стабилности и дренарања учешће зрна ситнијих од 0,074 mm у материјалу од којег се прави ободни насип се строго лимитира.

4.3.1. Одређивање гранулометријског састава просејавањем

Одређивање крупноће и раздвајање сировине по крупноћи може се вршити различитим методама, у зависности од крупноће узорка: просејавањем, седиментацијом, елутријацијом итд. [Кнежевић, 2011, 2012].

Просејавање је процес раздвајања зрнастог материјала по крупноћи који се остварује на просевној површини израђеној од плетене мреже, перфорисаног лима или ламела. На слици 4.6 приказани су неки типови просевних површина.



Слика 4.6. Неки типови просевних површина

Одређивање гранулометријског састава врши се на више начина у зависности од крупноће појединих зрна, табела 4.7.

Табела 4.7. Начини одређивања гранулометријског састава

Крупноћа, mm	Начин одређивање гранулометријског састава
+ 100	Мерење средњег пречника или појединих димензија комада
- 100 + 5	Просејавање на нестандардизованим ситима
- 5 + 0,037	Просејавање на стандардизованим ситима
- 0,037	Седиментација, елутријација, микроскопски, ласерски

Одређивање крупноће зрна ситнијих од 100 mm, а крупнијих од 5 mm се обавља просејавањем на ситима, код којих облик и величина рама сита, величина сита, светла површина и међусобни односи између тих сита нису стандардизовани. Та сита се често називају "обична" или "грађевинска". Мада није прописано, због лакоће израде, најчешће имају квадратни облик, рам сита је дрвени, а мрежа је метална квадратних (плетена жица) или округлих отвора (перфорисани лим).

За одређивање гранулометријског састава зрна ситнијих од 5 mm и крупнијих од 0,074 mm, односно 0,037 mm, користе се лабораторијска сита. Лабораторијска сита су стандардизована, а сви битни параметри код тих сита су прецизно утврђени. Имају металне рамове округлог облика, а просевна површина је израђена од плетене мреже са квадратним отворима. Величина сита, дебљина жице и број отвора је дефинисан у зависности од стандарда. Израђују се у серијама са јасно дефинисаним кораком (модулом) повећања или смањења величине отвора између суседних сита у серији.

Табела 4.8. Стандардне серије лабораторијских сита по Тајлеру и DIN -у

Тајлерова серија				DIN 1171			DIN 4188
Основна серија		Допунска серија		Број сита	Број отвора на cm ²	Величина отвора, mm	Величина отвора, mm
Број сита, меш (#)	Величина отвора, mm	Број сита, меш (#)	Величина отвора, mm				
3	6,680	3,5	5,613				
4	4,699	5	3,962	5	25	1,200	4,0
6	3,327	7	2,794	6	36	1,020	3,15
8	2,362	9	1,981	8	64	0,750	2,50
10	1,651	12	1,397	10	100	0,600	2,00
14	1,168	16	0,991	11	121	0,540	1,60
20	0,833	24	0,701	12	144	0,490	1,25
28	0,589	32	0,495	14	196	0,430	1,00
35	0,417	42	0,351	16	256	0,385	0,800
48	0,295	60	0,246	20	400	0,300	0,630
65	0,208	80	0,175	24	576	0,250	0,500
100	0,147	115	0,124	30	900	0,200	0,400
150	0,104	170	0,088	40	1600	0,150	0,315
200	0,074	230	0,061	50	2500	0,120	0,250
270	0,053	325	0,043	60	3600	0,102	0,200
400	0,037			70	4900	0,088	0,160
				80	6400	0,075	0,125
				100	10000	0,060	0,100
							0,090
							0,080
							0,071
							0,063
							0,050
							0,045
							0,040

Лабораторијска сита се израђују по више стандарда, а у припреми минералних сировина се најчешће користе сита израђена по систему Тајлера (*Tyler*), за металичне и неметаличне минералне сировине, и немачком DIN стандарду, за угаљ. Карактеристике серија сита направљена по тим стандардима дате су у табели 4.8.

Основно сито Тајлерове серије сита је сито величине отвора од 0,074 mm (200 # чита се као 200 меша). Код овог сита на дужини од 25,4 mm има 200 отвора и 200 жица.

По Тајлеру сита се класификују на основну и допунску серију. Број и величина отвора на суседним ситима основне серије се добија множењем или дељењем са $\sqrt{2}$ (1,41), а код допунске са $\sqrt[4]{2}$ (1,189).

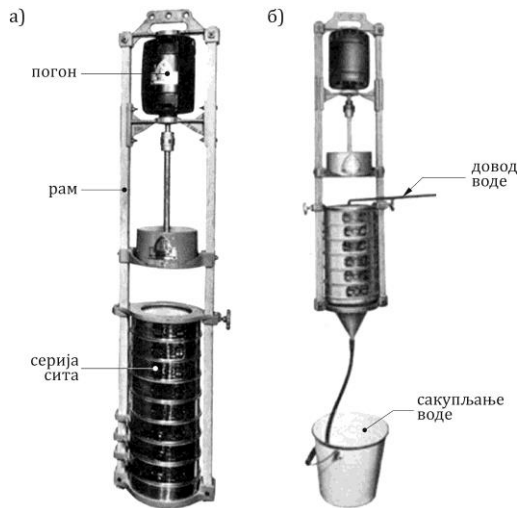
Немачки, DIN стандарди, имају више серија сита. Ови стандарди су прихваћени и пренесени у више земаља, па је и ЈУС, данас СРПС. Серији сита по француским стандардима (AFNOR) је идентична серија сита по DIN 4188.

Просејавање на нестандартним ситима се увек обавља ручно, док се просејавање на стандардним ситима може обављати ручно и механички.

Ручно просејавање се обавља тако што се узорак просејава најпре кроз сито са највећим отворима. Производ који остане на сити се мери, а производ који прође кроз отворе се просејава кроз наредно сито из серије и тако редом. Ручно просејавање се обавља на појединачним ситима.

Механичко просејавање се обавља на посебним уређајима (различите конструкције) тако што се најпре формира серија од више сита тако да свако доње сито има мању величину отвора, потом се у најгорње сито (које има највеће отворе) сипа узорак и стави у апарат у којем се остварује вибрације довољне да побуде "кретање" материјала и његово просејавање.

На слици 4.7 приказан је механички вибро уређај за просејавање.



Слика 4.7. Механички уређај за просејавање: а) суво (лево), б) мокро (десно)

Време просејавања код ручног просејавања се одређује визуелно (престаје када се уочи да више нема проласка ситнијих зрна кроз мрежу), а код механичког се одређује искуствено или се итерацијом одређује на посебно издвојеном узорку. Код механичког просејавања по завршетку се врши контролно ручно просејавање одсева сваког од сита.

У оба случаја просејавање може бити суво и мокро. Мокрим просејавањем се добијају тачнији резултати.

Ако се не користи читава серија сита тада се избор сита на којима ће се обавити анализа гранулометријског састава базира на искуству истраживача. Суштински је задана само величина сита са највећим отворима. Наиме, просејавање треба обавити на сити на којем ће остати мање од 5% масе узорка. На овај начин је могуће дефинисати тзв. горњу граничну крупноћу (ггк) узорка која, по дефиницији, представља величину отвора сита на којем остаје 5% просејане масе.

При просејавању се увек добијају два производа. Материјал који остане на ситиу, јер су зрна крупнија од отвора, назива се **надрешетни производ (одсев)**, а који прође кроз отворе **подрешетни производ (просев)**.

По завршетку просејавања увек се вагањем одређује маса одсева. Изузетак је само последње сито у серији код којег се мери и маса просева како би се сабирањем добила маса целокупног узорка.

Материјал који прође кроз (горње) сито са већим отворима и задржи се на наредном ситиу са мањим отворима представља **класу крупноће**. Класа крупноће се означава на следећи начин: $-0,104+0,074$ mm. Овакво представљање значи да су сва зрна прошла кроз сито са отвором од 0,104 mm (ознака -) и да су се задржала на ситиу са отвором од 0,074 mm (ознака +). Дакле, крупноћа тако издвојених зрна је између 0,074 и 0,104 mm. Класа крупноће се може представити и на друге начине. На пример: $+0,208$ mm или $-0,074$ mm. У првом случају значи да су сва зрна крупнија од 0,208 mm, а у другом да су ситнија од 0,074 mm, мада се не зна тачна крупноћа тих крупнијих, односно ситнијих зрна. Често се последња класа крупноће означава са $-0,074+0$ mm, што значи да су сва зрна ситнија од 0,074 mm, али се стварна расподела испод те крупноће не зна.

Гранулометријски састав се представља двојако - табеларно и графички. Табеларни начин приказивања дат је у табели 4.9, а графички на слици 4.9.

Табела 4.9. Табеларни приказ гранулометријског састава

Класа крупноће mm	Маса, М		Маса, М, кумулативно,%	
	g	%	одсев	просев
1	2	3	4	5
-0,589+0,417	29,31	2,93	2,93	100,00
-0,417+0,295	37,47	3,75	6,68	97,07
-0,295+0,208	56,72	5,67	12,35	93,32
-0,208+0,147	57,67	5,77	18,12	87,65
-0,147+0,104	60,00	6,00	24,12	81,88
-0,104+0,074	74,46	7,45	31,57	75,88
-0,074+0,053	310,23	31,02	62,59	68,43
-0,053+0	374,14	37,41	100,00	37,41
сума:	1000,00	100,00	-	-

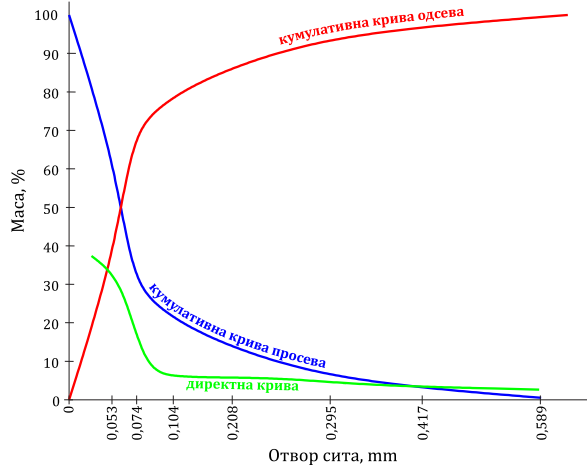
Графичко приказивање гранулометријског састава је прикладније и чешће. За приказивање се користи дијаграм са милиметарском или семи-логаритамском поделом. На апсциси се, у логаритамској подели, уносе величине отвора коришћених сита, а на ординату, у нормалној подели, масе.

На бази табеларних података (као у табели 4.8) уцртавају се три криве: директна крива, кумулативна крива одсева и кумулативна крива просева.

Директна крива приказује масену заступљеност сваке класе крупноће понаособ, односно представља дијаграм из којег се могу видети међусобни масени односи по класама крупноће. Црта се коришћењем колона ① и ③ из табеле 4.9.

Кумулативна крива одсева приказује збирну масену заступљеност производа који остаје на сити. Црта се коришћењем колона ① и ④. У колони ① користи се величина отвора са предзнаком "+".

Кумулативна крива просева приказује збирну масену заступљеност производа који пролази кроз сито. Црта се коришћењем колона ① и ⑤. У колони ① користи се величина отвора са предзнаком "-".



Слика 4.8. Графички приказ гранулометријског састава

На семилогаритамски дијаграм се уцртава крива просева, а читавање карактеристичних вредности је идентично као и са слике 4.8.

Резултати добијени просејавањем користе се и за одређивање средњег пречника зрна у узорку. То се може вршити на више начина. Најчешће се врши графички коришћењем уцртаних кумулативних крива одсева и/или просева.

Средњи пречник зрна графички се добија на пресецишту кумулативних крива одсева и просева, односно на пресецишту било које од ове две криве са линијом која представља 50% масе.

Са графика се лако читава горња гранична крупноћа (ггк) повлачењем линије паралелне са апсцисом од ознаке 5% на ординати до пресецишта са кривом одсева, или од ознаке за 95% масе на ординати до пресецишта са кривом просева. Горња гранична крупноћа се означава и са d_{95} .

Одређивање гранулометријског састава код зрна ситнијих од 0,074 mm је компликованије и обавља се по посебним методама и на посебној опреми (табела 4.7). Мерења се базирају на разлици у брзини таложења зрна тзв. седиментациона анализа. Седиментацијом се одређује гранулометријски састав зрна крупноће 0,02 до 100 μm . Како таложење не би било стешњено у литарску мензур додаје се мала количина чврстог узорка (25 до 100 грама) и антикоагуланс (обично водоник-пероксид), како би се спречило лепљење зрна и прављење крупнијих агрегата. Због мале крупноће и неразликовања зрна одређивање гранулометријског састава се врши посредно мерењем густине средине у различитим временским интервалима.

За одређивање гранулометријског састава ситних материјала користе се и седиментационе ваге.

4.3.2. Степен неравномерности и коефицијент закривљености

Познавање дистрибуције зрна по класама крупноће и њено графичко приказивање користи се за израчунавање степена неравномерности материјала по крупноћи [Обрадовић, Најдановић, 1999]. Степен неравномерности и коефицијент закривљености се користе како би се дефинисала градуисаност материјала који се испитује, односно како би се сагледала разноликост зрна по крупноћи у опсегу битном за процес у којем ће се тај материјал користити.

У домену управљања отпадом, посебно индустријским, познавање степена неравномерности је битно код отпада од којег ће се формирати ободни насипи на депонијама. Униформан (једнолик) састав материјала у ободном насипу упућује на проблем ликвефакције, док разнолик састав у којем има и крупних и ситних зрна показује да ће структура формираног насипа бити отпорнија на ликвефакцију. Разуме се на ликвефакцију велики утицај има учешће најситнијих (глиновитих) класа крупноће тако да поред добре градуисаности учешће најситнијих глиновитих класа треба да буде ниско [Monkul et al., 2016, Lewis et al., 2013, Kokusho, 2007]. (Не)отпорност на ликвефакцију зависи од још много других параметара, али је гранулометријски састав добар полазни параметар за брзу оцену.

По Хезну (*Hazen*) **степен неравномерности** (униформности, једноличности) представља однос величине отвора сита кроз које прође 60% масе и величине кроз коју прође 10% масе:

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (4.10)$$

Када је C_u мањи од 5 сматра се да материјал има равномеран састав, а када је већи од 15 неравномеран. Високи степен неравномерности је карактеристика кохерентних материјала.

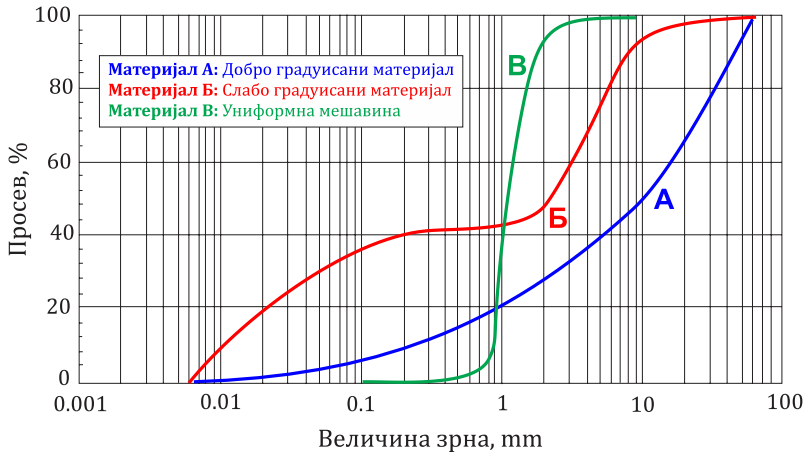
Некохерентни материјали који се, као индустријски и рударски отпад, депонују обично имају $C_u < 15$. Када се такав материјал користи за израду ободних насипа пожељно је да степен неравномерности буде што већи, изнад 8.

Када се насип на депонијама гради од каменог материјала, који се добија из намењеног отвореног каменолома, тада се задаје високи коефицијент неравномерности (до 20), а то се остварује контролисаним уситњавањем (дробљењем) откопаних блокова и комада. Ако се, пак, за израду насипа користе песак и шљунак из најближих река тада се не могу задати високи коефицијенти неравномерности зато што је то у пракси тешко остварити, већ се задаје коефицијент око 10.

На слици 4.9 графички су приказане криве гранулометријског састава различито градуисаних мешавина материјала. Добро градуисан материјал код којег су равномерно присутна зрна различите крупноће (крива А), слабо градуисани код којег се појављују положени делови на кривој просева (крива Б) и униформна мешавина (крива В).

Прерачунавање и познавање коефицијента неравномерности битно је и ради процене подложности материјала суфозији. Суфозија је процес у којем инфилтрациона струјања покрећу најситније честице материјала из насипа без нарушавања основног костура насипа при чему се повећава запремина међупростора, а тиме водопропустљивост и брзина филтрације воде [Кнежевић, 2014]. Суфозији су подложна тла (материјали) код којих је коефицијент водопропустљивости изнад $3 \cdot 10^{-4}$ m/s и коефицијент неравномерности изнад 20 [Максимовић, 2014]. Шерард је предложио општу класификацију тла у односу на суфозију:

- $C_u < 0$ – тло је аутостабилно и нема суфозије,
- $10 < C_u < 0$ – тло је аутостабилно ако гранулометријска крива нема наглашене промене правца, и
- $20 < C_u < 70$ – тло је аутостабилно ако је гранулометријска крива без промена правца и без положених делова знатне дужине.



Слика 4.9. Криве гранулометријског састава различито градуисаног материјала

Искусствено се зна да се у поступцима депоновања индустријских отпада не могу остварити овако високе разлике у гранулометријском саставу, а обично се не постижу ни овако високе водопропустљивости па ова разматрања треба сматрати више теоретским него практично применљивим за индустријске отпаде.

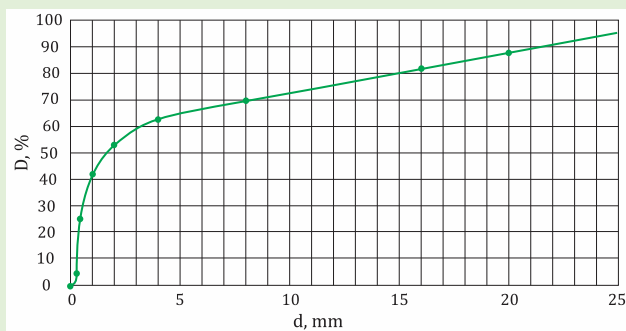
Додатно се са криве просева може очитати и **коефицијент закривљености**, који указује колико је отпад (материјал) добро градуисан. Коефицијент закривљености се прорачунава преко обрасца:

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \cdot d_{60}} \quad (4.11)$$

Добро градуисан материјал (отпад) има коефицијент закривљености између 1 и 3, а слабо градуисан испод 1 [Обрадовић, Најдановић, 1999, Квасничка, 2007].

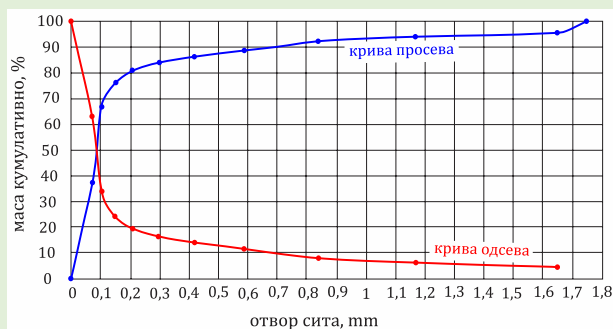
Пример 1: Из криве просева флотацијске јаловине рудника бакра може се прочитати да масену заступљеност од 10, 30 и 60% имају зрна крупноће 10, 25 и 65 μm , што упућује да је коефицијент неравномерности 6, а закривљености 1,5.

Пример 2: На узорку песка и шљунка који се вади из реке за израду насипа на депонији одређен је гранулометријски састав и исцртана крива просева дата на слици 4.10. Са криве се може прочитати масено учешће зрна од 60, 30 и 10%, и то 3,3, 0,7 и 0,3 mm, респективно, што даје степен неравномерности од 11, а степен закривљености од 0,5. Дакле, овај песак испуњава услове у погледу степена неравномерности, али је његова измешаност недовољна упркос широком дијапазону заступљених крупноћа.



Слика 4.10. Гранулометријски састав песка и шљунка

Да није довољно познавати само два наведена коефицијента може се видети из следећег примера. Ради се о гранулометријском саставу фосфогипса, слика 4.11. Са криве просева читавају се вредности које одговарају заступљености од 60, 30 и 10%, респективно, и добија се 0,11, 0,06 и 0,03 mm, што даје C_u - 3,67 и C_c - 1,09. Дакле, степен униформности је испод 5, а закривљености изнад 1. Због изостанка крупнијих зрна овај материјал по крупноћи није подесан за израду ободних насипа, на шта указује степен неравномерности, мада је коефицијент закривљености изнад 1.

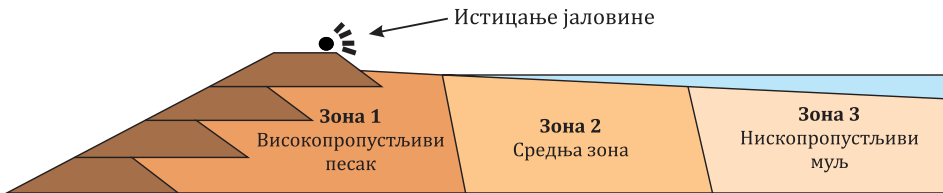


Слика 4.11. Гранулометријски састав фосфогипса

Дакле, ваља уочити да су и степен неравномерности и коефицијент закривљености релативни параметри који само могу да укажу на повољност или неповољност материјала за израду ободних насипа. Увек је битно гранулометријски састав размотрити у апсолутном смислу, односно у (процентуалној) заступљености најкрупнијих и најситнијих зрна.

4.3.3. Сегрегација материјала по крупноћи

Крупноћа отпада који се хидраулички депонује битно се разликује на појединим деловима депоније посматрано од места истицања па до места потпуног таложења јер долази до **сегрегације** депонованог материјала по крупноћи. Најкрупнија јаловина, која нпр. код флотацијских јаловина и пепела из лигнита има крупноћу и особине пескова, таложи се непосредно у зони истицања из цеви или канала, потом следи зона у којој се таложи ситнији материјал чије особине су између пескова и муљева, а најдаље се транспортују најситније муљевите честице. На слици 4.12 графички је приказана сегрегација депонованог материјала по крупноћи и промене водопропустљивости, посматрано од места истакана до места потпуног таложења [Witt, 2004]. Сегрегацију материјала узрокује и диференцирање депонованог материјала по физичким геотехничким карактеристикама у појединим деловима депоније.



Слика 4.12. Сегрегација материјала по крупноћи на одлагалишту

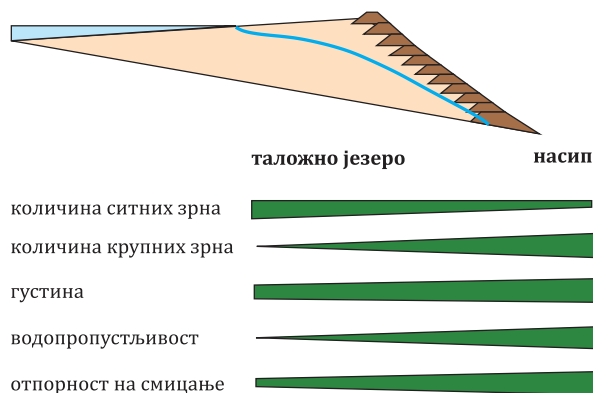
У табели 4.10 дате су крупноће депоноване флотацијске јаловине по зонама сегрегације [Bjelkevick, 2005].

Табела 4.10. Крупноћа јаловине по зонама сегрегације [Bjelkevick, 2005]

Параметар	Зона 1, плажа, песак	Зона 2, простор између плаже и муља	Зона 3, муљ
Крупноћа, mm	d_{10}	0,02	$<<0,001$
	d_{60}	0,1	0,005
	d_{90}	0,25	0,03

Сегрегација по крупноћи директно се одражава на промену карактеристика материјала који се хидраулички депонује. На слици 4.13 приказан је утицај сегрегације на карактеристике флотацијске јаловине [Witt, 2004]. Ако се процес сегрегације посматра у смеру од насипа ка таложном језеру види се да количина ситних зрна расте, а крупних опада, да водопропустљивост и отпорност на смицање опадају док су промене у густине незнатне.

Сегрегација се не појављује само у хоризонталној равни већ и по дубини, у вертикалној равни. То се може посматрати и као промена у функцији времена депоновања (старости) отпада. Промене крупноће, влажности, порозности и густине у функцији дубине флотацијске јаловине у насипу на јаловишту рудника бакра "Велики Кривељ" приказане су у табели 4.11 [Бор, 2007].



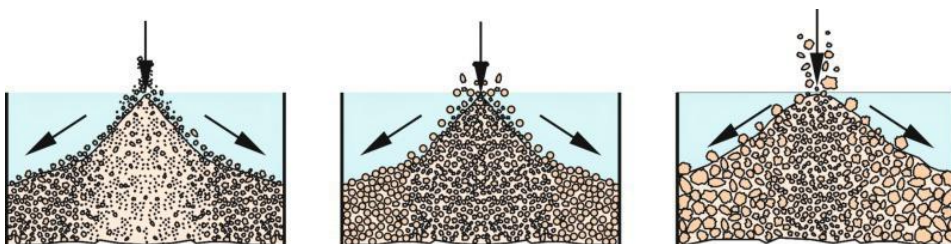
Слика 4.13. Сегрегација флотацијске јаловине и промене карактеристика у функцији сегрегације материјала

Табела 4.11. Промене крупноће, влажности, порозности и густине у функцији дубине депоноване флотацијске јаловине у насипу рудника бакра "Велики Кривељ" [Бор, 2007]

Дубина узорковања, м	Учешће - 0,063+0, мм,%	Густина, kg/m ³	Запреминска густина, kg/m ³		Порозност, n%	Влага, %
			У природном стању	На суво		
0-10	39,5	2.730	1.900	1.610	44,5	18
10-20	45,0	2.720	1.890	1.540	43,4	23
20-30	59,7	2.730	1.920	1.530	43,4	27
>30	75,2	2.730	1.950	1.480	45,6	30

Дакле, уочава се да са дубином учешће зрна класе крупноће -0,063+0 mm константно расте, највећим делом услед лакшег продирања ситних зрна, али вероватно и услед механичког оптерећења (масае). Истовремено расте и влажност. Растом влажности могло би се закључити да се крупноћа мења продирањем најситнијих зрна глине у ниже слојеве насипа, што резултати запреминске густине (прерачунати на суво) тих слојева потврђују, мада су густине релативно стабилне и незнатно промењиве. То се може рећи и за порозност упркос продирању ситних зрна унутар пора.

Сегрегација прати и насипање/одлагање у сувом стању, слика 4.14.

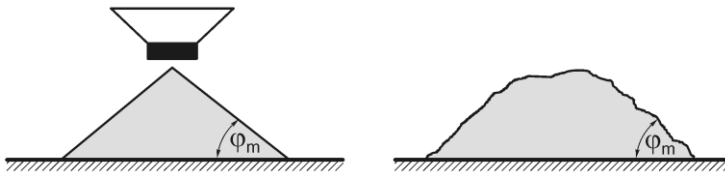


Слика 4.14. Сегрегација материјала одложеног у сувом стању

Код сувог насипања најкрупнији и најтежи комади најбрже падају и концентришу се у спољашњим и доњим деловима купе, док најситнији материјали задржавају у централном делу и на врх купе, слика 4.14 лево. До сегрегације долази и услед различитог угла насипања зрна различитог облика, слика 4.14 у средини, и различите крупноће, слика 4.14 десно [Schulze, 2016].

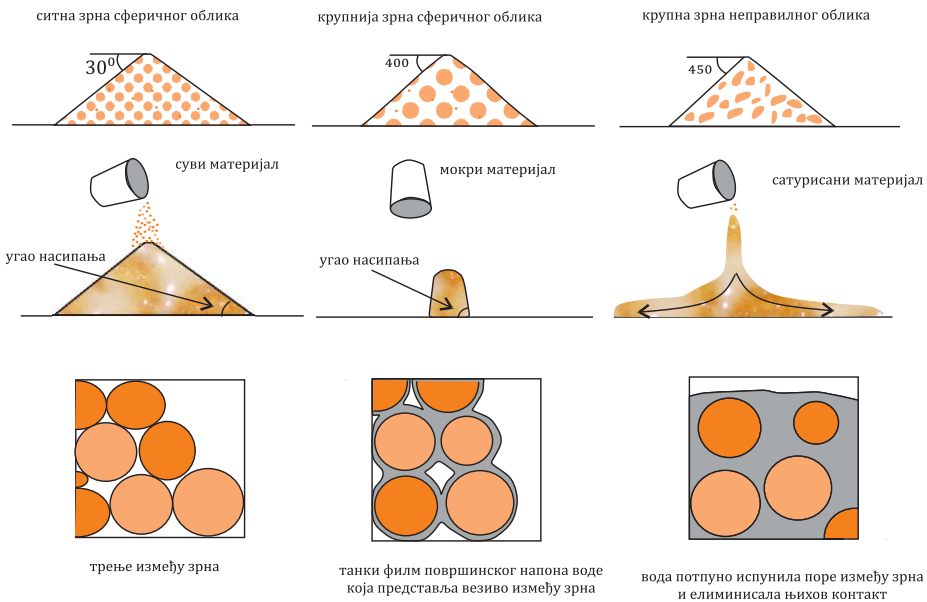
4.4. Угао насипања

Угао насипања представља угао који слободно истресени расути материјал заузме у односу на подлогу. Најчешће се користи на сувим или природно влажним материјалима при одређивању висине депонија или ширине подлоге, односно при дефинисању угла нагиба силоса у којима се привремено складишти неки расути материјал, слика 4.15.



Слика 4.15. Угао насипања

Угао насипања највише зависи од крупноће и облика зрна и влажности материјала који се истреса, слика 4.16.



Слика 4.16. Формирање угла насипања у зависности од величине и облика зрна и влажности материјала

Када је материјал потпуно сув он, при насипању, формира гомилу при чему је трење између зрна основна сила која их држи заједно. Када се насипа влажан материјал могуће је постићи високи угао насипања (готово вертикално) јер се између зрна појављује танки филм површинског напона воде, па вода представља везиво између зрна. Када се материјал потпуно сатурише онда вода потпуно испуни поре између зрна и потпуно елиминише њихов контакт па долази до течења, односно угао насипања је изузетно мали [Nelson, 2013].

Угао насипања финих пескова је око 25° , а дробљених крупнозрних материјала око 40° . Угао насипања лигнита је $34-36^\circ$.

Код прахова преко угла насипања се процењује њихова течљивост. Када је угао насипања испод 30° прахови су лако покретљиви и лако теку, када је угао између 30° и 45° материјал показује извесну кохезију и покретљивост је слаба и течење је проблематично, а када је угао насипања између 45° и 55° кохезија је велика и течење слабо, а када је изнад 55° течења практично нема [Geldart et al., 2006].

Апаратура за одређивање угла насипања израђује се у различитим облицима, слика 4.17.



Слика 4.17. Апаратуре, различите изведбе, за одређивање угла насипања

У инжењерској пракси познавање угла насипања важно је и када се расути материјал транспортује пнеуматски и хидраулички (зове се и критични угао нагиба цевовода). Развијене су и посебне процедуре за дефинисање угла насипања у овим условима, а вредности се битно разликују у односу на угао насипања сувих, односно природно влажних материјала на равну подлогу. У условима транспорта нагиб цевовода треба увек да буде мањи од угла насипања (код цевовода велике дужине и за 50%) како би се спречило заглављивање материјала у цевоводу услед непланираног престанка тока.

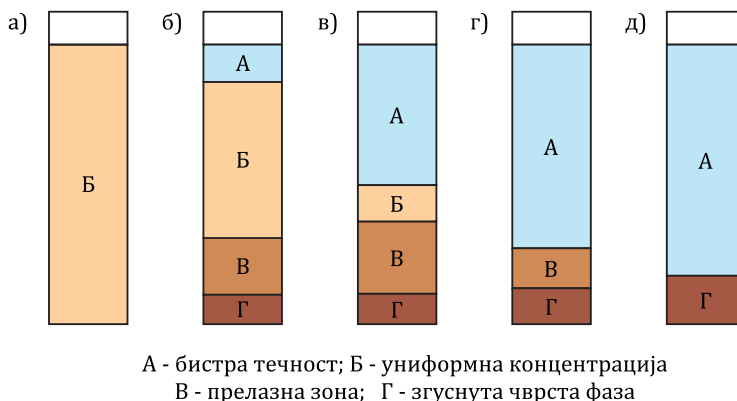
4.5. Брзина таложења чврстог материјала у води

Брзина таложења неког материјала је брзина устаљеног кретања "облака честица" у флуидној средини која мирује у пољу Земљине теже. Брзина таложења је условљена деловањем многих фактора везаних како за карактеристике течне фазе у којој се обавља таложење (густина, вискозност, рН), тако и за карактеристике

сваког зрна појединачно, односно "облака" честица, које се таложје (крупноћа, густина, облик, рН, растворљивост, број честица). Проблем дефинисања брзине таложјења отпада минералног порекла произлази из њиховог полиминералног и полидисперзног састава.

По правилу, код разматрања брзине таложјења минералних сировина треба устаљеним (стандардизованим) методама експериментално утврдити брзину таложјења за дефинисане услове одлагања. Пулпа, полазне густине, сипа се у градуисану мензурку запремине 1.000 ml, добро се измеша, остави се на хоризонталну подлогу и започиње читавање висине исталоженог стуба у једнаким временским размацама, обично на свака 2 min, с тим што прво читавање почиње 2 min након спуштања мензуре на подлогу [Кнежевић, 2012].

На почетку (слика 4.18.а) удео чврсте фазе у суспензији је униформан што значи да суспензија у целокупној посуди има карактеристике зоне Б. Под дејством Земљине силе теже долази до слободног падања (таложјења) зрна. Претпоставља се да брзина таложјења релативно брзо постаје константна и да почиње да одговара условима стешњеног таложјења. Већ у следећој фази (слика 4.18.б) уочавају се све четири зоне мада зона Б и даље доминира. Даљим таложјењем (слика 4.18.в) долази до повећања зона А (посебно) и Г на рачун смањења зоне Б. У свим овим фазама нема потпуно јасне границе између зона, посебно између зона Г и Б јер се између њих налази прелазна зона В кроз коју се зрна крећу надолу, а истиснута вода нагоре. У четвртој фази (слика 4.18.г) нестаје зона Б, а зона В дели зону згуснутог материјала (Г) и зону избистрене воде (А). Ова фаза практично представља **критичну фазу таложјења** јер процес даље тече успореније уз оштрије разграничавање између зона А и Г. Продужавањем таложјења (понекад се то мери часовима и данима) губи се зона В и уочава се оштра граница између исталоженог материјала и избистрене воде (слика 4.18.д).

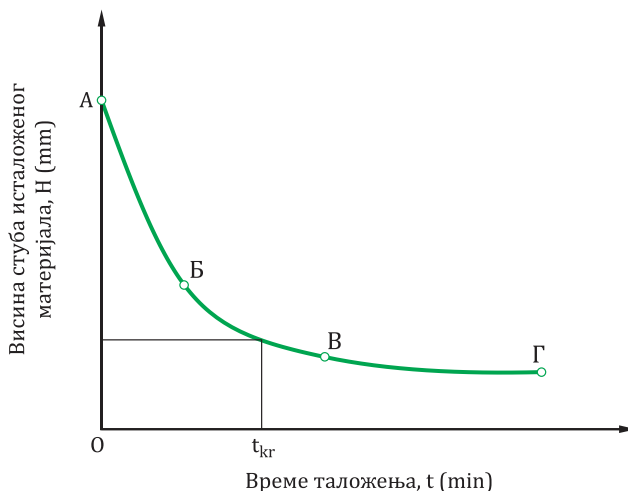


Слика 4.18. Таложјење зрна из суспензије у стакленом суду

Добијене вредности се користе за исцртавање криве таложјења у t-H дијаграму (t – време таложјења, H – висина стуба исталоженог материјала), слика 4.19.

У почетку таложјења брзина падања зрна је већа и крива има стрмији облик (што је брзина већа крива је стрмија). Продужењем таложјења облик криве се постепено

мења из праве у закривљену линију, да би за релативно кратко време поново прешла у облик праве која се асимптотски приближава апсциси. Тачка, или тачније речено подручје, где се крива ломи представља **критичну тачку таложења** у којој се зона Б потпуно губи, а између зона А и Г се налази зона В. Од висине зоне В зависи дужина кривине између два, релативно, права дела криве приказане на слици 4.19. После достизања критичне тачке таложења брзина таложења се знатно смањује те се за практична разматрања узима да је таложење у уређајима за згушњавање исплативо само до тог времена, односно, да се може економично постићи само густина која се оствари до те тачке.



Слика 4.19. Дијаграм таложења зрна из суспензије

На депонијама је ситуација другачија јер је простор много већи, а једном започето таложење се наставља, на плажи или у таложном језеру.

Тако на пример, флотацијска јаловина руде олова и цина, крупноће 45% -0,037 mm, изграђена од кварца и алтерисаних фелдспата, има брзину таложења од 0,1 до 0,17 m/h (0,17-0,28 cm/min). Када се расеје на ситу величине отвора 0,074 mm, брзина таложења класе +0,074 mm је 2,73 m/h (4,55 cm/min), а -0,074 mm свега 0,06 m/h (0,1 cm/min), слика 4.20 [Кнежевић, 2013]. Очигледан је утицај крупноће на брзину таложења, али не треба занемарити ни чињеницу да у ситнијим класама превладава алтерисани фелдспат (понаша се слично глинама), а у крупнијим кварц.

Према литературним подацима руда гвожђа се таложи брзином 0,26-0,67 cm/min, бабра 0,46-1,14 cm/min, а олова и цинка 0,23-1,13 cm/min [Parsapour, 2014].

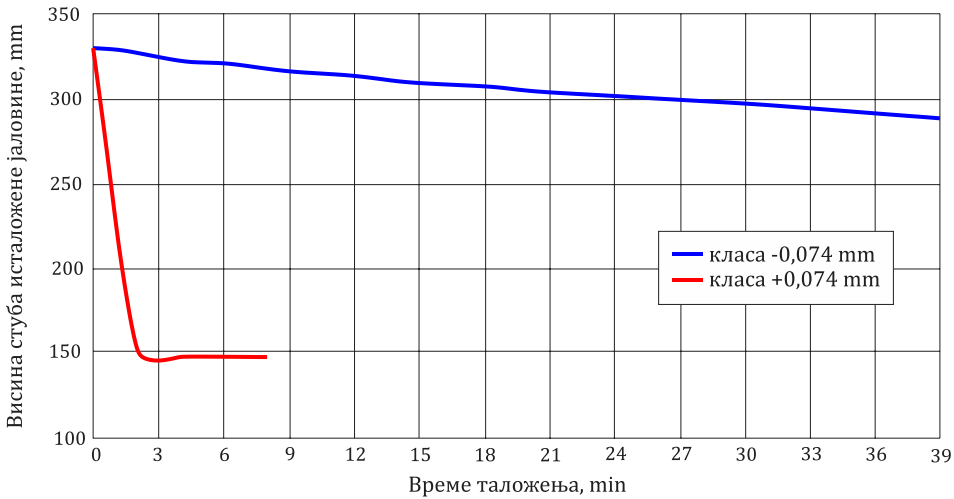
Упркос овим сазнањима, у пракси се често брзина таложења прорачунава. Најширу примену су нашли обрасци Стокса (*Stokes*) - за зрна ситнија од 0,12 mm, Алена (*Allen*) - за зрна крупноће између 0,12÷ 1,55 mm и Ритингера (*Ritinger*) - за зрна крупнија од 1,55 mm. Коначни облици наведених образаца су:

Аутор	Опсег примене, d	Образац
Стокс	$< 0,12 \text{ mm}$	$v_s = \frac{d^2 \cdot g \cdot \Delta\gamma}{18 \cdot \mu} = 0,545 \cdot \frac{\gamma - \gamma_o}{\mu} \cdot \left(\frac{d}{1000}\right)^2 \quad (4.12)$

Ален	$0,12 \div 1,55 \text{ mm}$	$v_s = 0,258 \cdot d \cdot \left(\frac{\gamma - \gamma_o}{\gamma_o}\right)^{\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{\gamma_o}{\mu}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (4.13)$
------	-----------------------------	--

Ритингер	$> 1,55 \text{ mm}$	$v_s = 4,429 \cdot \sqrt{d \cdot \left(\frac{\gamma - \gamma_o}{\gamma_o}\right)} \quad (4.14)$
----------	---------------------	---

где су: v_s – брзина таложења, m/s,
 d – пречник зрна, mm,
 μ – вискозитет флуида, kg/m.s,



Слика 4.20. Брзина таложења класа +0,074 mm и -0,074 mm

Брзина таложења може се израчунати и преко образаца датих у табели 4.12 [Кнежевић, 1996].

Упркос веома детаљним радовима у прорачунима се, обично, не користе наведени обрасци за брзину таложења већ се користи тзв. коригована брзина таложења v_{ss} која узима у обзир концентрацију чврстих зрна при таложењу у облику "облака зрна". **Коригована брзина таложења** v_{ss} може се израчунати по обрасцу Клауса (Claus), Њуита (Newitt D.M.) или Вебера (Weber M.E.).

Табела 4.12. Обрасци за прорачун брзине таложења

d (mm)	Re = $\frac{v_s \times d}{\nu}$	v_s (m/s)
< 0,12	< 1	$v_s = 0,424 \cdot d^2 \cdot \frac{\gamma - \gamma_o}{\gamma_o}$
0,12 ÷ 1,2	1 ÷ 180	$v_s = \frac{0,029}{d} \cdot \left(\sqrt{1 + 29 \cdot \left(\frac{\gamma - \gamma_o}{\gamma_o} \right) \cdot d^3} - 1 \right)$
1,2 ÷ 2,0	180 ÷ 800	$v_s = 0,24 \cdot \sqrt{\frac{\gamma - \gamma_o}{\gamma_o} \cdot d}$
2,0 ÷ 15,0	800 ÷ 1·10 ⁴	$v_s = 0,17 \cdot \sqrt{\frac{\gamma - \gamma_o}{\gamma_o} \cdot d}$
> 15,0	1·10 ⁴ ÷ 2·10 ⁵	$v_s = 0,16 \cdot \sqrt{\frac{\gamma - \gamma_o}{\gamma_o} \cdot d}$

Аутор Образац

Клаус
$$v_{ss} = v_s \cdot \left(1 - \frac{\left(\frac{d}{1000} \right)^2}{D^2} \right) \cdot e^{-2,6 \cdot \frac{C_v}{100}} \quad (4.15)$$

Њуит
$$v_{ss} = v_s \cdot \left(1 - \frac{\left(\frac{d}{1000} \right)^2}{D^2} \right) \cdot \left(1 - \frac{C_v}{100} \right)^{2,4} \quad (4.16)$$

Вебер
$$v_{ss} = v_s \cdot \sqrt{\frac{4}{3} \cdot g \cdot \frac{d}{\frac{C_v}{100}} \cdot \frac{\gamma - \gamma_o}{\gamma_o}} \quad (4.17)$$

где је: v_{ss} – коригована брзина таложења, m/s,

v_s – брзина таложења, m/s,

C_v – запреминска концентрација, %

Брзина таложења, дакле, одређује се за сваку класу крупноће понаособ. Средња коригована брзина таложења која репрезентује полидисперзни узорак (карактеристичан за отпад минералног порекла) добије се прорачунавањем по следећем обрасцу (M – маса класе крупноће):

$$v_{ss_{sr}} = \frac{\sum_{i=1}^n v_{ss_i} \cdot M_i}{\sum_{i=1}^n M_i} \quad (4.18)$$

Брзине таложјења зависи од крупноће, а типичне вредности су дате у табели 4.13.

Табела 4.13. Брзина таложјења у зависности од крупноће

Пречник зрна, mm	Назив	Брзина таложјења, mm/s	Време потребно за прелажење 1 m
10	Ситан камен	1.000	1 s
1	Крупан песак	100	10 s
0,1	Ситан песак	8	125 s
0,01	Муљ	0,154	105 min
0,001	Бактерије	0,00154	180 h
0,0001	Глина	0,0000154	754 дана
0,00001	Колоидне честице	0,000000154	207 година

Литература

- [1] Максимовић М., (2014), Механика тла, АГМ књига, Београд
- [2] Обрадовић Р., Најдановић Н., (1999), Механика тла у инжењерској пракси, Рударски институт, Београд
- [3] Anon, (1999), Criteria for design of small embankment dams, Indian Standard, IS: 12169 ·1997, Bureau of Indian standards, New Delhi
- [4] Кнежевић Д., (1992), "Коришћење параметара флотацијских јаловишта у изградњи пепелишта термоелектране у Обреновцу", Рударски гласник бр.3-4, Београд, стр. 51-57,
- [5] Rutherford P.M., Dudas M.J., Samek R.A., (1994), Environmental impacts of phosphogypsum, Review article, The Science of the Total Environment 149, 1-38
- [6] Беатовић С., (2012), Утицај начина припреме хидромјешавине на карактеристике депонованог пепела на примјеру термоелектране "Гацко", Гацко, магистарска теза, Рударско-геолошки факултет, Београд
- [7] Bjelkevick A ; Knutsson S, (2005) Swedish tailings : comparison of mechanical properties between tailings and natural geological materials, Proceedings of International Conference on Mining and the Environment, Metals and Energy Recovery, pp.117-129, Stockholm
- [8] Verstraeten G, Poesen AJ, (2001), Variability of dry sediment bulk density between and within retention ponds and its impact on the calculation of sediment yields, Earth Surface Processes and Landforms, Earth Surf. Process. Landforms 26, 375–394

- [9] Schüssele A, Bauer-Brandl A, (2003), Note on the measurement of flowability according to the European Pharmacopoeia, International Journal of Pharmaceutics 257, 301–304
- [10] Krantz M., Zhang H., Zhu J., (2009), Characterization of powder flow: Static and dynamic testing, Powder Technology 194, 239–245
- [11] Sawa H. Y., Daviesa C E., Patersona A.H.J., Jonesa J.R., (2015), Correlation between Powder Flow Properties Measured by Shear Testing and Hausner Ratio, Procedia Engineering 102, 218 – 225
- [12] Carr R.L. ,(1965), Evaluating flow properties of solids, Chem Eng 72, pp. 163-168
- [13] Кнежевић Д., (1995), Проучавање везивних особина пепела косовских лигнита ради дефинисања технологије складиштења, докторска дисертација, Рударско-геолошки факултет, Београд
- [14] Obradović Lj, Urošević D, Tomić G, (2010), Fizička karakterizacija pepela i šljake sa deponije u Medoševcu, Rudarski radovi 1, str. 57-68
- [15] Бранковић Б., Кнежевић Д., Милошевић М., Јоксимовић В., Монеvски Б., (1991), "Могућности и услови депоновања пепела ТЕ Костолац-Б", Рударски гласник бр. 1-2, Београд, стр. 53-59,
- [16] Анон, (2017), Уредба о условима и поступку издавања дозволе за управљање отпадом, као и критеријумима, карактеризацији, класификацији и извештавању о рударском отпаду, Сл. гласник РС бр. 53/17
- [17] Earth manual, part 1, (1998), Third Edition, Earth Sciences and Research Laboratory, Geotechnical Research, Technical Service Center, Denver, Colorado
- [18] Rankine K. S., (2002), Permeability and drainage characteristics of hydraulic fills in underground mines, James Cook University, School of engineering,
- [19] Кнежевић Д., (2011), Практикум из припрема минералних сровина, Рударско-геолошки факултет, Београд
- [20] Група аутора, (2007), Геотехничка и хидрогеолошка испитивања на флотацијској брани 1А "Велики Кривељ", Институт за бакар, Бор
- [21] Schulze D., (2016), Segregation of bulk solids – causes and solutions, ZKG International, No. 1-2, http://www.zkg.de/en/artikel/zkg_Segregation_of_bulk_solids_causes_and_solutions_2507366.html
- [22] Nelson A. S., (2013), Slope Stability, Triggering Events, Mass Movement Hazards, Tulane University, http://www.tulane.edu/~sanelson/Natural_Disasters/slopestability.htm
- [23] Geldart D., Abdullah E. C., Hassanpour A., Nwoke L. C., Wouters I., (2006), Characterization of powder flowability using measurement of angle of repose, China particuology Vol. 4, Nos. 3-4, 104-107
- [24] Кнежевић Д., (2012), Припрема минералних сровина, 2. издање, Рударско-геолошки факултет, Београд
- [25] Monkul M, Etmnan E, Şenol A, (2016), Influence of coefficient of uniformity and base sand gradation on static liquefaction of loose sands with silt, Soil Dynamics and Earthquake Engineering 89, October 2016, pp. 185–197 DOI: 10.1016/j.soildyn.2016.08.001

- [26] Lewis, MR., Arango, I, Stokoe KH., (2013), "Liquefaction Resistance of Gravelly Soils". International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, 30.
- [27] Kokusho T, (2007), Liquefaction strengths of poorly-graded and well-graded granular soils investigated by lab tests, chapter 8. in K.D. Ptilakis (ed.), Earthquake Geotechnical Engineering, 159–184., Springer.
- [28] Квасничка П., Домитровић Д., (2007), Механика тла, Интерна скрипта, Рударско-геолошко- нафтни факултет, Загреб.
- [29] Witt K.J., Wudtke R.B., editors, (2005), "Implementation and Improvement of design and authorisation procedures for proposed tailing facilities", A European Research and Technological Development Project, www.tailsafe.com
- [30] Witt, K.J., Schönhardt, M. (Eds.), (2004): Tailings Management Facilities – Risks and Reliability. Report of the European RTD project TAILS SAFE, <http://www.tailsafe.com/>
- [31] Томанец Р., (2000), Методе испитивања минералних сировина у припреми минералних сировина, Рударско-геолошки факултет, Београд
- [32] Кнежевић Д., Вучинић Д., Чаки Л., Тепавац Б., (2013), Елаборат о испитивању флотацијске јаловине рудника олова и цинка "Шупља стијена", Шупља, Црна гора, ради добијања подлога за израду техничког пројекта депоновања флотацијске јаловине, Рударско-геолошки факултет
- [33] Parsapour Gh.A, Hossininasab M., Yahyaei M., Banisi S., (2014), Effect of settling test procedure on sizing thickeners, Separation and Purification Technology 122, 87–95
- [34] Кнежевић Д., Колоња Б., Станковић Р., (1996), Хидраулички транспорт минералних сировина, Рударско-геолошки факултет, Београд

5. ГЕОМЕХАНИЧКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ОТПАДА



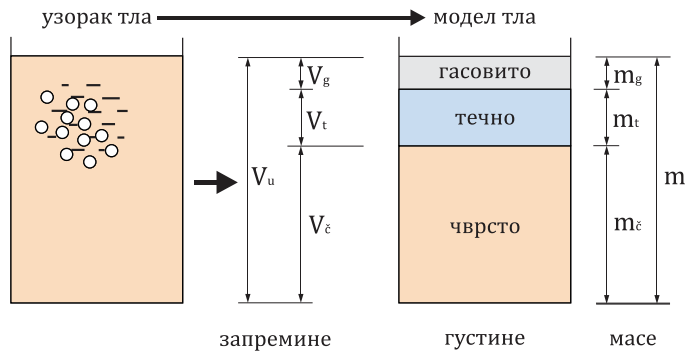
У овом поглављу обрађени су основни појмови везани за геомеханичке карактеристике отпада. Пошто су отпади претрпели технолошке промене они се најчешће, у геотехничком смислу, понашају као тло. Због тога су дефинисане врсте и карактеристике тла и материјала који се на сличан начин понашају, а потом је дат начин одређивања, типичне вредности и њихово тумачење. Геомеханички параметри су анализирани са аспекта формирања и експлоатације депонија отпада с обзиром да је њихово познавање кључно управо за ову активност.

Када се планира одлагање отпада на депоније познавање геомеханичких карактеристика важно је за правилно пројектовање и безбедну експлоатација депонија. У законодавству Европске уније прописује се познавање, најмање, следећих параметара: крупноћа, порозност и коефицијент порозности, густина, садржај воде, напон смицања и угао унутрашњег трења, пластичност, водопропустљивост, стишљивост, степен збијености и консолидација [2009/360/ЕС].

Отпад, посебно индустријски, је у технолошком процесу из којег је произашао најчешће уситњаван тако да чини тзв. интергрануларну средину која се не понаша као компактна и чврста стена већ као тло. Уситњавањем се готово у потпуности

губе полазне карактеристике чврстог материјала и попримају се карактеристике тла. Ово је посебно карактеристично за прераду минералних сировина. Идентична ситуација се среће на термоелектранама где се уситњавањем угља за ефикасније сагоревање врши и уситњавање отпада који ће се касније издвојити у форми пепела и шљаке. Превођење стене у тло није карактеристика само усмерених људских активности већ се континуално проводи у природи (наизменично залеђивање и одлеђивање, транспорт под дејством ветра или воде и сл.).

Тло се може посматрати као двофазни или трофазни систем: чврсто + гасовито, чврсто + течно или чврсто + течно + гасовито. Ради једноставнијег дефинисања односа између тих фаза уведен је модел тла који служи за квантификовање односа запремина и маса у тлу. Модел тла је приказан на слици 5.1.



Слика 5.1. Модел тла

Механичке особине тла зависе директно од интеракција ових фаза једних са другима као и других спољних утицаја. Фазе унутар система чврсто течно су приказане у табели 5.1.

Табела 5.1. Фазе система чврсто-течно

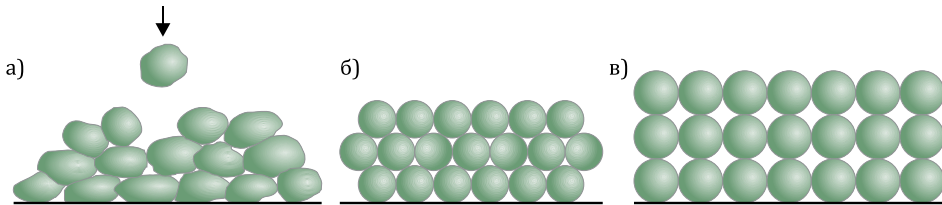
Стање	Чврсто	Полу-чврсто	Пластично		Течно	Суспензија
Влажност	← Влажност се смањује →					
Атербергове границе	Граница скупљања		Граница лепљивости			
		Граница пластичности		Граница течења		
		Индекс пластичности				
Скупљање	Константна запремина	← Запремина се смањује →				
Конзистенција	Тврдо до врло тврдо	Круто	Мекано	Врло мекано	Муљ	Суспензија
Чврстоћа на смицање	← Чврстоћа се повећава →					Врло мала или је нема
Индекс течења	$LI < 0$	$LI = 0$	$0 < LI < 1$			$LI > 1$

5.1. Врсте тала

У механици тала разликују се три врсте тала - невезано, везано и тло органског порекла [Обрадовић, Најдановић, 1999, Максимовић, 2014].

Невезана или некохерентна тла се карактеришу одсуством било какве везе између појединих зрна. Једина сила која делује међу зрнима јесте сила трења. У невезана тла спадају материјали крупнији од 0,060 mm. Структурне карактеристике ове врсте се образују под дејством силе гравитације. То значи да се ови материјали таложе, што је повољно са аспекта одлагања. При таложењу долази до формирања структуре одређене густине. Због различитог, најчешће неправилног облика уситњених зрна која се депонују могуће је формирање веома густих, односно добро збијених, насипа и депонија. Добра збијеност доводи до мале порозности што у зависности од намене материјала на депонији може бити пожељно, односно непожељно.

Структура невезаног тала приказана је на слици 5.2 [Обрадовић, Најдановић, 1999].



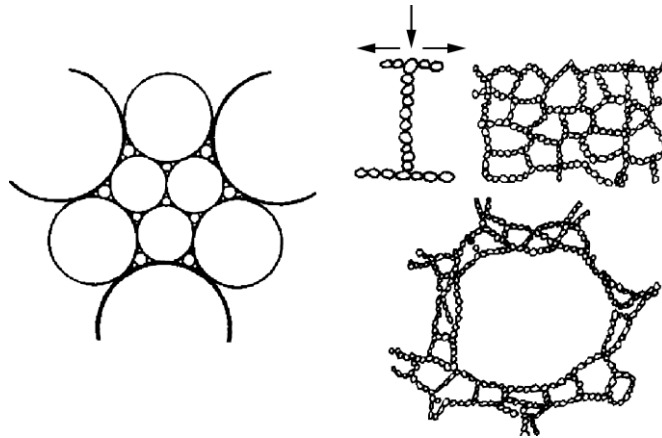
Слика 5.2. Структура невезаног тала

Из примера приказаних на слици 5.2 види се максимална (б) и минимална (в) збијеност зрна правилног облика, односно могућа збијеност зрна неправилног облика (а). Дакле, евидентно је да зрна приближно исте величине и неправилног облика могу да постигну збијеност приближно једнаку максималној при одлагању зрна исте величине и правилног облика.

Везана или кохерентна тла карактерише присуство кохезија која међусобно повезује зрна која чине тло. Кохерентна тла су обично ситнија од 0,002 mm. Карактеристично кохерентно тло је глина која се често појављује као пратећа компонента у многим отпадима минералног порекла. На структуру кохерентног тала основни утицај има сила кохезија која је јача од силе гравитације те доводи до слепљивања зрна. Слепљена зрна формирају различиту структуру при чему им је заједничко да имају велику порозност коју невезана тла не могу постићи.

Структура везаног тала приказана је на слици 5.3 [Обрадовић, Најдановић, 1999].

Тла органског порекла се састоје из великог дела органских и биљних материја које су помешане са разним врстама глине. Веома су непостојана, битно мењају особине при контакту са водом и чине најнепожељнију врсту тала при решавању проблема одлагања. У ова тла спадају хумус, муљ и тресет. Од материјала која спадају у ову врсту не могу се правити насипи, нити се на њима може вршити темељење насипа или неког другог грађевинског објекта.



Слика 5.3. Структура везаног тла

Ако се горе описане карактеристике тала преведу на отпаде тада је извесно да се кућни отпад, укључујући и отпад из паркова, ресторана, хотела, понаша као материјал органског порекла, док ће се индустријски отпад понашати као везани или као невезани материјал. Отпад настао као пепео при инсинерацији ће се понашати као невезани материјал. Разуме се ово су само опште констатације, па је због тога пре дефинисања било којег елемента депоније за смештај отпада потребно, на основу конкретних карактеристика, отпад сврсати у једну од горе наведених врста.

5.2. Узорковање за геомеханичка испитивања

У геомеханици се, у основи, ради са две врсте узорака: поремећеним и непоремећеним.

Поремећени узорци су они узорци код којих је стање поремећено при слободном хватању масе са гомиле или при вађењу из бушотине, цилиндра или сонде. Поступак узимања поремећених узорака је много једноставнији него узимања непоремећених, али је коришћење непоремећених узорака могуће само за одређивање гранулометријског састава, густине, насипне и запреминске густине, граница конзистенције итд.

Непоремећени узорци су узорци извађени у природном стању збијености и влажности. Узимају се цилиндрима и сондама. Сви параметри који се одређују на поремећеним узорцима могу се урадити и на овим, али се непоремећени узорци користе и за одређивање порозности, природне влажности, водопропустљивости, кохезије, стишљивости идр. Када се непоремећени узорци уграђују у апарате у лабораторији тада се у цилиндар већег пречника утискује цилиндар са мањим пречником, односно пречником који захтева уређај у којем се опит обавља. За узимање непоремећених узорака често се праве истражне јаме у које се може ући ради утискивања цилиндра. Код многих невезаних (сипких) отпада практично није могуће узети непоремећене узорке.

5.3. Порозност и коефицијент порозности

Порозност (n) представља однос запремине пора и запремине материјала:

$$n = \frac{V_p}{V_t} = \frac{V_p}{V_p + V_m} \cdot 100 \quad (5.1)$$

где је: n – порозност, %,

V_p – запремина пора, m^3 (cm^3),

V_t – укупна запремина материјала, m^3 (cm^3),

V_m – запремина чврсте фазе, m^3 (cm^3)

При практичном одређивању порозности треба одредити запремину два од три елемента – пора, чврстог или укупну. То се може урадити на више начина, но најчешће се одређују запреминска густина и густина те се из њиховог односа врши прорачун. При томе се полази од општег обрасца за запреминску густину потпуно сувог материјала (образац 4.4), који гласи:

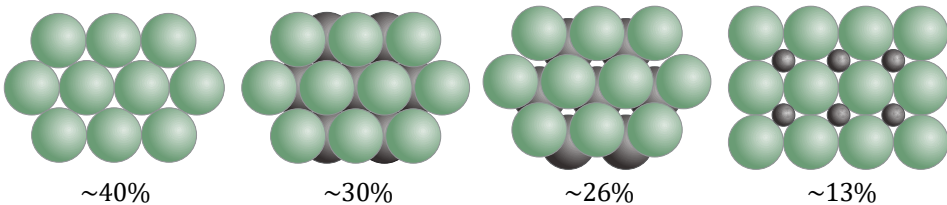
$$\rho_{\text{зaп}} = \rho \cdot (1 - n)$$

па је порозност:

$$n = 1 - \frac{\rho_{\text{зaп}}}{\rho} \quad (5.2)$$

Порозност се креће од 75-80% код неконсолидованих морских глина и муљева па до < 0,1% код неизломљених кристаластих стена.

Порозност зависи од крупноће, облика, заобљености и начина слагања зрна. На слици 5.4. види се различита порозност у зависности од начини паковања и крупноће зрна. Види се да зрна униформне крупноће увек стварају средину веће порозности него зрна различите крупноће.



Слика 5.4. Порозност у зависности од крупноће и начина паковања зрна

Коефицијент порозности (e) је бездимензионалан број, који представља однос запремине пора према запремини чврсте фазе у тлу:

$$e = \frac{V_p}{V_m} \quad (5.3)$$

Из обрасца за порозност (5.1) следи:

$$V_p = n \cdot V_p + n \cdot V_m$$

па је:

$$V_m = \frac{V_p \cdot (1 - n)}{n}$$

заменом у обрасцу за коефицијент порозности (5.3) добије се:

$$e = \frac{V_p}{\frac{V_p \cdot (1 - n)}{n}} = \frac{n}{1 - n} \quad (5.4)$$

односно,

$$n = \frac{e}{1 + e} \quad (5.5)$$

Коефицијент порозности (e) указује на густину тла, и то тако да је густина мања што је коефицијент порозности (n) већи.

Порозност и коефицијент порозности неких материјала, типичних представника одређених врста тла, приказани су у табели 5.2 [Обрадовић, Најдановић, 1999].

Табела 5.2. Порозност и коефицијент порозности неких материјала [Обрадовић, Најдановић, 1999]

Тло	Порозност, n , %	Коефицијент порозности, e
Шљунак	20	0,25
Иловача	33	0,50
Лес	50	1,00
Мека глина	60	1,50
Муљ	80	4,00

Из података приказаних у табели 5.2 види се да су порозност и коефицијент порозности мањи што је крупноћа материјала већа.

Однос између густине, насипне и запреминске густине и порозности, за неке отпаде приказан је у табели 5.3 [Witt, Schönhardt, 2004].

Табела 5.3. Густина, насипна и запреминска густина и коефицијент порозности отпада неких минералних сировина [модификовано према Witt, Schönhardt, 2004]

Врста отпада	Густина, t/m^3	Насипна, суво, t/m^3	Запреминска густина, t/m^3	Коефицијент порозности, e	
Угаљ, муљ	1,4 - 2,1	0,7 - 1,4	0,8 - 1,7	0,5 - 1,1	
Јаловина из рудника олова и цинка	2,6 - 3,0	1,3 - 1,8	1,7 - 2,2	0,6 - 1,1	
Јаловина из рудника бакра	Прелив	2,6 - 2,8	1,1 - 1,4	1,5 - 1,9	0,9 - 1,4
	Песак	2,6 - 2,8	1,5 - 1,8	1,8 - 1,9	0,6 - 0,8
Молибден, песак	2,7 - 2,8	1,5 - 1,6	1,6 - 1,8	0,7 - 0,9	

Порозност се може практично одредити, но ако недостаје и тај податак могу се користити и подаци дати у табели 5.4.

Табела 5.4. Порозност у зависности од средњег пречника зрна

Средњи пречник зрна (одређен аритметички), mm	Порозност, %
+ 0,150	38
- 0,150 + 0,100	42
- 0,100 + 0,060	45
- 0,060	50

Промене порозности и коефицијента порозности у функцији дубине депоновања унутар насипа на флотацијским јаловиштима приказане су у табели 5.5. Види се, да без обзира што се са дужином крупноћа мења и значајно смањује нема тако великих реперкусија на порозност, како би се то могло закључити из општих разматрања датих у табели 5.4.

Табела 5.5. Промена порозности и коефицијента порозности по дубини насипа на флотацијском јаловишту рудника бабра "Велики Кривељ"

Дубина узорковања, m	Крупноћа, учешће -0,063+0, mm, %	Порозност, n%	Коефицијент порозности, e%
0-10	39,5	44,5	0,802
10-20	45,0	43,4	0,767
20-30	59,7	43,4	0,767
> 30	75,2	45,6	0,838

Порозност хидруалички депонованих уситњених отпада минералног порекла обично износи између 45 и 55%. То је и разлог да се у одлуци Европске комисије, која је пренесена и у српску Уредбу [Уредба, 2017] за прорачун простора унутар депоније, уколико нису познати мерени резултати, усваја 50% (n=0,5).

У пракси се користе оба параметра – порозност и коефицијент порозности – мада неки аутори дају предност коефицијенту порозности [Максимовић, 2014]. То се тумачи чињеницом да се при деформацијама узорка знатно мења само запремина пора, док запремина чврстог остаје практично непромењена. Предност се види у томе што се у обрасцу за коефицијент порозности мења само бројилац, док би се у обрасцу за порозност мењали и бројилац и именилац.

5.4. Влажност и сатурисаност

Влажност или гравиметријски садржај воде се дефинише односом **масе** воде и масе чврстих зрна у материјалу који се анализира.

Познате су три врсте влаге: груба, хигроскопна и конституциона [Томанец, 2000]. Груба или гравитациона влага се отклања стајањем на собној температури, док за отклањање хигроскопне влаге (адсорпциона вода у виду мономолекуларног слоја и капиларна вода у порама и прслинама) треба обезбедити сушење на температури од 105 до 110° С. Конституциона влага представља хемијски везану воду за чије уклањање је неопходно сушења на знатно вишим температурама. Са аспекта одлагања и прерачунавања вредности појединих параметара битно је познавање укупне влаге као збира грубе и хигроскопне влаге, док су подаци везани за конституциону влагу и њено, евентуално, уклањање углавном небитни.

Влага се одређује мерењем масе узорка пре и после сушења на 105-110 °С уз прерачунавање по обрасцу:

$$w = \frac{M_{s1} - M_{s2}}{M_{s1}} \cdot 100 = \frac{M_w}{M_s} \cdot 100 \quad (5.6)$$

где је: w - влажност, %,

M_w - маса воде, kg (g),

M_s - маса чврстих зрна, kg (g),

M_{s1} - маса чврстих зрна пре сушења, kg (g),

M_{s2} - маса чврстих зрна после сушења, kg (g)

Влажност се, обично, изражава у процентима (множење са 100). Висока влажност је карактеристика кохерентних материјала (може да буде и изнад 100). Ситнији јалови материјали, у чијем саставу преваладавају глине и алтерисани фелдспати, показује знатно већу влажност (50-100%) од крупнијих јалових материјала (5-35%). Разуме се поред гранулометријског састава на влажност утичу и хемијски и минерални састав.

Степен zasiћења водом или **сатурисаност** се дефинише односом **запремине** воде и **запремине** пора:

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \cdot 100 \quad (5.7)$$

где је: S_r - степен zasiћења водом (сатурисаност, сатурација), %,

V_w - запремина воде, m³,

V_v - запремина пора, m³

У зависности од степена zasiћења материјал може бити: **сув**, све поре су испуњене ваздухом ($S_r = 0$), незасићен или **делимично засићен**, део пора је испуњен ваздухом, а део водом ($0 < S_r < 100$) и **засићен**, све поре су испуњене водом ($S_r = 100$).

У тлу (одложеном материјалу) непосредно изнад сатурисане зоне среће се тзв. **капиларна зона**. У тој зони је део пора испуњен водом, а део ваздухом. У овој зони најчешће се налази ситнозрни материјал, а вода се појављује највише услед капиларног ефекта. Издизање воде у смеру супротном од деловања гравитације јавља се услед појаве капиларних сила, које су последица деловања површинског напона на граничној површини контакта воде са ваздухом. Од величине пора зависи висина капиларног zasiћења - што су поре ситније висина је већа и обрнуто. **Висина**

капиларног пењања воде (cm), при температури од 20 °C, површинском напону од $7,3 \times 10^{-3} \text{ kN/m}$ и густини од 981 kg/m^3 може се израчунати по обрасцу:

$$h_c = \frac{0,3}{d} \quad (5.8)$$

где је d – пречник капиларе, у cm.

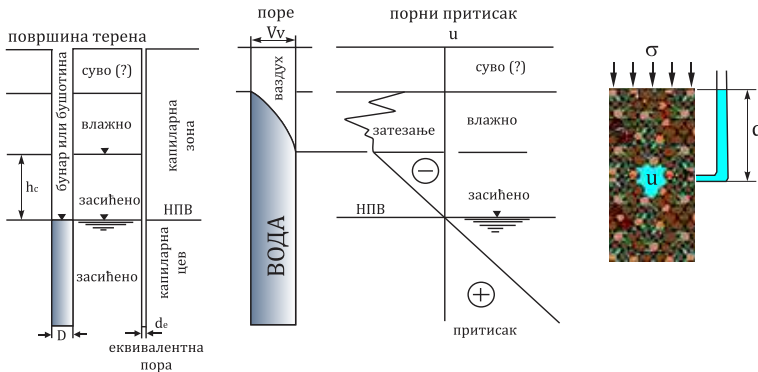
Висина капиларног пењања воде у неким материјалима дата је у табели 5.6.

Табела 5.6. Висина капиларног пењања воде у неким тлима

Врста тла	Пречник зрна, mm	Капиларни притисак, kN/m ²	Висина пењања h _c , m
Ситан песок	0,06 - 2	0,15 - 6	0,05 - 0,5
Прашина	0,006 - 0,06	6 - 60	0,5 - 5
Глиновита прашина	0,001 - 0,006	60 - 300	5 - 15
Колоидна глина	<0,001	> 300	15 - 50 и више

Уопштено, вода у порама сатурисаног земљишта биће под притиском. Овај притисак се назива **порни притисак** и означава малим словом - u . Мери се у односу на атмосферски притисак.

Када нема протока, порни притисак на дубини d испод површине воде износи: $u = \gamma_w d$ (γ_w - густина воде). Овај притисак представља компоненту тоталног напона која има исти интензитет у свим правцима па тако прима део укупног напона који делује на елемент земљишта. Други део прима скелет тла ефективним напонима преко сила на контактима између зрна, слика 5.5 [Максимовић, 2014].



Слика 5.5. Капиларне силе и распоред порних притисака

Порни притисак може бити позитиван и негативан. У зони капиларног пењања порни притисак је негативан, док је у сатурисаној зони позитиван. Када је позитиван он делује на "растурање" пора и материјала у којем је формиран, а када је негативан има "усисно" дејство. Просторна граница у насипу где је порни притисак

раван нули назива се "линија провирне воде" и на хидрауличким депонијама отпада повезује таложно језеро са дренажним системом.

На одлагалишту сувог материјала сатурисаност је мала, односно материјал је обично слабо zasiћен, док се на хидраулички формираном одлагалишту готово никад не среће потпуно сув материјал. Делимично zasiћени материјал је депонован у насипу и у деловима ближе насипу, изнад нивоа провирне воде, док је zasiћени материјал карактеристичан за део испод таложног језера и испод линије провирне воде.

Проктор (*Proctor*) је још 1933. показао да влажност утиче на ефекте збијања материјала. Показао је да за дати материјал и дату енергију збијања постоји влажност при којој је густина максимална, док је при мањој или већој влажности густина мања. Наредне године је садржај воде који обезбеђује максималну густину назван **оптималном влажношћу**. У табели 5.7 дате су оптималне влажности за неке типичне некохерентне и кохерентне материјале [IS, 1999].

Табела 5.7. Типична оптимална влажност за неке материјале [IS, 1999]

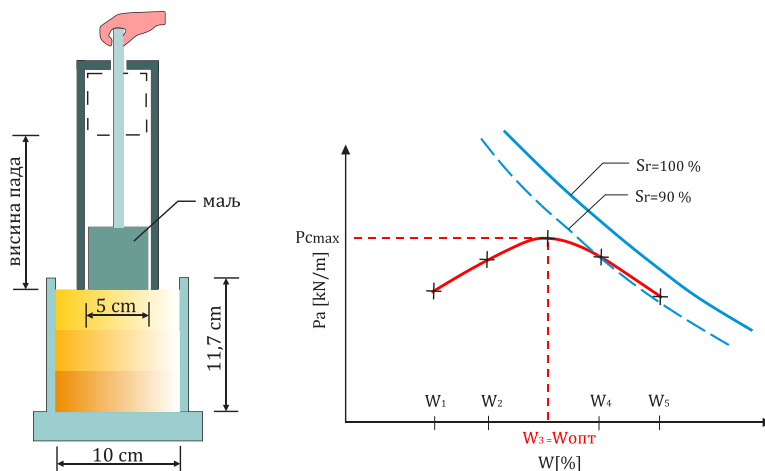
Врста гла	Оптимална влажност, %
GS глиновити шљунак	<15
GM прашинасти шљунак	<15
SM прашинасти песак	15 ± 0,4
SC глиновити песак	15 ± 0,4
ML неорганске прашине, глиновити ситни пескови	19 ± 0,7
CL неорганске, прашинасте и песковите глине	17 ± 0,03
CH неорганске глине високе пластичности	25 ± 1,2
MH неорганске прашине високе пластичности	36 ± 3,2

У Прокторовом опиту узорци се збијају с контролисаном енергијом и одређује се влажност која даје максималну густину депонованог материјала. Искуство је показало да се материјал различито збија за различите влажности и енергије збијања. Енергија збијања треба да одговара енергији уградње коришћењем разних машина за збијање на терену. Проктор је стандардизовао поступак уградње узорака у лабораторији који је приближно одговарао тадашњим машинама. Машине су с временом имале све већу масу, па је касније стандардизован и тзв. модификовани Прокторов опит, с већом енергијом збијања, табела 5.8.

Табела 5.8. Поређење елемената стандардног и модификованог Прокторовог опита

Опит	Стандардни	Модификовани
Маса маља, kg	2,5	4,5
Висина са које маљ пада, cm	30,4	42,5
Број слојева	3	5
Број удараца по слоју	25	27
Рад збијања, kNm/m ³	610	2750

По стандарду (СРПС У.Б1.038) опит се изводи у цилиндру пречника 10,0 cm, висине 11,68 cm, збијање се врши ручним маљем пречника 5,0 cm, који пада слободним падом, слика 5.6. Припрема узорка који се уграђује у цилиндар подразумева одстрањивање зрна крупнијих од 4,76 mm (приближно 4#). Сабијање се врши у слојевима. Након збијања одређује се запреминска густина и влажност узорка. Опит се понавља најмање 5 пута са различитим влажностима, а потом се исцртава дијаграм запреминске густине у функцији влажности узорка. Исцртана крива треба да покаже да за дату енергију збијања постоји влажност при којој се постиже максимална запреминска густина, прерачунато на суво.



Слика 5.6. Шема апаратуре за извођење Прокторовог опита и изглед добијеног дијаграма

При мањем садржају воде материјал је релативно крут и тешко се збија. Повећањем влажности материјал постаје деформабилнији и уградљивији па се добија већа збијеност. При даљем повећању влажности смањује се запремина ваздуха који се може истиснути па збијеност опада. Дакле, збијањем се заправо "истерује" ваздух из пора.

На истом дијаграму се може уцртати и линија zasiћења или зависност између влажности и запреминска густине при којој су све поре испуњене испуњене водом, односно криве са неком другом сатурисаношћу.

Резултат испитивања, влажност која одговара максималној густини сувог тла, назива се оптималном и при тој влажности такав материјал треба уградљивати у насип. Углавном се дозвољава да влажност при уградњи варира, али не више од 5% [Квасничка, 2007, Максимовић, 2014].

Резултати Прокторовог опита, пробних поља и теренских испитивања служе за одређивање техничких услова за уградљивање земљаних материјала [Квасничка, 2007].

Збијањем треба постићи 95 до 98% максималне густине добијене Прокторовим опитом.

5.5. Збијеност и консолидација

Збијање или компактирање је вештачки изазвани процес смањења запремине тла механичким путем (набијањем, ваљањем, вибрирањем) и од консолидације, која такође представља смањење запремине тла, разликује се утолико што је консолидација последица статичког деловања (оптерећења), било природно било вештачки изазваног. Збијање смањује запремину истискивањем ваздуха из делимично сатурисаног или сувог тла, док је консолидација избацивање воде из сатурисаног тла.

5.5.1. Збијеност и релативна збијеност

Збијање доприноси смањењу порозности тла и повећању запреминске масе, а самим тим условљава повећање чврстоће на притисак. Збијеност се посредно изражава преко порозности, односно коефицијента порозности, тако што стоје у обрнутој пропорционалности. Гранични случајеви су: максимална порозност даје минималну збијеност, односно минимална порозност даје максималну збијеност.

Нумерички, збијеност се изражава преко **коефицијента релативне збијености** [Обрадовић, Најдановић, 1999] који се још назива и релативном густином [Earth, 1998]. Релативна збијеност (I_D) показује степен збијености у односу на максималну збијеност, а може се израчунати преко коефицијента порозности (e):

$$I_D = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \quad (5.9)$$

Када је структура најређа ($e = e_{\max}$) релативна збијеност је 0, односно, када је структура најгушћа $I_D=1$ коефицијент порозности је минималан ($e = e_{\min}$).

Подела материјала по збијености приказана је у табели 5.9 [Максимовић, 2014].

Табела 5.9. Подела материјала по збијености [Максимовић, 2014]

Стање	Коефицијент релативне збијености $I_D, \%$	
	Lambe, Whitman	Meyerhof
Веома растресито	0-15	0-20
Растресито	15-50	20-40
Средње збијено	50-70	40-60
Збијено	70-85	60-80
Веома збијено	85-100	80-100

За стабилност насипа на одлагалишту збијеност је важан фактор тако да релативна збијеност треба да буде што ближе јединици, а најчешће је у групи "средње збијено". То је показатељ да је вода у највећој мери истиснута из пора, односно да је количина пора испуњених ваздухом минимална.

С обзиром да је густина минералне сировине од које се граде насипи око три пута већа од густине воде и преко 2.000 пута од густине ваздуха то се збијеност насипа

може посредно пратити и преко запреминске густине (маса). За исти материјал или материјал приближно исте густине збијеност је боља што је запреминска густина (маса) већа.

Однос релативне збијености и запремине коју различито збијена маса заузима може се изразити преко обрасца:

$$I_D = \frac{V_{\max} - V}{V_{\max} - V_{\min}} \quad (5.10)$$

где је: V – запремина непоремећеног узорка, m^3 (cm^3),

V_{\max} – запремина исте количине тла у стању најмање збијености, m^3 (cm^3),

V_{\min} – запремина исте количине тла у стању највеће збијености, m^3 (cm^3)

Однос између количине воде у тлу и збијености одређује се по Прокторовом или модификованом Прокторовом опиту. Овим опитима се одређује **оптимална влажност неког тла**, односно влажност при којој се постиже највећа запреминска густина (дакле, збијеност) за дату енергију збијања.

Индекс збијености може се изразити и преко запреминске густине, и то:

$$I_D = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} = \frac{\gamma_{d \max} \cdot (\gamma_d - \gamma_{d \min})}{\gamma_d \cdot (\gamma_{d \max} - \gamma_{d \min})} \quad (5.11)$$

5.5.2. Консолидација

Процес опадања порних притисака и повећања ефективних напона у тлу уз промену запремине назива се консолидација.

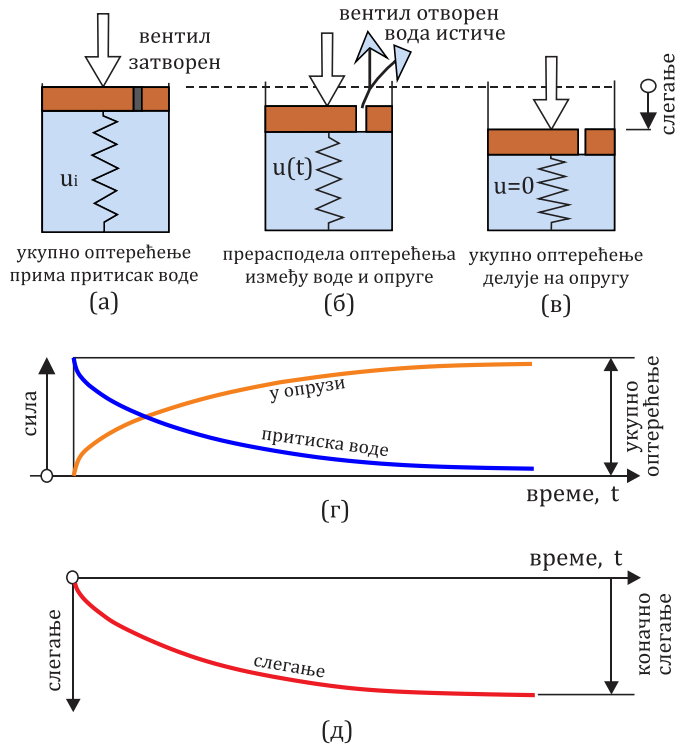
Променом напона у тлу услед промене оптерећења, нпр. градњом депоније, почиње процес промене запремине тла који се манифестује као његово слегање. Слегање је хидродинамички процес јер зависи од брзине истискивања воде из пора. Слегање се обавља се у дужем временском периоду и зависи од врсте тла, коефицијента водопропустљивости односно од времена потребног за евакуацију воде из пора. Код некохорентног, водопропустљивог, крупнозрног тла (нпр. шљунка) време потребно за истискивање воде из пора је практично занемарљиво док код кохорентног, ситнозрног тла овај процес може трајати годинама јер су поре веома ситне, а коефицијент водопропустљивости низак.

Теорију једнодимензионалне консолидације тла развио је Терзаги (*Karl von Terzaghi*), а односи се на ситнозрно потпуно сатурисано тло, веће површине. Када се на такво тло делује непроменљивим спољашњим оптерећењем (нпр. масом депоније), у почетку се тло понаша као у недренираним условима (нема промене запремине тла), јер је коефицијент водопропустљивости мали па треба времена док вода не почне из њега истицати. Вода у тлу преузима укупно спољашње оптерећење тако да расте порни притисак, док се чврсте честице (скелет тла) понаша као да нема никаквог оптерећења. С временом вода почиње да истиче из тла. Брзина истицања зависи од коефицијента филтрације и хидрауличког градијента. Истицање воде из пора доводи до смањења њихове запремине и до деформације

тла. При том се смањује порни притисак, а за исти износ повећава се ефективно напрезање у скелету тла. Овај процес завршава када притисак воде падне на нулу, а скелет тла преузме целокупно спољашње оптерећење. Механички модел консолидације тла приказан је на слици 5.7. [http://www.gf.uns.ac.rs/fakultet/mehanika_tla/7.%20Konsolidacija,%20sleganje%20tla.pdf]

Депоније отпада су обично објекти који заузимају велике површине које се полагају (постепено) попуњавају па је и (описани) процес слегања полаган. Ако је подлога депоније чврста стена слегања практично нема. Када је у подлози некохерентни материјал (шљунак, дробљени камен) слегање ће бити веома брзо па је потребно у току градње обавити припрему подлоге будуће депоније. Када је у подлози кохерентни материјал (глина, песковита глина, глиновити песак) слегање је полагано и траје колико и експлоатација депоније.

Ефекти слегања подлоге на објекте у склопу депоније (дренажни систем, колектори, цевоводи) су најчешће занемарљиво мали, због велике површине и спорих промена. Консолидацијом подлоге испод депоније смањује се њена водопропустљивост што условљава престанак или смањење отицања воде из депоније у подземље. Истовремено консолидацијом кохерентне подлоге спречава се и дотицање подземне воде испод контура депоније, што може условити издизање нивоа подземне воде у окружењу саме депоније, што доводи до тзв. забарења.

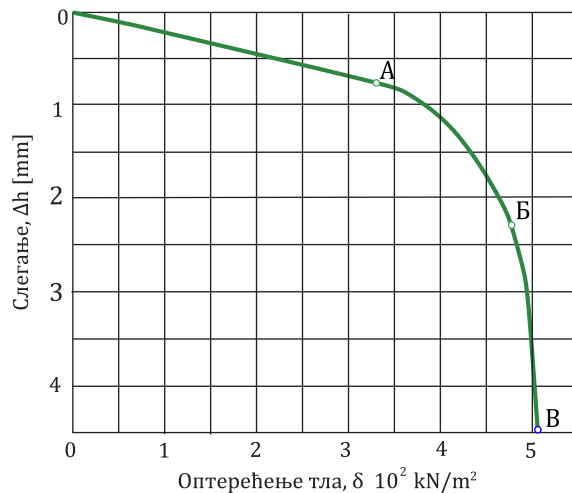


Слика 5.7. Механички модел консолидације тла испод депоније

Консолидација се не одвија само у подлози већ и у појединачним слојевима депонованог материјала. Смањењем коефицијента водопропустљивости нижих слојева створиће се услови да инфилтрациона (дренажна) вода почне да избија на одређеној висини спољашње косине депоније, па је потребно уградити додатни дренажни прстен који ће ту воду прихватити и контролисано извести. Уградња додатних дренажа, по висини депоније, се обично практикује код (равничарских) депонија лоцираних поред река (у алувијону) на глиновито-песковитим теренима.

5.6. Стишљивост

Стишљивост је особина тла да се деформише под дејством неке спољне силе. Уколико није спречено бочно ширење тла, деформације се могу фазно пратити [Обрадовић, Најдановић, 1999]. У првој фази слегање је пропорционално оптерећењу и исказује се углавном у вертикалном померању зрна у поре (еластичне деформације). При даљем повећању оптерећења настаје друга фаза у којој се слегање прогресивно повећава и појављује се бочно истискивање материјала (пластичне деформације) све док у једној тачки не дође до наглог слегања уз потпуно бочно померање. Овај моменат се назива "лом тла" и показује оптерећење при којем долази до потпуног нарушавања структуре и рушење насипа, односно одлагалишта. Наведене фазе су приказане у дијаграму на слици 5.8 [Обрадовић, Најдановић, 1999].



Слика 5.8. Дијаграм деформација тла у зависности од оптерећења: 0-А – зона еластичних деформација, А-Б – зона пластичних деформација, Б-Ц – лом тла

Како су пластичне деформације и, посебно, лом тла непожељна стања то се као дозвољено усваја оптерећење у зони еластичних деформација.

Ако се спречи бочно ширење тла (дакле, претпоставља се само оптерећење из зоне еластичних деформација) тада ће се слегање вршити само на рачун сабијања ваздуха присутног у порима с обзиром да се чврста минерална зрна и вода

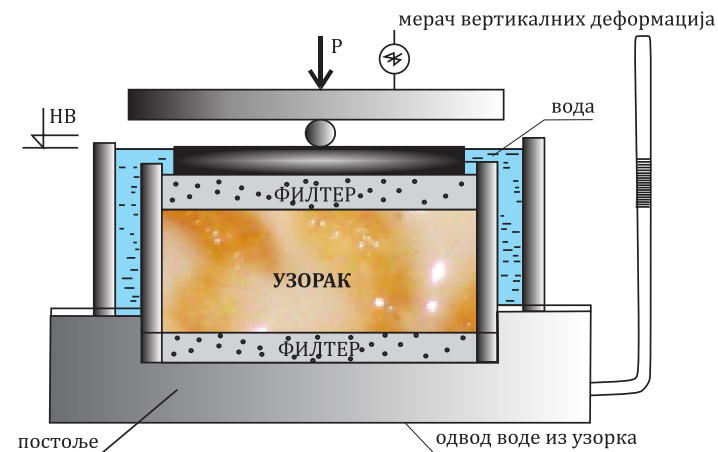
сматрају практично нестишљивим. Компресијом се ваздух сабија што условљава и повећање збијености материјала.

Стишљивост се одређује стандаризованим едометарским опитом. Овај опит се назива и опит консолидације са спреченим бочним ширењем. Поступак одређивања стишљивости тла са спреченим бочним ширењем у едометру дефинисан је стандардом СРПС У.Б1.032:1969. Едометар је кутијаста апаратура у који се ставља узорак, слика 5.9. Узорак има облик ниског цилиндра са површином базе између 20 и 100 cm² и односом пречника према висини у границама од 2,5 до 5. Узорак се излаже контролисаним прираштајима вертикалних напона при чему се спречене бочне деформације. Током опита мери се смањење висине са повећањем напона. Порозне плочице на базама узорка омогућавају евакуацију воде у процесу консолидације, док се промена запремине региструје мерењем промене висине узорка. Оптерећење се наноси степенасто, при чему је уобичајено да је однос величина вертикалних напона између две суседне степенице оптерећења око 2, на пример: 50, 100, 200, 400, 800 kPa, итд. Уобичајено је да свака степеница оптерећења траје 24 часа, изузетно и до 48 часова.

Из дијаграма који се исцртава сагласно резултатима из овога опита добија се вредност релативног слегања или релативне компресије који дефинише трајне деформације оптерећеног материјала. Истовремено, у зависности од релативног слегања и прираштаја оптерећења, а аналогно Јунговом (*Young*) модулу еластичности може се израчунати и модул стишљивости, по образцу:

$$M_v = \frac{\Delta\sigma}{\frac{\Delta h}{h}} \quad (5.12)$$

где је: M_v - модул стишљивости, kN/m²,
 $\Delta\sigma$ - прираст оптерећења, kN/m²,
 $\Delta h/h$ – релативна компресија, бездимензионално



Слика 5.9. Шема едометра

Из овога следи да је модул стишљивости већи што је релативна компресија мања, односно што је стишљивост мања.

На одлагалиштима је пожељно да слегање буде минимално, односно да модул еластичности буде што је могуће већи.

Оквирне вредности модула стишљивости за нека тла приказане су у табели 5.10 [Gotić, 2001].

Табела 5.10. Модул стишљивости неких тала [Gotić, 2001]

Врста материјала и карактеристике	Модул стишљивости, MN/m ²
Шљунак, средње збијен	100-200
Песак, растресит, округла зрна	20 - 50
Песак, растресит, шиљата зрна	40 - 80
Песак, средње збијен, округлао	50 - 100
Песак, средње збијен, шиљата зрна	80 - 150
Песак, збијен, шиљата зрна	150 - 250
Прашина	3 - 10
Иловача, полуврста	5 - 20
Иловача, мекана	4 - 8
Глина, полуврста	5 - 10
Глина, тврда	2,5 - 5
Глина, мека	1 - 2,5

5.7. Водопропустљивост – коефицијент филтрације

Коефицијент филтрације се дефинише као брзина течења воде на температури од 20°C (под условима ламинарног течења) кроз попречни пресек јединичне површине неког засићеног тла. Коефицијент пропустљивости има димензије брзине и обично се изражава у m/s (данас се често користи и cm/s мада је ова јединица ван SI система).

За један материјал или формацију, вредност коефицијента филтрације зависи првенствено од димензија најситнијих пора кроз које вода треба да путује или од величине и континуитета пукотина у стенама, испуцалим глинама итд. Укратко, он у великој мери зависи од:

- вискозности воде,
- величине и континуитета пора или пукотина у тлу кроз које вода тече, а које, опет, зависе од: величине и облика зрна тла, густине воде, структуре тла, присуства дисконтинуитета.

Коефицијент филтрације се може одредити аналитички на бази познавања гранулометријског састава материјала, лабораторијским и "in situ" опитима.

Постоји већи број метода насталих на бази експерименталних истраживања разних аутора које дају везу између коефицијента филтрације и одређених геомеханичких параметара.

За једноличне, растресите, чисте пескове (учешће класе -0,060+0 mm испод 5%) пропустљивост се може проценити из Хезнове једначине [Engemoen, 2014]:

$$k = C \cdot (d_{10})^2 \quad (5.13)$$

где је: k – коефицијент филтрације, m/s,
 C – коефицијент, варира од 40 до 120, просечно 100,
 d_{10} – величина отвора сита кроз који пролази 10% масе, mm.

И многи други аутори (Masch, Denny, Kozeny, Lambe) дали су своје једначине које се могу применити за материјале сличне онима који су коришћени при оригиналним истраживањима [US Army, 1986].

Заједничко за све ове једначине је да се вредности овако одређеног коефицијента филтрације могу прихватити само као прва апроксимација, више или мање тачна у зависности од сличности испитиваног материјала са материјалом који је коришћен у оригиналним истраживањима.

Коефицијент филтрације у лабораторији се одређује опитима у којима се користи деаерисана дестилисана вода и узорци потпуно zasiћеног тла. Апаратура која се користи за испитивање пропустљивости може се разликовати у зависности да ли је узорак ситнозрн или крупнозрн, поремећен или непоремећен, збијен или га треба формирати у лабораторији, и zasiћен или незасићен.

Методe за одређивање коефицијента филтрације у лабораторијским условима прописане су у одговарајућим СРПС стандардима. Суштински су лабораторијске методе базиране на Дарсијевом (*Darcy*) закону кретања воде под дејством силе гравитације кроз филтер:

$$k = \frac{Q}{A} \cdot \left(\frac{L}{\Delta h} \right) = \frac{v}{i}$$

Одавде следи, $v = k \cdot i$ (5.14)

где је: k – коефицијент пропустљивости, m/s,
 Q – проток воде, m³/s,
 A – површина попречног пресека кроз који вода протиче, m²,
 L – пут која пролази, m,
 Δh – разлика пијезометарских нивоа, m/m,
 v – брзина протицања воде кроз пропустљиви материјал, m/s,
 i – хидраулички градијент (хидраулички пад, пијезометарски нагиб), еквивалентно $\Delta h / L$, бездимензионална величина

Зависност коефицијента филтрације од врсте материјала приказана је у табели 5.11 [Earth, 1998].

Према немачким стандардима (DIN 18130, део 1) јаловине и стене се, у односу на коефицијент филтрације деле у 5 група, табела 5.12 [BREF, 2004].

Код пескова је тешко добити непоремећене узорке тла за извођење лабораторијских тестова, а њихова структура, стратификованост, коефицијент порозности, итд, имају важан утицај на величину пропустљивости. Због тога су теренски опити за

одређивање пропустљивости неопходни. На терену се коефицијент филтрације одређује преко истражних јама и бушотина, односно, опитом теренског црпљења.

Табела 5.11. Зависност коефицијента филтрације од врсте материјала [Earth, 1998]

Водопропустљивост, 10^x m/s													
	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11	
Дренарање	Добро						Слабо			Практично непропусно			
Тип гла	Чисти шљунак			Чисти песак и мешавина песка и шљунка		Врло ситни песак, прашина, мешавина прашинастих пескова и глине, стратификовани слојеви глине и др.				Непропусни материјали, тј. непропусне глине испод појаса деградације			
						"Непропусни" материјали промењени деловањем вегетације и деградацијом							

Табела 5.12. Класификација јаловина и стена према DIN18130, део 1 [BREF, 2004]

Карактеристика	Коефицијент филтрације, m/s
Веома висока пропустљивост	$> 1 \cdot 10^{-2}$
Висока пропустљивост	$1 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-2}$
Пропустљиво	$1 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-4}$
Слаба пропустљивост	$1 \cdot 10^{-8} - 1 \cdot 10^{-6}$
Веома слаба пропустљивост	$< 1 \cdot 10^{-8}$

Када се одлагалиште фундаира на стеновитој подлози, од интереса је познавати пропустљивост стенске масе у подлози. И у овом случају степен пропустљивости се изражава коефицијентом пропустљивости, који се дефинише као брзина протицања кроз јединичну површину под дејством јединичног хидрауличког градијента и он зависи од својстава стенске масе, као и од вискозности и густине воде.

Развијене су бројне методе за одређивање или процену пропустљивости неке стенске масе. Код сваког конкретног случаја треба анализирати и проценити могућност и оправданост примене свих расположивих метода, као и аналитичких техника, како би се оптимизовале предности и минимизирали недостаци садржани у сваком од метода за одређивање пропустљивости неке стенске масе.

Основни методи обухватају лабораторијско испитивање пропустљивости, анализу геолошких својстава и теренска мерења.

Лабораторијски опити пропустљивости се користе за процењивање пропустљивости језгра или узорак узетих из стене. Примењују се: моделска испитивања, испитивања индивидуалних пукотина и испитивања на репрезентативним узорцима.

Моделска испитивања, као и испитивања на репрезентативним узорцима имају само ограничену примену и тако добијени резултати су често зависни од испитивача. Мерена пропустљивост пукотина и срачуната еквивалентна пропустљивост може се директно применити у анализама континуума или дисконтинуума.

Уопштено, лабораторијска испитивања су репрезентативна само за један мали део стенске масе која се разматра. И даље, с обзиром на знатну дозу субјективности у интерпретацији параметара, лабораторијска испитивања се користе више као додатак, него као замена за теренска испитивања.

Постоје формуле, теоријске и емпиријске, које дају везу између пропустљивости и геолошких својстава. Параметри потребни за анализу или прорачун су: просечни отвор пукотина, просечна површинска рапавост пукотина и просечан распоред пукотина у простору или број пукотина на одређеној дужини.

За одређивање параметара који се користе у анализи потребно је обимно осматрање и картирање осматраних површина. Иако је анализа пропустљивости на основу геолошких својстава теоријски могућа, резултате треба прихватити са опрезом.

Теренска мерења су далеко најтачнија и најпоузданија техника за одређивање пропустљивости неке стенске масе. Теренска испитивања се, генерално, сведе на мерења брзине подземне воде, опите црпљења и опите инјектирања.

Када се анализира кретање воде кроз порозну средину учоава се да брзина кретања може бити идентична у свим смеровима (**изотропија**) или различита (**анизотропија**). Различита вредност коефицијента филтрације у хоризонталној (k_h) и вертикалној (k_v) равни, практично, прати реалне ситуације на депонијама индустријског отпада због депоновања у слојевима. Типичне вредности анизотропије за нека природна земљишта и стене приказане су у табели 5.13 [Engemoen, 2014].

Табела 5.13. Типичне вредности анизотропије [Engemoen, 2014]

Материјал	k_h/k_v	Зависи од...
Стратификована лежишта	10 - 1.000	гранулометријског састава
Масивна земљишта или стене	1 - 3	облика и оријентације зрна
Распуцале стене	0,1 - 10	распореда отвора
Еолска земљишта (лес и дине)	0,02-2	консолидације

Депоновани материјал има слојевиту (стратификовану) структуру са израженом анизотропијом и знатно већим коефицијентом филтрације у хоризонталној него вертикалној равни.

Сва претходна разматрања односила су се на потпуно сатурисану средину. У пракси се, свакако, среће и несатурисана средина за коју не важи Дарсијев закон. Несатурисана средина среће се углавном на насипима и на плажи, односно у зони изнад линије провирне воде. Испитивања су показала да је коефицијент филтрирања кроз несатурисану средину значајно мањи и да зависи од степена сатурисаности [Fredlund et al., 1994, Vanapalli et al., 2002].

5.8. Елементи унутрашњег отпора

Да би се неки материјал покренуо потребна је извесна сила, али свако кретање ће изазвати отпор па се стање мировања може написати преко једнакости:

$$\sum f(\text{сила покретања}) = \sum f(\text{сила отпора})$$

Силе које могу изазвати кретање су: гравитациона сила, маса зрна, угао нагиба подлоге на којој се зрна налазе, статички напор, механичке силе итд., а силе које дају отпор кретању су: сила адхезије, сила кохезије, остале површинске силе, механичко укљештење итд.

До покретања, било масива или насутог материјала, долази када збир сила које изазивају покретање буде већи од отпора који се јављају том кретању. У геомеханици се то дефинише прекорачењем отпорности на смицање. Отпорност на смицање се изражава преко односа између нормалног јединичног оптерећења (σ) и тангенцијалног јединичног оптерећења (τ) или изражено преко закона о чврстоћи тла на смицање, који је дао Кулон (*Coulomb*):

$$\tau = c + \sigma \cdot \operatorname{tg}\phi \quad (5.15)$$

где је: τ - напон смицања, kN/m^2 ,

c - сила кохезије за укупне (тоталне) напоне, kN/m^2 ,

σ - укупни нормални напон на равни смицања, kN/m^2 ,

ϕ - угао унутрашњег трења за укупне напоне, $^\circ$

Наведени образац важи за пропустљива тла код којих се вода из пора, под нормалним притиском, истискује без отпора, па је прираштај порног притиска практично једнак нули, а прираштај укупних напона је једнак прираштају ефективног напона. У природним условима ово је могуће код некохерентних тала (шљунак, песак).

Кохерентна тла су слабије пропустљива и код њих се вода тешко истискује из пора, односно заостаје у порама као напрегнута порна вода (порни притисак). У оваквим условима прираштаји ефективног напона нису једнаки прираштају укупних напона већ представљају разлику између прираштаја укупних напона и генерисаног порног притиска. Ову законитост је уочио Терзаги (*Terzaghi*) па је образац допунио да има овај облик:

$$\tau_f = c' + (\sigma_n - u) \cdot \operatorname{tg}\phi' = c' + \sigma_n' \cdot \operatorname{tg}\phi' \quad (5.16)$$

где је: τ_f - напон смицања, kN/m^2 ,

c' - сила кохезије за ефективне напоне (привидна кохезија), kN/m^2 ,

σ_n - ефективни нормални напон, kN/m^2 ,

u - порни притисак, kN/m^2 ,

ϕ' - угао смичуће отпорности (угао унутрашњег трења за ефективне напоне), $^\circ$.

Дакле, у овом случају напон смицања је директно пропорционалан не укупном нормалном напону, него разлици нормалног напона и порног притиска. Тај напон

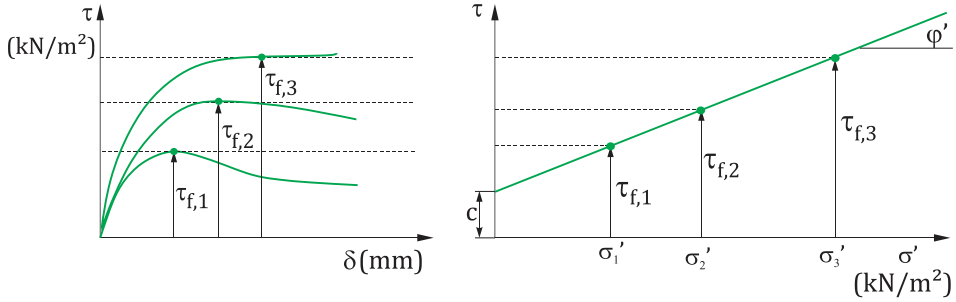
се зове ефективни (интергрануларни) напон. Ефективни напон се преноси преко додирних површина између чврстих зрна (гранула), а порни притисак се преноси кроз воду у порама. Идентични услови се стичу и код некохерентних материјала (тала) ако је наношење оптерећења јако брзо тако да не долази до дренарања воде из пора.

Параметри: **сила кохезије** (C) и **угао унутрашњег трења** (φ) називају се заједничким именом елементи унутрашњег отпора. За њихово одређивање је развијено више метода, а најчешће се користе опити директног смицања, опити триаксијалне компресије и опити једноаксијалне чврстоће на притисак. Сви ови опити су стандардизовани [Обрадовић, Најдановић, 1999].

Кохезија (према лат. *cohaerere* = *приањати, бити повезан, држати се скупа*) се у хемији дефинише као физичка особина супстанце узрокована међумолекуларним привлачењем између сличних молекула унутар тела или супстанце. Најјача је код материја у чврстом стању, слабија је код течности (код воде се исказује као површински напон), а најслабија код гасова (код идеалних гасова је једнака нули). У геомеханици кохезија је карактеристична за кохерентне материјале. Кохерентни материјали су веома ситни, а уситњавањем се повећава број зрна унутар исте запремине при непромењеној порозности. У средини са веома ситним честицама, које имају мали међусобни размак, настају силе које, на контактима, изазивају отпоре трења. Одавде се долази до геомеханичке дефиниције кохезије, по којој је кохезија **отпор тла на смицање када су нормална напрезања једнака нули**. Кохезија, дакле, даје чврстоћу тлу. Сила кохезије зависи од структуре материјала (крупноћа, порозности), влажности и степена оптерећења. Што је сила кохезије већа, то је и отпорност материјала на смицање већа.

Угао унутрашњег трења, угао отпорности на смицање, зависи од степена збијености, влаге, крупноће и облика зрна, степена неравномерности и минералног састава. Угао унутрашњег трења расте са крупноћом, степеном неравномерности и учешћем зрна са оштрим угловима (ефекат укљештења).

Одређивање силе кохезије и угла унутрашњег трења обавља се у уређају за директно смицање. Уређај се састоји од двоструке кутије, квадратног облика [Обрадовић, Најдановић, 1999]. Један део те кутије је покретан, а други непокретан. У кутију се уграђује тзв. консолидовани узорак. Консолидација траје 24 часа. Уграђени узорак трпи вертикални (нормални) напон притиска (σ) и хоризонтални напон смицања (τ). Вертикални напон се постепено повећава, а упоредо са повећањем (уобичајено се бира оптерећење од 50, 100, 200 и 400 kPa) бележи се отпор смицања. На бази тих резултата црта се дијаграм на којем се на апсцису наноси вертикално оптерећење, а на ординату напон смицања. Крива која се добије обично је закривљена (конкавна у односу на апсцису) и полази из координатног почетка. На бази те криве апроксимацијом се уцртава права линија која не мора да полази из координатног почетка. Из тако формиране праве са ординате се читава кохезија (између 0 почетне тачке праве), а из угла који права заузима са апсцисом читава се угао унутрашњег трења. Уцртавање праве могуће је и тако што се у дијаграм унесе тачке у којима се остварује максимални напон смицања па се њиховим спајањем добија права. Очитавање кохезије и угла унутрашњег трења врши се на исти начин. На слици 5.10 приказан је резултат опита уцртан на дијаграме.



Слика 5.10. Дијаграми директног смицања и очитавање кохезије и угла унутрашњег трења

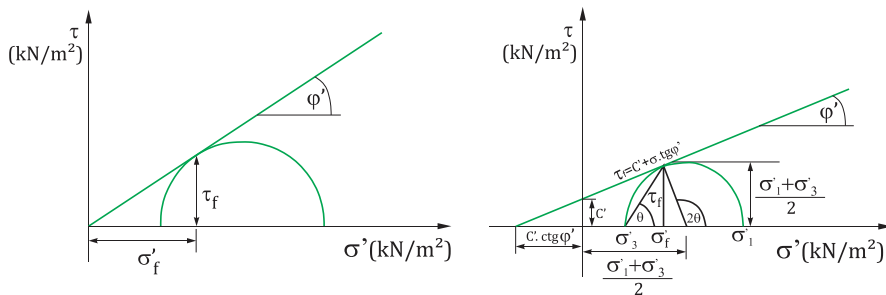
Опит се може изводити са дренираним и недренираним узорком.

Вредности кохезије и угла унутрашњег трења за типичне представнике некохерентног и кохерентног материјала дате су у табели 5.14 [IS, 1997].

Табела 5.14. Типичне вредности кохезије и угла унутрашњег трења за неке материјале [IS, 1997]

Врста тла	Кохезија, kN/m^2 (kPa)	Угао унутрашњег трења, °
GC глиновити шљунак	-	>31
GM прашинасти шљунак	-	>34
SM прашинасти песак	5 ± 5	30 ± 4
SC глиновити песак	11 ± 6	31 ± 4
ML неорганске прашине, глиновити ситни пескови	9 ± ?	32 ± 2
CL неорганске, прашинасте и песковите глине	12 ± 2	28 ± 2
CH неорганске глине високе пластичности	13 ± 6	19 ± 5
MH неорганске прашине високе пластичности	20 ± 9	25 ± 3

Очигледно је да се у смеру од некохерентних ка кохерентним материјалима угао унутрашњег трења смањује, а кохезија повећава. То се може видети и са слике 5.11.

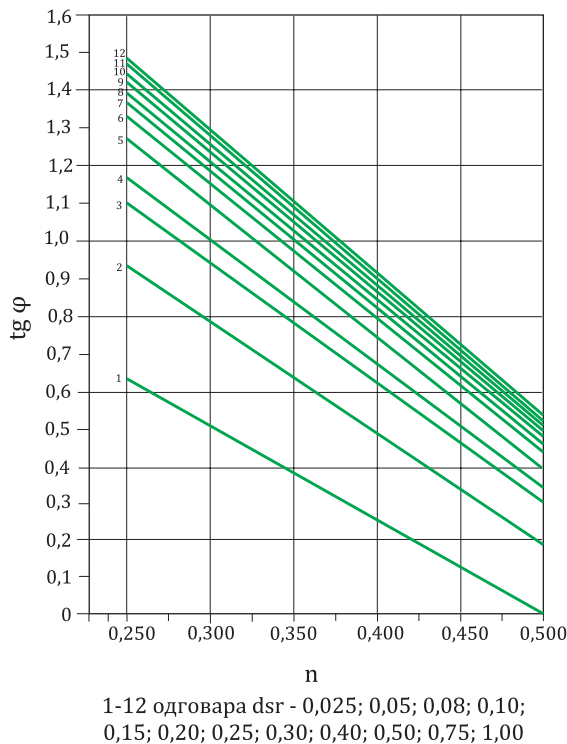


Слика 5.11. Однос кохезије и угла унутрашњег трења код некохерентног (лево) и кохерентног тла (десно)

Однос између угла унутрашњег трења (исказано као $\text{tg}\varphi$), крупноће зрна (исказано преко средњег пречника зрна d_{sr}) и порозности (n) може се приказати преко обрасца [Гојковић, 2008]:

$$\text{tg}\varphi = \frac{d_{sr}}{0,01 + 1,55 \cdot d_{sr}} \cdot \left[1 - \frac{n \cdot (0,011 + 1,55 \cdot d_{sr})}{d_{sr}} \right] \quad (5.17)$$

Ово је емпиријски добијени образац који омогућава да се познавањем гранулометријског састава и порозности материјала прорачуна угао унутрашњег трења. Образац се може превести и у дијаграм, слика 5.12, преко којег се брзо може утврдити оријентациона вредност угла унутрашњег трења за некохерентне материјале.



Слика 5.12. Зависност угла унутрашњег трења од средње крупноће зрна и порозности материјала

Промене вредности силе кохезије и угла унутрашњег трења у зависности од дубине депоновања флотацијске јаловине приказано је у табели 5.15 [Бор, 2007].

Из приказаних резултата практичног мерења, табела 5.15, види се условљеност угла унутрашњег трења и кохезије, односно уочава се да није довољно познавати порозност и крупноћу да се тачно утврди угао унутрашњег трења. Дакле, у условима када је тло кохерентно, што се може рећи за веома ситну флотацијску

јаловину, не може се на бази познавања крупноће и порозности одредити угао унутрашњег трења.

Табела 5.15. Промене неких геомеханичких параметара у зависности од дубине депоновања флотацијске јаловине у насипу [Бор, 2007]

Дубина узорковања, м	Порозност, п%	Крупноћа, учешће -0,063+0, мм,%	Кохезија, kN/m ²	Угао унутрашњег трења		Модул стишљивости, N/m ² , за оптерећење 200 – 300 kN/m ²
				Ф, °	tg φ	
0-10	44,5	39,5	21	29	0,5543	10700
10-20	43,4	45,0	21	30	0,5573	9933
20-30	43,4	59,7	22	29	0,5543	9878
>30	45,6	75,2	19	27	0,5095	9655

Када се анализира модул стишљивости, за исто оптерећење, онда се види да се са дужином модел стишљивости незнатно смањује, што упућује да се и стишљивост унутар насипа незнатно повећава.

5.9. Конзистенција

Конзистенцијом се дефинишу својства мешавине: покретљивост, крутост и повезаност. Овај параметар уобичајено прати испитивања мешавина бетона, а у рударској пракси се показао као неопходан за транспорт и одлагање јаловине у облику хидромешавине велике густине тзв. пасте.

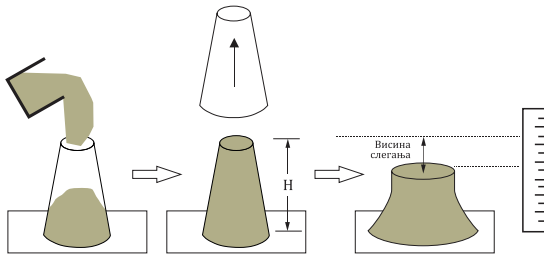
Има више метода за одређивање конзистенције: метода слегања, ВЕБЕ-метода, метода распрострањања, метода вибрирањем итд. [Муровљев,1989].

У пракси се најчешће користи тзв. сламп-тест (*slump-test*) базиран на методи слегања за одређивање конзистенције мешавине [Domone, 1998]. За испитивања се користи тзв. Абрамов конус у који се мешавина уноси у три слоја уз појединачно набијање стандардном металном шипком са 25 удараца. После пуњења горња површина се поравна и конус полако и пажљиво извуче и постави поред анализираних масе. Под дејством силе теже доћи ће до деформације масе, а када се деформација заврши измери се величина слегања.

На слици 5.13 дат је графички приказ извођења опита [Clayton, 2002], а на слици 5.14 фотографија купе на крају опита.

На бази добијене величине слегања бетонске мешавине се деле на "круте" (слегање <50 mm), "средње" (слегање од 50 до 125 mm) и "течне" (слегање од 125 до 175 mm).

Величина слегања везана за транспорт и одлагање густих хидромешавина - пасти експериментално је одређивана уз услов да се мешавина несметано транспортује, те да се после истакања из цевоода просторно разлива уз одржавање угла насипања до 6%. Према Пуцмајстеровим (*Putzmeister*) проспектима и Теријоу [Theriault, 2003] висина слегања мешавине треба да буде од 195 до 250 mm.

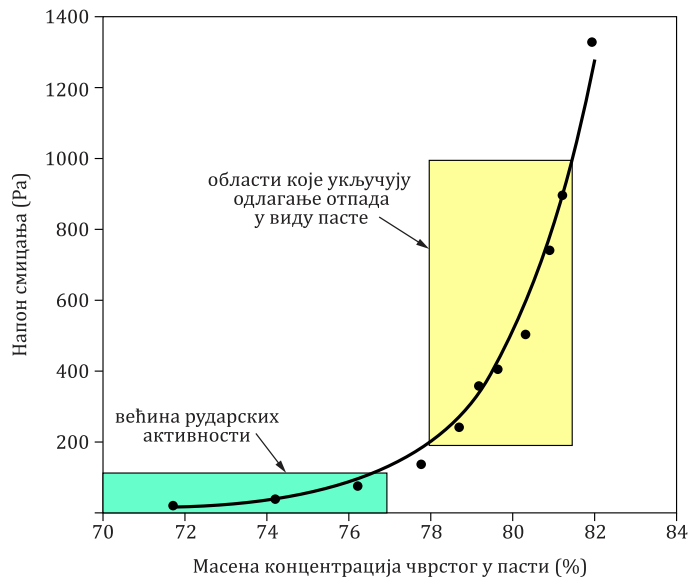


Слика 5.13. Фазе "сламп-теста": наливање узорка, извлачење конуса, мерење слегања



Слика 5.14. Изглед купе на крају опита

Клејтон и сарадници [Clayton, 2002] тврде да "сламп-тест" није најпогоднији за примену јер се базира на поређењу што је прихватљиво само за отпаде са истог постројења (мада не увек), али је неприхватљиво за отпаде различитог порекла. Због тога они предлажу да се као мера конзистенције усвоји напон смицања јер он представља јединствену карактеристику материјала док је висина слегања последица напона смицања и густине мешавине. С обзиром да напон смицања експоненцијално расте са повећањем учешћа чврстог у хидромешавини, то је његово прецизно одређивање и познавање веома важно.



Слика 5.15. Зависност напона смицања од масене концентрације чврстог у пасту

На слици 5.15 дат је, као илустрација, дијаграм зависности напона смицања од масене концентрације чврстог за пасту ВНР-овог рудника Кенингтон (*Cannington*) [Clayton, 2002]. На дијаграму су означене и области у којима се обично врши транспорт и одлагање отпадних материјала у савременој рударској пракси.

5.10. Границе конзистенције или атербергове границе

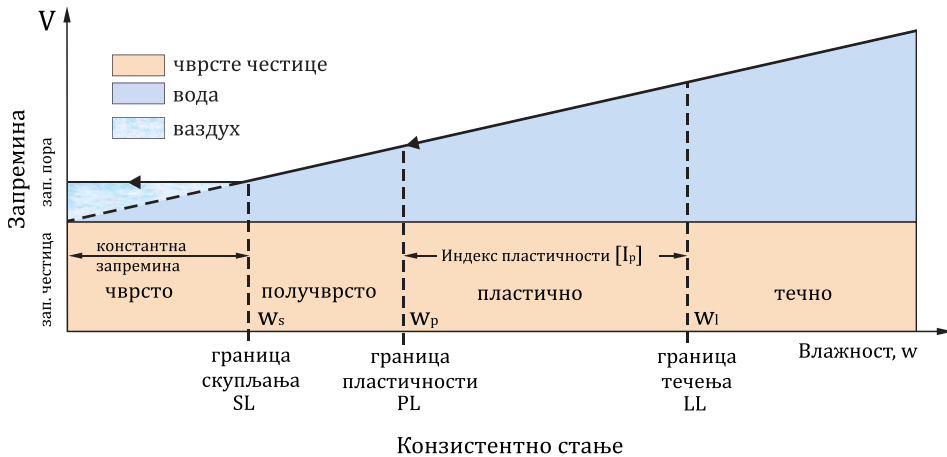
Атерберг (*Atterberg*) је кохерентна тла поделио у 7 основних стања конзистенције: чврсто, получврсто, жилаво пластично, лепљиво пластично, жилаво течно, густо течно и ретко течно [Обрадовић, Најдановић, 1999]. Сва наведена стања су груписана у 3 групе: чврсто, пластично и течно.

При преласку из једног стања конзистенције у друго, усвојене су границе. Свакој од тих граница одговара одређена количина вода јер је за кохерентне материјале карактеристично да мењају стање при промени садржаја воде. Најважније су граница пластичности, граница течења и граница скупљања. Графички приказ појединих граница у зависности од садржаја воде приказане су на слици 5.16.

Граница скупљања (w_s , ω_s или SL) одговара граници између чврстих и получврстих стања, на овој граници сушењем тло престаје да се скупља мада и даље губи масу.

Граница пластичности (w_p , ω_p или PL) одговара преласку из чврстог у пластично стање. Влажност је нешта већа од оптималне, а креће се од 15 до 30%,

Граница течења (w_L , ω_L или LL) одговара преласку из пластичне у течну конзистенцију, усваја се да је чврстоћа смицања на овој граници практично једнака нули. Влажност кохерентних материјала на овој граници креће се од 40 до 60%.



Слика 5.16. Границе конзистенције у зависности од влажности

Разлика између границе течења и пластичности назива се **индекс пластичности (I_p)**:

$$I_p = \omega_L - \omega_p \quad (5.18)$$

Индекс пластичности показује која количина воде је потребна да неки материјал пређе из пластичног у течно стање. Код пескова индекс пластичности је нула, код прашине 2-10%, док код глина расте са садржином глиновитих састојака од 10-

75%. Подела тала на основу величине границе течења индекса пластичности дата је у табели 5.16.

Табела 5.16. Подела тала на основу границе течења и индекса пластичности [Обрадовић, Најдановић, 1999]

Стање	Граница течења, $w_L, \%$	Индекс пластичности, I_p
Непластично	-	<12
Ниско пластично	<12	12 - 25
Средње пластично	30 - 50	25 - 40
Високо пластично	>50	>40

Индекс течења (I_L) представља однос између природне влажности (w_0) и влажности на граници пластичности (w_p) и индекса пластичности (I_p):

$$I_L = \frac{w_0 - w_p}{I_p} \quad (5.19)$$

Индекс течења има вредност од 0 за тло са влажношћу на граници пластичности до 1 за тло са влажношћу на граници течења.

Индекс конзистенције (I_c) – представља однос између разлике влажности при граници течења (w_L) и природне влажности (w_0) и индекса пластичности (I_p)

$$I_c = \frac{w_L - w_0}{I_p} \quad (5.20)$$

Што је I_c већи, материјал је мање деформабилан. Конзистентна стања дефинисана према индексу конзистенције дата су у табели 5.17.

Табела 5.17. Конзистентна стања према индексу конзистенције [Обрадовић, Најдановић, 1999]

Стање	Индекс конзистенције, $I_c, \%$
Течно	< 0
Пластично	0-1
Полутврдо	1-1,25
Тврдо	> 1,25

Литература

- [1] Directive 2006/21/EC of the European Parliament and of the Council on the management of waste from extractive industries (notified under document number C(2009) 3013) (2009/360/EC), Official Journal of the European Union 110/48,
- [2] Обрадовић Р., Најдановић Н., (1999), Механика тла у инжењерској пракси, Рударски институт, Београд

-
- [3] Максимовић М., (2014), Механика тла, АГМ књига, Београд
- [4] Witt K.J., Schönhardt M. (eds.), (2004), Tailings management Facilities – Risks and Reliability, Report of the European RTD project TAILS SAFE, www.tailsafe.com
- [5] Earth manual, part 1, Third Edition, Earth Sciences and Research Laboratory, Geotechnical Research, Technical Service Center, Denver, Colorado, 1998
- [6] [<http://www.gf.uns.ac.rs/fakultet/mehanikatla/7.%20Konsolidacija,%20sleganje%20tla.pdf>]
- [7] Gotić R., Gotić I., (2001), Temeljenje građevina na poboljšanom тлу, Грађевинар 53, 2, Zagreb, str. 75-81
- [8] Engemoen B., (2014), Reclamation, Managing Water in West, Design Standards No. 13, Embankment Dams, Chapter 8: Seepage, Phase 4 (Final), U.S. Department of Interior Bureau of Reclamation
- [9] US Army Corps of Engineers, (1986), Seepage Analysis and Control for Dams, Engineer Manual No. 1110-2-1901, Washington, D.C.
- [10] Reference Document on Best Available Techniques for Management of Tailings and Waste-Rock in Mining Activities, 2004, European Commission, DG, JRC, Institute for Prospective Technological Studies, Sustainability in Industry, Energy and Transport, European IPPC Bureau, Seville.
- [11] Fredlund DG, Xing A, Huang S. (1994), Predicting the permeability function for unsaturated soils using the soil-water characteristic curve, Can. Geot. Jour., 31. 533-546
- [12] Vanapalli SK, Lobbezoo JP, (2002), A Normalized function for prediction the coefficient permeability of unsaturated soils, Third International Conference on Unsaturated Soils, Recife, Brazil, ed. J.F.T. Juca et al., Balkema Publishers, pp. 839-844.
- [13] Anon, (1999), Criteria for design of small embankment dams, Indian Standard, IS: 12169 ·1997, Bureau of Indian standards, New Delhi
- [14] Гојковић Н., Обрадовић Р., Чебашек В., (2008), Стабилност косина одлагалишта техногених материјала, Рударско-геолошки факултет, Београд
- [15] Група аутора, (2007), Геотехничка и хидрогеолошка испитивања на флотацијској брани 1А "Велики Кривељ", Институт за бакар, Бор
- [16] Муровљев М., (1989), Грађевински материјали, Научна књига, Београд
- [17] Domone P., (1998), The slump test for high-workability concrete, Cement and Concrete Research, Vol. 28, No. 2, Pergamon, pp. 177-182
- [18] Clayton S., Grice T. G., Boger D. V. (2002), Analysis of the slump test on-site yield stress measurement of mineral suspensions, International journal of mineral processing 1613, Elsevier, pp. 1-19
- [19] Проспекти фирме Putzmeister, Aichtal, Немачка
- [20] Theriault J.A., Frostiak J., Welch D., (2003), Surface disposal of past tailings at the Bulyanhulu Gold Mine, Tanzania, Mining and Environment conference, Sudbury

6. ХЕМИЈСКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ОТПАДА



У овом поглављу обрађени су основни појмови везани за хемијске карактеристике отпада. Дефинисано је узорковање и припрема узорака за хемијску анализу и дат је кратки приказ метода хемијске анализе. Анализиране су хемијске компоненте отпада и дат приказ тих компоненти на конкретним индустријским отпадима. Посебно је дат приказ излуживости отпада и стварања киселих дренажних вода, те тестови који се користе за процену излуживости метала из отпада.

6.1. Узорковање за хемијске анализе

При узимању узорака за хемијску анализу срећу се два случаја:

- Први, треба одредити **хемијски састав неког комада хомогеног састава**, при чему сам тај комад представља узорак, којег треба уситнити (самлети), узети потребну (мању) количину и анализирати, и
- Други, из веће **количине неког материјала, обично хетерогеног састава**, треба узети мањи узорак за припрему (уситњавање/млевање) и анализу да

би се на бази добијених резултата проценио састав читаве количине. Наравно, у том случају, узети узорак, с обзиром на хемијски састав, мора бити верна слика читаве количине.

Када се анализира отпадни (јалови, неупотребљиви) материјал веома ретко се среће први случај (анализа комада хомогеног састава). Обично се врши анализа претходно уситњеног материјала хетерогеног састава. С обзиром на овакво стање узорковање (у хемијској лабораторији) је веома комплексан и одговоран посао. У суштини, ради се о под-узорковању из узорка, при чему узорак за хемијску анализу треба да репрезентује примарни узорак, који је узет на терену, а који опет треба да репрезентује циљну популацију о којој се доносе закључци.

У лабораторију се шаље узорак масе 100-500 g, а у лабораторији се додатним уситњавањем, четвртањем и узорковање узима узорак за хемијску анализу. Маса тог узорка је најчешће 1 g (ређе 2 g). Тачност одваге је 0,0001 g.

Провера репрезентативности узорка врши се статистичким методама (поглавље 3!).

Припрема узорка за анализу зависи од метода и опреме која се користи. Понекад је то могуће урадити на лицу места или на већој количини, без посебне припреме. Понекад се припрема састоји у уситњавању и прављењу таблета, пелета и узорака сличних облика који се уграђују у апарат за анализу.

Аналитичке реакције доказивања и одређивања, међутим, најчешће се изводе у растворима. Због тога узорак за анализу треба растворити. Као растварачи обично се користе:

- 1) дестилована вода,
- 2) киселине:
 - ♦ HCl (метали, метални оксиди),
 - ♦ HNO₃ (метали изузев Al и Cr),
 - ♦ H₂SO₄ (неорганска и органска једињења),
 - ♦ HF (силикатне стене и минерали), и
 - ♦ њихове смеше: царска вода (HCl+HNO₃), HCl+Br₂, HNO₃+HClO₄
- 3) раствори база:
 - ♦ KOH и NaOH,
- 4) раствори јода, брома, калијум цијанида,
- 5) органски растварачи:
 - ♦ алкохоли, етери, бензен, угљеников тетраклорид, и др.

Избор растварача зависи од тога да ли он лако раствара узорак, односно да ли се могу у добијеном раствору извести потребне аналитичке реакције.

Има материја које се врло тешко или уопште не растварају па их пре растварања треба истопити. Те материје се загревају на повишеним температурама, обично с неким погодним средством, и прелазе у такав хемијски спој који се након тога лако раствара у води, киселини или бази.

Најважнија средства за топљење су:

- натријум-карбонат (Na₂CO₃),
- смеша калијум и натријум-карбоната (K₂CO₃ + Na₂CO₃ или KNaCO₃),

- натријум-хидроксид (NaOH),
- натријум-пероксид (Na₂O₂),
- смеша натријум-карбоната и сумпора (Na₂CO₃ + S) и др.

За неке анализе није потребно вршити растварање већ се материјал који се испитује уситњава, обично до крупноће испод 50 μm, и пресује у таблете које се уграђују у апарат за анализирање.

Када се изражава концентрација неког загађивача у течним узорцима обично се то исказује као однос маса/запремина. Када је течна фаза вода онда су следеће јединице еквивалентне:

$$\begin{aligned} 1 \text{ mg/l} &= 1 \text{ ppm (parce per million – делова на милион запремински)}, \\ 1 \mu\text{g/l} &= 1 \text{ ppb (parce per billion – делова на милијарду)}, \\ 1 \text{ ng/l} &= 1 \text{ ppt (parce per trillion – делова на билион)} \end{aligned}$$

Када се исказује концентрација загађивача у чврстом материјалу тада се обично користи однос маса/маса, при томе постоје следеће еквиваленције јединица:

$$1 \text{ mg/kg} = 1 \text{ ppm}, \quad 1 \mu\text{g/kg} = 1 \text{ ppb}, \quad 1 \text{ ng/kg} = 1 \text{ ppt}$$

Када се појављује маса увек је потребно навести да ли се то односи на суву или влажну масу. Код влажне масе треба навести колика је влажност, али када није наведено на коју масу се односи подразумева се да је то на суво, што је употребљиво за различите компарације.

Када су загађење исказује у гасовитој средини тада се примењује однос маса/запремина, али не постоји еквиваленција јединица приказана као код течних средина. Да би се постигла еквиваленција потребно је јединице свести на стандардну температуру, притисак и "суви гас" (0 °C, 1,013 бар, F у волумним процентима), па је:

$$\text{mg/m}^3 = \text{ppm} \cdot \rho$$

при чему се ρ прерачунава на следећи начин:

$$\rho = \frac{21 - O_{2 \text{ ref}}}{21 - O_{2 \text{ izmereno}}} \cdot \frac{T_{\text{izmereno}} + 273}{T_{\text{ref}} + 273} \cdot \frac{100 - f_{\text{ref}}}{100 - f_{\text{izmereno}}}$$

За неке карактеристичне гасове вредност ρ износи: CO – 1,250; NO – 1,340; NO₂ и NO_x – 2,054; SO₂ и SO_x – 2,860.

6.2. Хемијске методе истраживања

Познато је више метода хемијске анализе [Аксентијевић, 2015]:

- стандардне аналитичке методе
 - ♦ гравиметријска анализа,
 - ♦ волуметријска анализа,
 - реакције неутрализације,
 - таложне реакције, и
 - редокс реакције.

- Инструменталне аналитичке методе
 - ♦ Методе спектралне анализе:
 - Апсорпционе методе:
 - Колориметрија,
 - Ултраљубичаста (UV) спектрофотометрија,
 - Инфрацрвена (IR) спектрофотометрија,
 - Недисперзна инфрацрвена спектрофотометрија,
 - Дисперзна инфрацрвена спектрофотометрија (FTIR),
 - Атомска апсорпциона спектрофотометрија (AAS).
 - Емисионе методе:
 - Атомска емисиона спектрофотометрија – пламена фотометрија,
 - Турбидиметрија / нефелометрија,
 - Хемилумисценција
 - ♦ Електроаналитичке методе,
 - Потенциметрија,
 - Волтаметрија,
 - Кондуктометрија,
 - ♦ Методе које се заснивају на термичким особинама материје,
 - ♦ Хроматографске методе,
 - Гасна хроматографија (GC),
 - Хроматографија високе моћи разлагања (HPLC),
 - ♦ Друге методе:
 - Масена спектрометрија (MS),
 - GC/MS
 - Нуклеарна магнетна резонанца (NMR)

6.2.1. Стандардне аналитичке методе

Гравиметријска анализа или гравиметрија је једноставна аналитичка метода која се заснива на мерењу масе узорка. Овом методом се одређују чврсте материје, као што су прашина и чађ, који су сакупљени у седиментационим посудама током дужег временског периода или се користи за одређивање суспендованих зрна диспергованих у ваздуху.

Волуметријска анализа или волуметрија је квантитативна метода која одређује количину испитиваног једињења у узорку на основу утрошене запремине стандардног раствора потребне за потпуну рекацију, чији крај означава адекватни индикатор. Стандардни раствор (титрационо средство) је раствор тачно познате концентрације, а индикатори су природна или синтетичка једињења која мењају своје особине, најчешће боју на тачки еквиваленције (завршетка реакције). Из запремине утрошеног реагенса и његове познате концентрације израчунава се количина тражене супстанце. У волуметријске анализе спадају неутрализација, таложeње и редокс реакције - методе.

Неутрализација (или метода заснована на кисело-базним реакцијама, ацидиметрија и алкалиметрија) је метода за одређивање киселина и база у присуству индикатора који мења своју боју у зависности од рН вредности раствора.

Као стандардни раствори у ацидиметрији најчешће се користи раствори хлороводоничне киселине (HCl) или сумпорне киселине (H₂SO₄), а као стандардни раствор у алкалметрији раствор натријум хидроксида (NaOH).

Индикатори у кисело-базним титрацијама су слабе органске киселине или базе које могу дати или примити протоне, мењајући при томе своју боју.

У табели 6.1. приказани су најважнији индикатори кисело-базних реакција [Generalić, 2017].

Табела 6.1. Преглед најважнијих кисело-базних индикатора [Generalić, 2017]

Индикатор	Боја	pH подручје промене боје	
	Кисело-базна	18 °C	100 °C
Метил-оранж	Црвена - жута	3,1 - 4,4	2,5 - 3,7
Бромфенолно плавило	Жута - плава	3,0 - 4,6	3,0 - 4,5
Метилно црвенило	Црвена - жута	4,4 - 6,2	4,0 - 6,0
Бромкрезол зелено	Жута - плава	4,0 - 5,6	4,0 - 6,0
Фенолфталеин	Безбојна - црвенољубичаста	8,0 - 10,0	8,0 - 9,2
Тимолфталеин	Безбојна - плава	9,4 - 10,6	8,9 - 9,6

Метод таложења или преципитације заснивају се на формирању нерастворног талога приликом титрације. Користе се за одређивање аниона халогених елемената, при чему се као титрант користи стандардни раствор сребро-нитрата.

Редокс методе се заснивају на реакцијама оксидације и редукције, које се изводе са стандардизованим раствором супстанце. Да би реакција између два редокс-пара била квантитативна, разлика између њихових редокс-потенцијала у раствору треба да буде довољно велика.

Као оксидациони стандарди у редокс титрацијама најчешће се користе: калијум перманганат KMnO₄, раствор церијумових соли, Ce(IV), калијум бромат KBrO₃, јод (I₂), а као редуктивни стандарди: оксална киселина, H₂C₂O₄ и натријум тиосулфат, Na₂S₂O₃.

Редокс индикатори су обично органске материје које се понашају као слаби редуценци или слаби оксиданси и код којих је боја оксидираног и редуцираног облика различита. Користе се: фероин, дифениламин-сулфонска киселина, дифениламин идр.

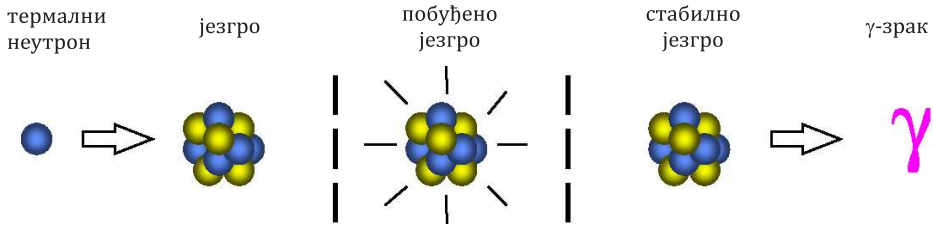
Користи се за одређивање хемијске потрошње кисеоника (ХПК), где се количина кисеоника која се утרוши или ослободи мери на основу промене боје индикатора.

6.2.2. Инструменталне методе истраживања

Савремене методе испитивања карактеристика отпада подразумевају свеобухватна истраживања. За ове потребе се користе многе методе. Од инструменталних најчешће се користе **инструментална неутронска активациона анализа (INAA), рендгенска флуоресцентна спектрометрија (XRF) и атомска апсорпциона спектрофотометрија (AAS).**

Инструментална неутронска активациона анализа (INAA) је осетљива метода за велики број елемената који се одређују. Предност ове методе је у томе што се једним поступком одређује велики број елемената.

Сви елементи имају изотопе који су радиоактивни, али је њихова концентрација, најчешће, веома мала и испод је границе одређивања. Међутим, ако се узорак претходно озрачи слободним неутронима онда се добија мерљива концентрација радиоактивних изотопа готово свих елемената у отпаду. Шема реакције је приказана на слици 6.1.



Слика 6.1. Шема активације неутроном

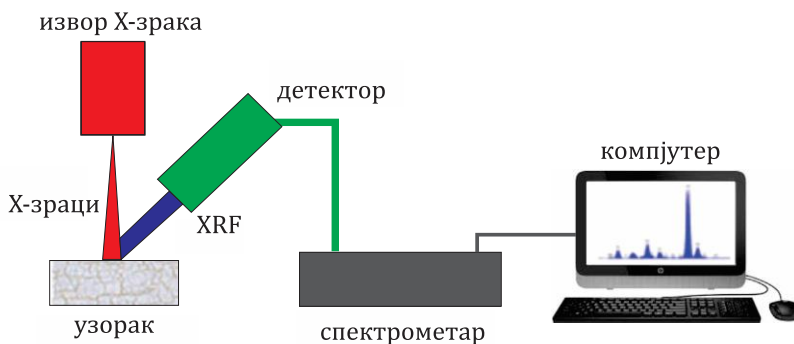
Нерадиоактивни атоми неког елемента апсорбују неутроне и граде радиоактивни изотоп. Тако добијени радиоактивни изотопи имају различита времена полуживота. Радиоактивни изотопи се распадају на стабилне нерадиоактивне изотопе и при томе се емитује неко зрачење (најчешће гама зрачење). Мерењем интензитета ослобођеног гама зрачења може се одредити концентрација радиоактивног изотопа неког елемента, а она је пропорционална укупној концентрацији тог истог елемента у узорку (анализираном отпаду).

Различити радиоактивни елементи емитују гама зрачење различитих енергија (таласних дужина) па се тзв. гама спектроскопијом (снимањем спектра по енергијама – таласним дужинама) добијају у једном пролазу концентрације свих елемената којих има у узорку. Претходно се врши калибрација инструмента познатим стандардним материјалима.

Рендгенска флуоресцентна спектрометрија (XRF) је недеструктивна метода код која се једним снимањем може извршити анализа већег броја елемената. Осим тога, као и код неутронске активационе анализе, оваква анализа ради се без растварања узорка.

Једина припрема узорка која мора да се уради јесте млевање до величине зрна од 50 μm и пресовање добијеног праха у таблету. Пресовани узорци су поуздани. Брикети или пресовани прашкови, дају бољу прецизност од прашкастих узорака и релативно једноставно и економично се могу припремити. Таблета добијена пресовањем праха постави се на пут рендгенском зрачењу које пада на површину таблете и апсорбује се. Апсорбована енергија изазива побуђивање светлосних електрона у елементима којих има у узорку. Побуђени електрони се враћају у своје основно стање и при томе емитују видљиву светлост. Сваки елемент има карактеристичне таласне дужине на којима емитује видљиву светлост. На основу положаја таласних дужина може да се изврши идентификација елемента, слика 6.2. На основу интензитета емитоване светлости може да се изврши квантитативна

анализа. Претходно се инструмент калибрише помоћу стандардних референтних материјала (то су материјали са тачно одређеним хемијским саставом).



Слика 6.2. Шема рендгенске флуоресцентне спектрометрије

Репрезентативност и комплетност су главне предности ове методе. Често се користи за карактеризацију отпада у реалном времену и на лицу места. Код мобилних уређаја није потребна никаква припрема узорка јер се анализатор поставља директно на тло (отпад) чији хемијски састав се одређује. Користи се одређивање садржаја: Ag, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Tl и Zn.

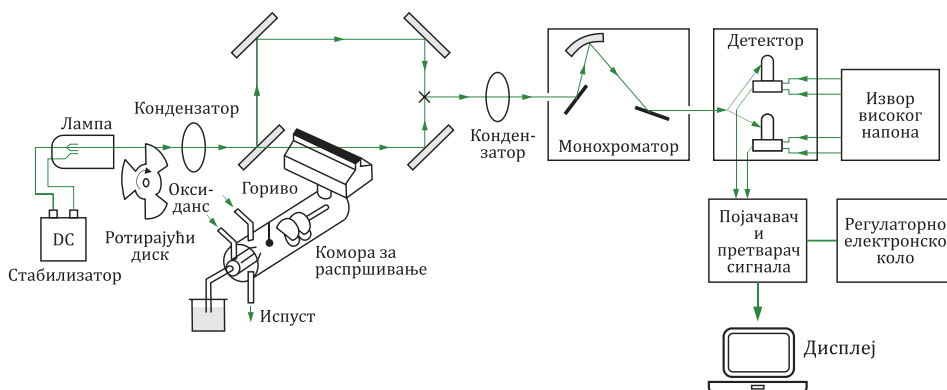
Граница детекције ове методе иде од mg/kg (однос један према милион, ppm) до 100% код мобилних уређаја, а код стационарних од десетог до стотог дела mg/kg па до 100%. Типична област коришћења ове методе је за концентрације од 5 до 30 mg/kg.

Основни извори грешака код ове методе везани су за припрему узорка и велике варијације у крупноћи узорка.

Атомска апсорпциона спектрофотометрија (AAS) се доста користи за анализе микроелемената и елемената у траговима у индустријским отпадима.

Узорак материјала у којем се неки елемент анализира преводи се у раствор. То се постиже класичним стапањем узорка с неким топитељем (натријум-хидроксид, карбонат, и сл.), па растварањем добијеног растопа у некој киселини. Добијени раствор који садржи један или више растворених елемената анализира се помоћу AAS.

Ова метода користи познато својство свих елемената да емитују или апсорбују светлост тачно одређене таласне дужине, која је карактеристична за тај елемент, слика 6.3. Раствор елемента који се одређује се испари у пламену или у тзв. графитној кивети и кроз такву пару пропушта се светлост тачно одређене таласне дужине карактеристичне за елемент који се одређује (на пример, за одређивање олова користи се светлост коју емитује олово). Емитовану светлост апсорбују атоми олова који се налазе у пари раствора (испареној пламеној или графитној кивети). Количина апсорбоване светлости директно је пропорционална концентрацији елемента.



Слика 6.3. Шема атомске апсорпционе спектрофотометрије

Мерењу претходи калибрација инструмента помоћу тзв. стандардних раствора који садрже тачно одређене концентрације елемента који се одређује. ААС метода се користи за одређивање макроелемената (Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, Si и Ti), као и за одређивање микроелемената и елемената у траговима.

6.3. Обим испитивања

6.3.1. Хемијски састав отпада

Хемијска грађа отпадних материјала је различита од постројења до постројења и у највећој мери зависи од карактеристика сировине која је третирана.

Одређивање обима испитивања хемијског састава неког чврстог отпада директно је условљено даљом наменом. Ако се ради само о постицању опште слике о хемијском саставу отпада довољно је направити тзв. силикатну анализу, која даје садржај макро елемената. Међутим, уколико се жели обезбедити даљи пласман отпада (поновна употреба или рециклирање) испитивања хемијских карактеристика треба допунити специфичним захтевима и потребама. Уколико се отпад припрема за сагоревање (инсинерацију) испитивања треба усмерити у анализирање термичких карактеристика отпада. За депоновање, поред силикатне анализе, треба посебну пажњу усмерити на могућност појаве киселих (дренажних) вода.

Силикатна анализа подразумева одређивање следећих параметара: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 , TiO_2 , MnO , SO_3 и губитак жарењем.

Резултати силикатне анализе неких индустријских отпада приказани су у табели 6.2.

Силицијум-диоксид (SiO_2), је доста инертан, не реагује са киселинама, осим са флуороводоничном (HF). Силицијум диоксид је још познат под именима: силицијум (IV) оксид, кварц, кремен и песак. Веома је погодан за депоновање и израду ободних насипа јер не подлеже распадању и променама под дејством времена, односно као последица климатских и метеоролошких деловања.

Табела 6.2. Силикатне анализе неких индустријских отпада

Отпад	Порекло	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	ГЖ
Пепео	ТЕНТ	52-56	24-26	7-9	4-5	2	1	1	0,2	1-2	0,1	
	ТЕКО	50-54	21-25	10	8-10	3-5	1	1	0,2	0,5	0,2	
	Косово	26-32	5-8	6-8	37-45	4		8-12	1-2	0,5		
Пепео код инсинерације отпада		21	10	3	25	3	2	12	1	1	14	6
		25	7	4	24	3		12	4	5		22
Гипс ОДГ		0-6	0-5	0-6	27-32	1-5		44-46	0-0,6	<0,6		
Фосфогипс	Флорида	0,5	0,1	0,1	32,5	0,1		44,0			0,65	
	Аустралија	0,21	0,17	0,02	32,8	0,05		45,2			0,5	
	Ирак	0,45	1,05	0,4	32,94	0,46		44,94			0,18	
	Мароко	0,84	0,13	<0,07	42,24			59,85			2,57	
	Сенегал	3,49	0,28	0,09	33,58			59,86			0,99	
	Србија	14,36	0,094	0,33	26,15	0,023		42,17			4,09	
Црвени муљ	Бразил	12,9	13,0	52,1	1,4		4,2		9,0			6,4
	Јамајка	3,0	10,7	61,9	2,8		8,1		2,3			8,4
	Аустралија	42,6	14,9	28,0	2,4		2,0		1,2			6,5
	Мађарска	12,5	14,4	38,0	7,6		5,5		7,5			9,6
	Грчка	12,0	13,0	41,0	10,9		6,2		7,5			7,1
	Бирач	13,29	17,75	40,05	5,89		5,17		7,40			10,5
Флотацијска јаловина	Шупља стијена (Pb-Zn)	53,2	12,2	12,0	3,3	2,5	0,5		0,1	6,2		8,5
Топионичка шљака	Бор	32,8	4,9	9,7								
	Легница (Пољска)	25-33		30-38	0,4-2,5	0,2-1,9		0,2-0,8				
	Шангај (Кина)	15,8	2,3	39,3	28,4	7,8						
Шљака гвожђа и челика	Високе пећи	33,8	13,4		41,7	7,4		0,8			<0,1	
	Конверторска	11,0	1,9		45,8	6,5		0,1			1,7	

Образложење извора: 1. Кнежевић и др., 2014, 2. Aubert, 2004, 3. Hui-Sheng, 2009, 4. Кнежевић и др., 2013, 5. Станојловић, 2012, 6. Rudnik, 2009, 7. Yang, 2009, 8. www.slgjp/e/slag/character.html

Алуминати, приказани као Al₂O₃, редован су пратилац готово свих индустријских отпада. Петрографски се препознају као глине. Када отпад не пролази кроз термичке услове учешће ових алумината није посебно захвално јер доприноси бубрењу и узрокује нестабилност депоније отпада. Када отпад прође кроз ложиште и буде изложено високом температурама долази до спонтаног печења па се ова компонента понаша као стабилна и нерастворна керамика или као стакласта фаза. Основни је чинилац аморфне или стакласте фазе у минералској анализи отпада из процеса сагоревања.

Гвожђе, приказано као Fe₂O₃ чест је састојак индустријских отпада, нарочито отпада минералног порекла. Најчешће је последица присуства пирита мада се среће и у другим облицима, као сулфат или карбонат. Када се јавља као пирит стабилан је, има особину да веже честице отпада и тиме целу структуру чини стабилнијом. Посебно је то изражено у комбинацији са кречом (CaO), а практични резултати се најбоље виде на флотацијским јаловиштима. Због излуживости при

контакту са водом и кисеоником његово учешће увек изазива подозрење и представља сигнал потенцијално хазардног отпада.

Калцијум-оксид, креч (CaO) је значајан састојак свих отпадних гипсева (фосфо-гипс, ОДГ гипс), многих пепела и шљака, отпада из производње гвожђа и челика. Мада се учешће калцијума исказује као оксид калцијума, у њему су стварно садржане и друге калцијумове соли. Са практичног аспекта битно је учешће тзв. активног калцијум-оксида (популарно званог "живи креч") јер долази до спонтане реакције са расположивом водом и стварања очврслих (солидификованих) зона на депонијама или до загревања и испаравања воде уз веома бурне термичке реакције, слика 6.4. У условима када се процес води са задатом количином воде може се постићи потпуна солидификација целе депоније [Кнежевић и др., 2014]. Дакле, са аспекта депоновања калцијум-оксид је веома позитиван и пожељан, али је са аспекта хидрауличког транспорта непожељан. Када је учешће активног дела калцијум-оксида мало и незнатно до реакције са водом ће долазити у почетним деоницама цевовода (посебно ако је израђен од челика) што ће резултирати налепцима (тзв. инкрустација) на унутрашњем зиду цевовода и прогресивном смањивању светлог отвора цеви, а тиме и повећању брзине транспорта или смањењу протока [Кнежевић и др., 1994, Кнежевић и др., 2014].



Слика 6.4. Егзотермна реакција CaO на депонији пепела ТЕ "Гацко"

Магнезијум-оксид (MgO) је стални пратилац калцијум-оксида, али је његово учешће готово увек подређено. Претерано високо учешће доводи до пуцања солидификованог материјала па се сматра непожељним.

Група SO_3 је карактеристична за гипсева и пепеле. Проласком кроз ложиште са високом температуром долази до спонтаног одсумпоравања, односно везивања сагорљивог сумпора који се, у анализи исказан као сумпор-триоксид, издваја у процесу отпепеливања. Када се у пепелу налазе повишене концентрације SO_3 и CaO то је добар знак да је дошло до спонтаног (или вођеног) одсумпоравања у котлу.

Натријум- и калијум-оксид (Na_2O и K_2O) прате црвени муљ из процеса чишћења боксита и понекад флотацијску јаловину. Често потичу из алтерисаних фелдспата и нису пожељни у отпадима који се хидраулички депонују. У пракси се понашају слично алуминатима.

Титан и фосфор обично прате своје отпаде, а прате се због негативних еколошких импликација.

Губитак жарењем или жарени остатак представља укупну чврсту материју након спаљивања у муфолној пећи у току одређеног времена (1 сат) на одређеној температури, код пепела на $800\text{ }^\circ\text{C}$, цемента од $1000\text{ }^\circ\text{C}$ итд. Губитак масе након спаљивања представља губитак жарењем и условно се може рећи да чини органску фракцију укупне суве масе. Високи губитак жарењем указује на потенцијалне проблеме у процесу депоновања отпада. У зависности од намене анализираног отпада количина губитка жарењем се лимитира јер се учешће органске компоненте лимитира. На пример, при коришћењу летећег пепела губитак жарењем се лимитира на 2% (као додатак при производњи геополимера) до 5% (као додатак цементу).

Поред тога, потребно је познавати и **учешће корисне минералне сировине** која је прерађивана у постројењу за припрему минералних сировина. Учешће корисне компоненте је, по правилу, мало, а познавање је потребно више због неке касније прераде минералне сировине него због тога што корисне компоненте могу битно да ремете физичко-механичке и хемијске карактеристике отпада.

Са аспекта заштите животне средине важно је познавати учешће микроелемената. Већина индустријских отпада садржи велики број хемијских елемената у малој концентрацији. Нема посебног правила који елементи се у којем отпаду одређују, па се то одређује на бази сопственог или туђег искуства. Најчешће се одређује учешће тешких метала који могу бити токсични по људе и окружење, табела 6.3.

Из табеле 6.3 је јасно да је приступ анализи микроелемената веома широк, но може се уочити да су неки од тешких метала (због своје отровности) готово увек заступљени (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn).

6.3.2. Главни хемијски загађивачи

6.3.2.1. Тешки метали

При готово свим анализама отпада акценат се ставља на учешће "тешких метала". Као тешки дефинишу се метали чија густина је изнад 5.000 kg/m^3 , али код разматрања утицаја на животну средину у групу "тешких метала" сврставају се и метали са знатно мањом густином. По правилу, тешки метали су токсичнији од лаких. Многи лаки метали спадају у физиолошке и олиго-елементе. У екотоксикологији је углавном одбачена подела метала по густини, а уведена подела на класе у зависности од тога да ли јони метала реагују са кисеоником или сумпором и азотом, уз увођење и једне прелазне класе, табела 6.4 [Walker, 2012].

У табели 6.5 приказани су тешки и лаки метали и посебно издвојени метали који својом токсичношћу изазивају посебну пажњу.

Табела 6.3. Учешће микроелемената у неким индустријским отпадима

Елемент	Учешће, mg/kg, ppm							Конверторска шљака бабра, %	
	Пепео	Пепео			Фосфогипс	Црвени муљ	Флотациска јаловина		Пиритна изгоретина
		А	В	С					
Ag					0,4 - 5			2,79	0,005-0,014
As		4,6	<20	<10	1,0 - 42	85	220	260	0,05-0,12
Ba	1521				20 - 236				
Cd	586	134	124	6	0,8 - 40		4	0,160	
Ce	30				21 -143				
Co	79				0,05 - 2,3	38			0,90- 1,45
Cr	2078	76	105	70	1,6 - 75	506	10	26	
Cu	1714	5,9	606	350	2 - 195	39		2.240	1,70-5,60
Ga	21					22			
Hg		109	<1,7	60	0,005 - 10		2000	<0,01	
La	15				42 - 90				
Mn					3,5 - 20		50		
Mo	49				1 - 16				
Nd	11				30 - 67				
Ni	1889				1,7 - 250	122		52	0,045-0,095
Pb	8816	2601	3537	1160	0,5 - 16	128	730	325	3,42-7,61
Se		12	<7	<5	0,5 - 75				
Sn	2883				5 - 13				
Sr	399				10 - 1118	585			
Ti					26 - 470				
Th					0,4 - 4				
U					0,5 - 13,8				
V	30				2- 40				
Zn	24,046				4 - 315	55	170	356	3,10-6,40
Zr	149				10 - 110				
Y					2 - 156	28			
извор	Aubert, 2004	Collivignarelli, 2002				Kolencsik, 2014			Rudnik, 2009

Табела 6.4. Подела јона метала, као полутаната, на класе [Walker, 2012]

Класа	Представници
Класа А, реагују са кисеоником	калцијум, магнезијум, манган, натријум, стронцијум, калијум
Прелазна класа	цинк, олово, гвожђе, хром, кобалт, никал, арсен, ванадијум
Класа Б, реагују са сумпором или азотом	кадмијум, бакар, жива, сребро

Табела 6.5. Најзначајнији тешки и лаки метали и њихов утицај на човека и земљиште

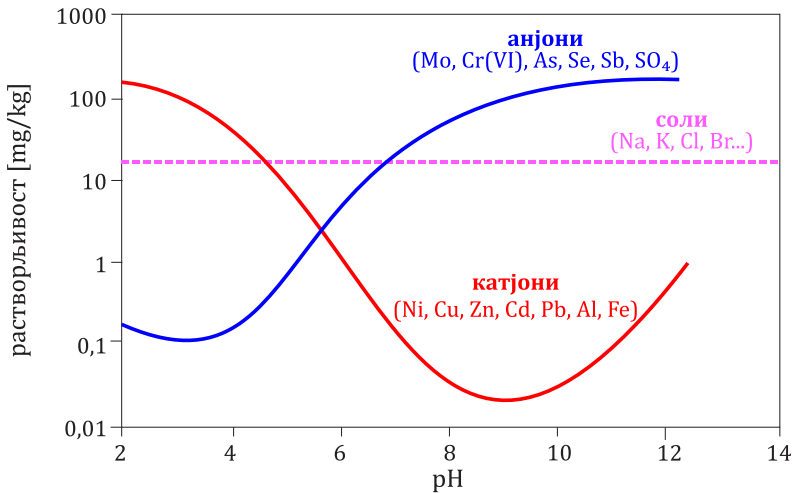
Метал и густина, t/m ³	Утицај на људе	Утицај на флору и земљиште
ТЕШКИ МЕТАЛИ		
Жива, Hg, 13,5	Веома токсичан	Биљке је акумулирају у корену
Олово, Pb, 11,3	Веома токсичан	Биљке га акумулирају у корену
Бакар, Cu, 8,92	Неопходан у малим количинама за функционисање организма	Токсичан за биљке када је концентрација 25 – 40 mg/kg при рН вредности земљишта испод 5,5
Никал, Ni, 8,90		Концентрише се у лишћу биљака и изазива хлорозу
Кобалт, Co, 8,83	Неопходан у малим количинама за функционисање организма	
Кадмијум, Cd, 8,64	Веома токсичан	Код биљака изазива хлорозу и тиме смањује фотосинтезу
Гвожђе, Fe, 7,86	Није токсично, неопходно у малим количинама за функционисање организма	
Цинк, Zn, 7,13	Неопходан у малим количинама за функционисање организма	
Хром, Cr, 6,9	Потенцијално канцероген	Изазива хлорозу и заостајање у расту биљака
Антимон, Sb, 6,69		
Арсен, As, 5,72	Веома токсичан	У земљишту токсичан посебно када је рН испод 5
ЛАКИ МЕТАЛИ		
Калијум, K, 0,86	Није токсичан	
Натријум, Na, 0,97	Није токсичан, неопходан у малим количинама за функционисање организма	
Калцијум, Ca, 1,54		
Магнезијум, Mg, 1,74		
Берилијум, Be, 1,85	Токсичан	
Алумијум, Al, 2,70	Токсичан на малим рН вредностима	Токсичан на малим рН вредности

Табела 6.6. Теоретска рН вредност на којој долази до најмање растворљивости хидроксида метала [GARD 2009]

Метал	рН	Метал	рН
Гвожђе, фери, Fe ³⁺	3,5	Гвожђе, феро, Fe ²⁺	8,0
Антимон, Sb ²⁺	4,2	Цинк, Zn ²⁺	8,5
Алуминијум, Al ³⁺	4,5	Никал, Ni ²⁺	9,3
Олово, Pb ²⁺	6,5	Кадмијум, Cd ²⁺	10,0
Бакар, Cu ²⁺	7,0	Манган, Mn ²⁺	10,6

Растворљивост метала зависи од њихове хемијске форме. рН вредност при којој је растворљивост минимална за неке хидроксиде метала приказана је у табели 6.5. [GARD 2009]. Очигледно је да је проблем када је отпад хетероген, односно када се у њему нађе више метала. Подаци приказани у табели 6.6 јасно показује потешкоће у проналажењу безбедног рН опсега за отпадне материјале у чијем саставу има више метала [Wahlström, 2009].

Многи метали имају амфотерне особине (могу реаговати и као киселине и као базе), па се са повећањем рН растворљивост смањује до неког прага, али се потом, поново, повећава због формирања растворљивог комплекса, слика 6.5.



Слика 6.5. Зависност растворљивости од рН вредности

С обзиром да метали нису биоразградиви, они се не могу разбити у мање опасне компоненте. Биолошка детоксикација метала састоји се у прекривању металних јона протеинима (ковалентно везивање за сумпор) или њиховим таложењем у нерастворљивој форми као унутарћелијске грануле за дугорочно депоновање или излучивање као талог.

6.3.2.2. Остали неоргански загађивачи

Неоргански загађивачи по правилу нису токсични, али угрожавају окружење. Од анјона посебно су интересантни нитрати и фосфати. Ради се о базичним састојцима ђубрива, тзв. нутријентима, који могу изазвати појаву познату као еутрофикација.

6.3.2.3. Органски загађивачи

Материје које у себи садрже угљеник описују се као органске, а иду од најједноставнијих молекула какви су CO и CO₂, па до веома комплексних једињења. У зависности од порекла, многи отпади који садрже различите органске загађиваче или органске материје постају отпади које треба третирати. Најопаснији органски загађивачи су угљоводоници, полихлоровани бифенили (PCB), полихлоровани

бензодиоксини (PCDD или диоксини), инсектициди на бази хлора, фосфора, карбамата итд., хербициди, родентициди, детергенти, феноли и многе друге органске компоненте из фармацеутске и других индустрија.

Угљоводоници су изграђени само од угљеника и водоника. Неки имају малу молекуларну масу и егзистирају као гасови на нормалној температури и притиску (метан, етан, етилен), мада је већина у течном и чврстом стању. Слабо су поларизовани и имају малу растворљивост у води, али велику у уљима и органским растварачима. Деле су две класе: (1) алкани, алкени и алкини, и (2) ароматични угљоводоници. Ароматични угљоводоници се одликују постојањем једног или више незенских прстенова у њиховој структури. Као загађивачи срећу се у нафтној индустрији, петрохемији, на постројењима за сагоревање итд. [Ђирић, 2016].

Полихлоровани бифенили (PCB) су ароматска, синтетска, хемијска једињења која се не појављују природно у окружењу. Они се састоје од бифенил структуре, два повезана бензенова прстена, у којима су неки или сви атоми водоника замењени атомима хлора. Теоретски има 210 изомера, практично око 100, од којих се њих 14 сматра токсичним.

PCB једињења се налазе у облику уљних течности, лепљивих смола или топљивих кристалних материја у зависности од количине супституисаног хлора. Имају ниску електричну проводљивост, високу топлотну проводљивост и високу отпорност на термичке деградације. Највише се користе у трансформаторима као расхладни медијум (пираленско уље) и у хидрауличним уређајима, као пластификатори у производњи боја, пластике и гумених производа, у пигментима, бојама и некарбонским папирима за штампу.

Ова вештачка једињења су без мириса, безбојна до светло жуте или жуте боје, веома стабилна и имају релативно мале вредности испарљивости на собној температури. PCB једињења су хидрофобна и стога имају врло ниску растворљивост у води. Као хидрофобна и веома стабилна једињења могу испарити из воде упркос ниском напону паре. PCB једињења такође лако апсорбују на органске честице у земљишту, седименту, биолошким или воденим системима. Ове органске честице могу лако да се преносе на велике раздаљине и то је један од разлога што су пронађени свуда по свету. Растворљиви су у уљу и у већини органских растварача. PCB једињења су неосетљива на извор светлости и имају изузетну стабилност на топлоту - која се повећава са садржајем хлора - и разлажу се тек на веома високој температури (> 1000 °C). Полихлоровани бифенили имају висок ниво хемијске инерције и веома су отпорни на многе хемијске агенсе као што су киселине, базе и оксиданти. Не утичу на метале, али растварају или омекушавају одређене врсте гуме и пластике. PCB једињења су практично отпорна на ватру због својих високих тачки паљења (170-380 °C) [Ћарапина Stevanović, 2002].

Синтетизовани су у Америци 1866., а први пут произведени у индустријским размерама 1929. (компанија Монсанто). У САД су забрањени 1977. године због канцерогеног, мутагеног и тератогеног ефекта. У Европи су забрањени 2001. године. [Гавранчић, Скала, 2000].

Поступање са отпадним полихлорованим бифенилима у Србији је регулисано "Правилником о поступању са уређајима и отпадом који садржи PCB" (Сл. Гласник 37/2011), који се наслања на европску директиву 95/59/EC PCB.

Диоксини су било која хемикалија која садржи хлор (Cl), угљеник (C), кисеоник (O) и водоник (H), које су при томе међусобно повезане на неки специфичан начин. Термин диоксин подразумева све диоксине, али се углавном под овим термином подразумева најтоксичнији од свих 2,3,7,8 tetrachlor-dibenzodioxin - TCDD (након хемијске катастрофе 1976. године у италијанском граду Севесо, назван је и Seveso-Dioxin). Диоксини су хемијски стабилни, па једном произведен диоксин постоји у природи дуго времена. Диоксин се налази готово свуда: у воденим токовима, ваздуху, животињама, риби и човеку. Верују се да су диоксини једна од најтоксичнијих компоненти које су људи направили. Диоксини су нежељени нуспродукти формирано током хемијских процеса у који су умешани Cl и поједина једињења C и H. Диоксини се формирају када се хлорни гас употребљава за избељивање папира, за производњу пестицида, антисептика на бази Cl или при спаљивању појединих Cl једињења. Диоксини немају комерцијалну употребу и не постоје докази да се производе од стране живих организама. Шумски пожари производе диоксин, али у малим количинама [Marinković et al., 2010].

Инсектициди су хемијска једињења која служе за уништавање инсеката. Под заједничким именом инсектициди налазе се: **акарициди** (служе за сузбијање штетних гриња – прегљева), **нематоциди** (служе за сузбијање штетних нематода), **лимациди или молусциди** (служе за сузбијање штетних пужева (мекушаца), **корвициди** (служе за сузбијање штетних птица) и **родентициди** (служе за сузбијање глодара) [Čolović i dr., 2013].

Хербициди су различита хемијска једињења, претежно органског порекла, намењена за уништавање биљака. Реч хербицид потиче од латинских речи *herbum* (*herbi*) што значи трава, биљка и *caedere* што значи убити, уништити. Хербициди могу бити системични, локалсистемични и несистемични, односно контактни у зависности од способности препарата да се креће (транслоцира) у биљци. Могу бити селективни (делују само на одређене биљке) и тотални (уништавају све биљке). Тотални хербициди се најчешће користе да од корова потпуно очисте неки терен (индустријске локације, железничка пруга и насипи, поред путева, канала итд.). Подела може бити и према деловању на гајену биљку, те су груписани у селективне и неселективне пестициде. Хербициди се деле и по намени те су подрупе "граминициди" (уништавају траву), "десиканти" (изазивају сушења биљака), "дефолијанти" (изазивају опадања лишћа), "арборициди" (уништавају дрвећа и шибља), силвициди (уништавају комплекса шума) итд. [Konstantinović, Konstantinović 2014].

Детергенти су супстанце или смеше која садржи сапуне односно друге сурфактанте и употребљавају се за прање и чишћење. Сурфактант (површински активна материја, од енглеског *surface* = површина) је органска супстанца или смеша која има површински активна својства и која садржи једну или више хидрофилних и хидрофобних група које су способне да смање површински напон воде формирајући раширен или адсорбујући монослој на додиру вода - ваздух и створе емулзију односно микроемулзију односно мицеле, као и да се адсорбују на додиру вода - чврста површина. Најпознатији детергенти су сапуни, а користили су се и сулфонати масних киселина и виших алкохола. Данас се производе синтетички органски спојеви добијени од продуката дестилације нафте и каменог угља. Мешају се са примесама и појављују под различитим трговачким именима. Све већа употреба синтетичких детергената загађује воду (повећана количина фенола и фосфора), чиме нарушавају равнотежу водених екосистема [Parić, 2015].

Феноли су ароматска једињења са -ОН групом везаном непосредно за бензенев прстен. По броју хидроксилних група деле се на феноле, дифеноле и трифеноле. Фенол (C_6H_5OH) је основни фенол и добија се из катрана каменог угља. Технички се добија и загревањем натријум-бензосулфата са $NaOH$ на $300^\circ C$. Феноли су беле кристалне супстанце, специфичног мириса (на болницу), делимично се растварају у води. Токсични су. Употребљавају се као полазна сировина у синтези различитих производа процесне индустрије као што су смоле, лекови, полиуретани, пестициди, експлозиви, боје, антиоксиданси, уљни и нафтни адитиви, козметички производи итд. Користе се и за дезинфекцију. Феноли ослобођени хидролизом орғанофосфатних инсектицида, хербицида и фунгицида као и испарљиви феноли из других извора доспевају у водотокове, где представљају токсичне материје како за живи свет у води, тако и за људе и околину. Налазе се и у седиментима и у тлу [Ђирић, 2016].

6.3.3. Киселе дренажне воде

Мера киселости, односно базичности је рН вредност. Средина је кисела када је рН вредност испод 7, а базична када је изнад 7. Неутрална средина има рН вредност 7. Индустриски отпади имају рН вредност која зависи од процеса из којег су настали. Отпади из производње киселина или ђубрива су кисели, а отпади из флотацијских процеса или сагоревања угља су благо базични, док је црвени муљ са рН 9,5 до 10 базичан [Kolencsik-Tóth et al., 2014]. Проблем настаје у фази депоновања када отпад долази у контакт са окружењем.



Слика 6.6. Отицање киселе дренажне воде

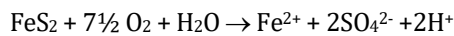
Са аспекта заштите животне средине од изузетне важности је познавање оксидо-редукционих процеса који се спонтано одвијају у животној средини и чији ефекти могу бити негативни. Оксидација је процес који се различито тумачи. У неорганској хемији оксидација је процес отпуштања електрона, а у органској процес везивања кисеоника. Реакција супротна оксидацији је редукција. Код редукције једињење прима електроне, односно везује водоник [Rosengrant, Lopez, 1991]. Обе ове реакције увек теку заједно.

6.3.3.1. Настајање киселих дренажних вода

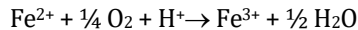
Деловањем воде и ваздуха на отпад долази до реакција које узрокују настајање сумпорне киселине и промену рН вредности, односно издвајање киселих дренажних вода. Да би дошло до стварања киселих дренажних вода неопходно је да се у истом тренутку заједно нађу **сулфидни сумпор** (најчешће представљен као пирит), **кисеоник** (из ваздуха) и **вода**. Деловањем кисеоника из ваздуха и воде долази до трансформације феро јона у фери јон и до преципитације фери-хидроксида. То се лако уочава јер је вода обојена у различите нијансе браон и црвене боје, а временом сличну боју поприма и терен преко којег вода тече, слика 6.6.

Стварање киселих дренажних вода најлакше се прати преко оксидације пирита [Димитријевић, 2002]. Ретко се појављује отпад минералног порекла у којем нема пирита. Процес оксидације пирита може се приказати у три главна корака:

1) оксидација сумпора

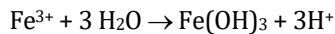


2) следи оксидација феро гвожђа Fe^{2+} до фери облика Fe^{3+} :



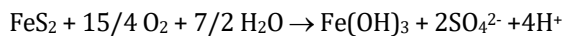
Ова реакција се јако појачава деловањем микроорганизама *Acidithiobacillus ferroxidans* или *Leptospirillum ferroxidans*.

3) хидролиза и преципитација фери комплекса:



Ако је рН око 2 формирани $\text{Fe}(\text{OH})_3$ није стабилан, а Fe^{3+} остаје у раствору.

Целокупни процес оксидације може се приказати и формулом:



Овако произведено тровалентно гвожђе може формирати превлаку (слој) на површини пирита и тиме умањити ефекат оксидације [Dold, 2010]. Оксидација двовалентног гвожђа и превођење у тровалентно није ограничена јер је молекуларни кисеоник из ваздуха расположив, а хидролиза тровалентног гвожђа и производња киселог раствора ће прогресивно смањивати рН вредност. У киселој средини процес ће се додатно убрзати јер ће се повећати бактеријска активност чиме ће се повећати активност слободног тровалентног гвожђа.

Пирит лако оксидише, али та реакција није увек и брза. Брзина оксидације пирита је $1,08 \cdot 10^{-15} - 1,8 \cdot 10^{-14} \text{ mol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. У присуству фери јона у раствору додавањем раствореног кисеоника брзина се повећава око 100 пута. Присуство бактерија процес може убрзати и до 100 пута.

Негативно деловање сулфида услед излуживања је временски најдужа емисија која се среће на депонијама отпада.

Геохемијска класификација вода базирана на суми растворених јона метала (Zn, Cu, Cd, Pb, Co, Ni) и pH вредности, тзв. Фиклинов (*Ficklin*) дијаграм дат је на слици 6.7 [Lottermoser, 2010].



Слика 6.7. Фиклинов дијаграм геохемијске класификације воде у функцији pH вредности и учешћу растворљивих јона метала

6.3.3.2. Киселински и неутрализациони потенцијал

Процена киселинског потенцијала одређује се као еквивалентна вредност за 1000 тона CaCO_3 , а рачуна се по обрасцу [Azcue, 1999]:

$$AP = \frac{C_R^S (\%) \cdot 1000 (\text{kg})}{100} \cdot \frac{\text{molekularna masa CaCO}_3}{\text{atomska masa sumпора}}$$

Атомска маса сумпора (заокружено) је 32, калцијума 40, угљеника 12,9, а кисеоника 16 па се добија израз:

$$AP = C_R^S \cdot 31,25$$

где је: C_R^S - концентрација сумпора (%), масено).

Прорачун подразумева следеће:

- сав сумпор је из пирита,
- 4 мола H^+ настају при оксидацији 1 мола пирита, и
- сав сумпор се преводи у сулфат.

Процена која укључује присуство и других сулфидних минерала, односно више од једног неутрализационог минерала ради се по формули (ВАР од енглеског bulk acid potential):

$$\text{ВАР} = \sum_{s=1}^k \frac{n_{\text{M,a}} \cdot w_a \cdot X_s \cdot 10}{w_s}$$

где је: ВАР – киселински потенцијал комплетног узорка, килограма сумпорне киселине по тони,

$n_{\text{M,a}}$ – стехиометријски фактор (молова сумпорне киселине формираних оксидацијом 1 мола сулфидног минерала, за пирит је 2, а за пирхотин 1),

w_a – молекуларна маса сумпорне киселине, g/mol,

X_s – количина сулфидног минерала s у узорку, % масено, 10 – ради конверзије у kg/t,

w_s – молекуларна маса сулфидног минерала s , k – број сулфидних минерала у узорку.

У литератури се среће више термина везаних за неутрализациони капацитет, а њихов приказ је дат у табели 6.7.

Табела 6.7. Термини везани за неутрализациони капацитет (Wahlström et al. 2009)

Врста	Термин	Референца	Дефиниција
Отпад	Киселински неутрализациони капацитет (ANC)	CEN/TS 15364: Characterization of waste - Leaching behaviour tests - Acid and base neutralization capacity test	Киселински и/или базни неутрализациони капацитет неког материјала.
Отпад из екстрактивне индустрије	Киселински потенцијал (AP)	EN 15875: Characterization of waste - Static test for determination of acid potential of sulphidic waste	Максимални потенцијал генерисања киселине из узорка код којих се претпоставља да је сав сумпор у пириту и да је ацидитет последица потпуне оксидације
	Неутрализациони потенцијал (NP)		Капацитет узорка да неутралише произведени ацидитет
	Нето неутрализациони потенцијал (NNP)		Разлика киселинског и неутрализационог потенцијала (NNP = NP - AP)
	Однос неутрализационог потенцијала (NPR)		Однос неутрализационог и киселинског потенцијала NPR = NP / AP
Калцификација земљишта	Ефекат калцификације	ISO 10693: Soil quality - Determination of carbonate content - Volumetric method	
Материјал стабилизован цементом	Киселински неутрализациони капацитет (ANC)	Stegemann (2002)	Способност солидификованог производа да неутралише киселину

Сагласно претходном разматрању може се израчунати и неутрализациони потенцијал укупног узорка:

$$\text{BAP} = \sum_{s=1}^k \frac{n_{M,a} \cdot w_a \cdot X_s \cdot 10}{w_s}$$

где је: BNP – неутрализациони потенцијал комплетног узорка, килограма неутрализационог материјала по тони,

w_a – молекуларна маса сумпорне киселине, g/mol,

X_i – количина минерала i , % масено,

w_i – молекуларна маса неутрализационог минерала i , g/mol,

$n_{m,i}$ – стехиометријски фактор (молова неутрализационог минерала потребан за потрошњу 1 мола сумпорне киселине, табела 6.5),

k – број неутрализационих минерала у узорку

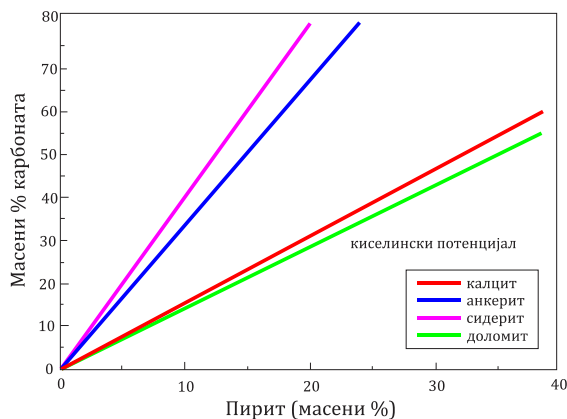
За процену потенцијала отпада да произведе киселу дренажну воду користи се нето неутрализациони потенцијал (NNP), који представља разлику између неутрализационог (NP) и киселинског потенцијала (AP), односно у односу на цео узорак:

$$\text{NNP} = \text{BNP} - \text{BAP}$$

Када је вредност NNP негативна, постоји потенцијал за формирање киселих дренажних вода.

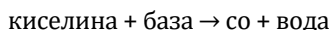
Киселински и неутрализациони потенцијал може се приказати и на дијаграму код којег се на апсцису наноси масени проценат пирита, а на ординату масени проценат карбоната, слика 6.8 (Azcue, 1999).

Преко молекуларних маса може се израчунати да сваки килограм пирита може произвести 1,63 kg сумпорне киселине. У пракси је то обично мање јер отпад поред пирита садржи и друге супстанце од којих се неке понашају као неутрализатори и тиме смањује количину издвојене киселине.

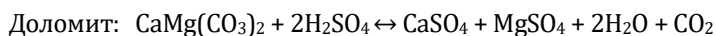


Слика 6.8. Киселински и неутрализациони потенцијал базиран на учешћу пирита и карбоната

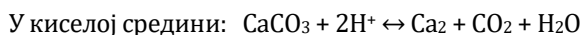
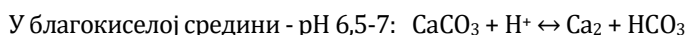
Неутрализација је хемијска реакција између киселине и базе у којој се формирају со и вода. Реакција је јонског типа, егзотермна је. У најопштијем случају реакција се своди на следеће:



Реакције неутрализације киселине доводе до повећања рН вредности јер се новоформирана киселина троши на растварање, у првом реду, карбонатних и силикатних минерала. Већина карбонатних минерала се брзо раствара:



Калцит је најчешћи и најреактивнији минерал. Растворљивост му зависи од концентрације H^+ јона:



Алумосиликатни минерали су мање реактивни од карбоната, али је њихово дејство веће у већ формираној киселој средини. Већина алумосиликатних минерала код растварања троши H^+ јоне и ослобађа базне катјоне (Са, Mg, F(II)), алкалне елементе (Na, K) и растворени Si и Al.

Дакле, однос минерала који генеришу киселину и минерала који је троше, условља да ли ће воде које се процеђују кроз депоновани отпад бити више или мање киселе. У практичним условима карбонатни минерали имају највећи неутрализациони потенцијал па битно утичу на киселост процедних вода, табела 6.8.

Табела 6.8. Неутрализациони потенцијал неких минерала

Неутрализациони минерал	Број молова потребан за неутрализацију 1 мола H_2SO_4
калцит	1
доломит	1
анкерит	1,25
хлорит	0,125
мусковит	0,2
каолинит	0,67
оливин	0,5
хорнбленда	0,11
К-фелдспат	0,5
гетит	0,67
цибсит	0,67

Из табеле 6.8 је јасно да различити минерали имају различити потенцијал неутрализације. Но, за стварно познавање неутрализационог потенцијала потребно је познавати и брзину реакције. На пример К-фелдспат има дупло већи пуферски

потенцијал од калцита, али је брзина растварања силиката много спорија од брзине растварања калцита па је ефекат неутрализације калцита значајнији за смањење киселости процедурне воде.

У табели 6.9 дата је релативна реактивност неких минерала [Wahlström et al., 2009].

Табела 6.9. Релативна реактивност неких минерала [Wahlström et al., 2009]

Особина групе минерала	Типични минерали	Релативна реактивност при рН 5
Растворљиви	калцит, арагонит, доломит, магнезит, бруцит	1,0
Брзо распадање	анортит, нефелин, оливин, гранат, јадеит, леуцит, сподумен, диопсид, властонит	0,6
Средње брзо распадање	епидот, аугит, хорнбленда, серпентин, талк, хлорит, биотит	0,4
Споро распадање	албит, олигоклас, монтморијонит, цибсит, каолонит	0,02
Врло споро распадање	К-фелдспат, мусковит	0,01
Инертни	кварц, рутил, циркон	0,004

Дакле, растворљиви минерали (калцит, доломит и др.) ће бити веома реактивни у киселој средини, док инертни (кварц, рутил и др.) неће практично учествовати у реакцијама. У зависности од састава отпада треба процењивати колико ће отпад бити реактиван, односно инертан.

ANC (Acid Neutralization Capacity) као мера способности материјала да неутралише киселину је кључна варијабла за процену дугорочног понашања материјала, зато што утиче на преципитацију метала и одржавање физичког интегритета матрикса (Stegmann i Coté, 1990). Тест укључује мешање узорака материјала са порастом количине минералне киселине у периоду од 48 сати. Анализа контаминаната у елуату може да се искористи да се испита њихова мобилност на одређеним рН вредностима. Овај приступ је сличан тестовима као што су NEN 7342 и pr EN 14429.

За одређивање неутрализационог потенцијала отпада развијено је више метода, а у табели 6.10 дат је упоредни преглед три европска стандарда [Wahlström et al., 2009].

Проблем закисељавања воде је "прикривен" у периоду активног коришћења одлагалишта јер велике водене површине и стално насипање онемогућавају контакт пирита и ваздуха, али престанком експлоатације одлагалишта долази до смањења и потпуног нестајања таложног језера што интензивира процес оксидације и закисељавање воде. То је и разлог да се у светској пракси у последњих 20-ак година интензивно прати учешће пирита, односно сулфидних минерала у одлагалишту, те да се сагласно томе предузимају мере за превенцију оксидације.

Очигледно је да за стварање киселих дренажних вода треба да буду на располагању неограничене количине кисеоника из ваздуха. Међутим, ако се отпад нађе испод воде процес ће бити успоренији јер се користи растворени кисеоник, а бактеријска оксидација пирита је занемарљива [Mend, 1998]. Ограничене количине кисеоника у води доносе двоструку корист. Прво, максимална концентрација

раствореног кисеоника је значајно мања него у ваздуху и, друго, много важније, процес молекуларне дифузије је веома спор (10.000 пута спорији него на ваздуху). Све ово условљава да је закисељавање испод воде занемарљиво мало.

Табела 6.10. Упоредни приказ три европска стандарда за одређивање неутрализационог потенцијала отпада [Wahlström et al., 2009]

Тест	CEN/TS 14997	CEN/TS 14429	Статички тест EN 15875
Ниво	Основна карактеризација		Скрининг / усаглашавање
Домен	Примарно, утицај рН на излуживост неорганских састојака отпада		Потенцијал сулфида да произведу киселе дренажне воде
Прилагођен за	Све отпаде		Сулфиде
Принципи	Узорак се меша са дестилованом водом уз одржавање рН вредности	Узорак се меша са одабраном киселином или базом до постизања стабилне рН вредности на крају опита	Дигестија узорка са киселином.
Маса узорка	15, 30 или 60 g		2 g
Крупноћа узорка	< 1 mm	< 1mm	< 0.125 mm
Циљна рН	Свака рН вредност се тестира независно. Типични рН опсег 3-12 (бира се на основу материјала и услова депоновања)		Дигестија - рН 2 (само се грубо контролише), титрација вишка киселине до рН 8.3
Течно/чврсто	Циљ 10		45, додаје се више киселине
Трајање теста	48 h	48 h	24 h
Захтеви за одржавање равнотежног стања	Да		Не
Ограничења теста	Није прихватљиво за супстанце које се споро излужују		Само за брзо реактивне супстанце; битна је крупноћа узорка
Приказивање резултата	Додана киселина/база за сваку рН; концентрација анализираних супстанци у елуату за сваку рН		Прорачун NPR односа (однос између NP и AP)
Критеријуми за интерпретацију теста	Нема		EU критеријуми за инертни отпад; индикативна NPR вредност за идентификацију ризика настајања киселих вода

6.3.3.3. Тестови излуживања

Највећи део отпадних материјала који се депонују није геохемијски стабилан. Због тога је неопходно извршити процену и предвиђање ослобађања контаминаната из отпада током различитих фаза његове изложености условима унутар животне средине. Сматра се да је главни механизам ослобађања контаминаната у животну средину, који представља и највећи потенцијални ризик, излуживање растворних конституената из отпада у контакту са водом [Далмација, 2010].

Тестови излуживања користе се да би се одредила концентрација контаминаната који су присутни у отпаду и њихова вероватна мобилност. У зависности од тога да ли је постигнута равнотежа или стационарно стање, тестови се деле у две категорије: тестови екстракције (тестови равнотеже) и динамички тестови.

Тестовима екстракције (или тестовима успостављања равнотеже) се симулирају стационарни услови. Ови тестови захтевају уситњавање материјала који се проучава, да би се смањило време потребно за постизање стационарног стања и минимизирао кинетички транспорт. Мућкањем се додатно убрзава време и брзина реакције и потпомаже контакт чврсте и течне фазе. У зависности од броја узорака и броја средстава који се користи за екстракцију (један узорак једно средство за екстракцију, један узорак више раствора за екстракцију...), има више тестова [Далмација, 2010].

Динамички тестови укључују континуирани проток или повремену замену раствора за излуживање да би се сачувала висока разлика у концентрацији између течне и чврсте фазе. Иако су ови тестови комплекснији, скупљи и захтевају више времена од тестова екстракције, они обезбеђују податке везане за кинетику мобилизације контаминанта и комплексне механизме везане за излуживање.

Најчешће се примењује TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure), SW-846 Method 1311, који је развила америчка ЕРА, а наша држава прихватила [<https://www.epa.gov/hw-sw846>, Правилник, 2010]. Овај тест спада у групу тестова екстракције код којих се за екстракцију користи један узорак и једно екстракционо средство. За излуживање се користи један од два раствора у зависности од рН вредности материјала. Када је рН вредност материјала испод 5 користи се "раствор 1" који има рН вредност $4,93 \pm 0,05$, а када је изнад 5 користи се "раствор 2" који има рН вредност 2,88. Као раствор се користи глацијална сирћетна киселина одређене концентрације.

По процедури однос између раствора и материјала чија излуживост се мери је 20:1, а узорци се континуирано мешају у магнетској мешалици 18 часова. Раствор се одваја филтрирањем помоћу вакуума кроз филтер од стаклених влакана са величином пора од 0,5 μm . Добијени резултати се пореде са прописаним граничним вредностима. Неке од граничних вредности су дате у табели 6.11.

Поред овога теста постоје и бројни други тестови California Waste Extraction Test – WET, Synthetic Precipitation Leaching Procedure – SPLP (USEPA Method 1312), USEPA Multiple Extraction Procedure - MEP (USEPA Method 1320), ISO/TS 21268, NEN 7347 итд.

Стандардни немачки тест излуживања носи ознаку DIN 38414-4. Испитује су материјал који је уситњен. Као екстракциони флуид користи се дејонизована вода, а излуживање се спроводи током 24 часа на континуалној мешалици. Однос течност/чврсто је 10:1 (l/kg). DIN 38414-4 тест излуживања одговара EN 12457/3 (2002) тесту, који је стандардни тест излуживања при утврђивању општих карактеристика отпадних материјала и муљева.

У Европи је, такође, развијен тест за испитивање излуживања и то за више случајева [Hutter, 2012]:

- EN 12457-1: течност/чврсто = 2 (вода, 1 мешање 24 h), крупноћа зрна <4 mm
- EN 12457-2: течност/чврсто = 10 (вода, 1 мешање 24 h), крупноћа зрна <4 mm

- EN 12457-3: течно/чврсто = 2 и 8 (вода, 2 мешања 6 и 18 h), крупноћа <4 mm
- EN 12457-4: течно/чврсто = 10 (вода, 1 мешање 24 h), крупноћа <10 mm

Ови тестови су прихваћени и у Србији [Правилник, 2010]. Дефинисане су вредности које се користе за карактеризацију отпада, а граничне вредности концентрације за неке параметре су дати у табели 6.11.

Табела 6.11. Граничне вредности излуживости метала из отпада по TCLP тесту и европском тесту EN 12457

Метал	TCLP	EN 12457		
	Концентрација, mg/l	Граничне вредности концентрације за депоније ... отпада, mg/kg суво		
		инертног	неопасног	опасног
Сребро, Ag	5,0			
Арсен, As	5,0	0,5	2	25
Баријум, Ba	100	20	100	300
Кадмијум, Cd	1,0	0,04	1	5
Хром, Cr	5,0	0,5	10	70
Бакар, Cu	100	2	50	100
Жива, Hg	0,2	0,01	0,2	2
Молибден, Mo	350	0,5	10	30
Никал, Ni	20	0,4	10	40
Олово, Pb	5,0	0,5	10	50
Антимон, Sb	15	0,06	0,7	5
Селен, Se	1,0	0,1	0,5	7
Цинк, Zn	250	4	50	200

Ваља приметити да су различите јединице у којима се излуживост исказује. Код америчког TCLP теста загађеност се исказује као концентрација у mg/l, док се код европског теста загађеност исказује у mg/kg, прерачунато на суво. Отуда и битне разлике у приказаним максималним вредностима. Европска метода се одликује и посебним лимитираним вредностима у зависности од врсте отпада.

Пример извештаја о излуживости, коришћењем српског стандарда и америчка TCLP методологија, са депоније пиритне изгоретине приказан је у табели 6.12 [Кнежевић et al., 2015].

Испитивања су обављена на узорцима узетим са исте гомиле и у исто време, али се резултати донекле разликују. Ако се излуживање испитује у зависности од времена изложености види се да је највећи удар у прва 24 часа, а потом се смањује. Ово сликовито указује на потребу вишеструког понављања анализа и процедура пре него што се донесе коначни суд о потенцијалној излуживости отпада.

Табела 6.12. Резултати теста излуживости пиритне изгоретине, по српском стандарду и процедури TCLP америчке ЕПА, за неке метале [Кнежевић et al., 2015]

Проце- дура	SRPS EN 12457-4, резултати излуживања, mg/kg, за различита времена изложености				TCLP	
	24 h	72 h	168 h	ГВ, на суво	Резултати mg/l	ГВ, mg/l
As	0,55	<0,20	<0,20	25	1,49	5,0
Ba	0,12	0,21	0,46	300	0,010	100
Cd	1,50	0,11	0,02	5	0,063	1,0
Cr	0,32	0,02	<0,02	70	0,019	5,0
Cu	1700	126	230	100	69,2	100
Hg	<0,01	<0,01	<0,01	2	<0,002	0,2
Mo	<0,03	<0,03	<0,03	30	<0,003	350
Ni	7,3	0,5	0,07	40	0,297	20
Pb	<0,09	<0,09	<0,09	50	<0,009	5,0
Sb	<0,06	<0,06	<0,06	5	<0,022	15
Se	0,45	<0,88	<0,88	7	<0,038	1,0
Zn	3280	226	3,7	200	14,1	250

6.3.3.4. Излуживање из солидификованих и стабилованих матрикса

У случајевима када је отпад солидификован и стабилован, спонтано или додавањем различитих адитива (креч, цемент, асфалт, зеолит...) за процену дугорочног излуживања метала из формираних матрикса користи се АНС 16.1 тест излуживања. Тест се изводи на собној температури са дејонизованом водом као раствором за излуживање, при чему је однос течност/чврсто 5:1. Тест се ради под статичким условима у дејонизованој води, а из ње се узимају узорци (25 ml) после 1 h, 8 h, 24 h, 72 h, 7 дана, 14 дана, 21 дана, итд. Узети узорци излуженог садржаја се, након филтрирања на мембранском филтеру (0,45 μm), анализирају.

Литература

- [1] Аксентијевић С, (2015), Методе анализе загађујућих материја, Уџбеник, Висока пословно техничка школа струковних студија, Ужице
- [2] Generalić, Е, (2017), "Volumetrijske metode analize." EniG. Periodni sustav elemenata. KTF-Split, http://www.periodni.com/enig/volumetrijske_metode_analize.html
- [3] Aubert J.E., Husson B., Vaquier A., (2004), Use of municipal solid waste incineration fly ash in concrete, *Cement and Concrete Research* 34, pp. 957 – 963
- [4] Hui-Sheng S, Li-Li K, (2009), Leaching behavior of heavy metals from municipal solid wastes incineration (MSWI) fly ash used in concrete, *Journal of Hazardous Materials* 164 pp. 750–754
- [5] Кнежевић Д, Вучинић Д, Чаки Л, Тепавац Б., (2013), Елаборат о испитивању флотацијске јаловине рудника олова и цинка "Шупља стијена", Шуле, Црна гора, ради добијања подлога за израду техничког пројекта депоновања флотацијске јаловине, Рударско-геолошки факултет
- [6] Stanojlović RD., Štirbanović ZM, Sokolović JM, (2012), Novi tehnološki postupak za održivu preradu rudarskog tehnogenog otpada, *Рударски радови*, 1/2012, стр. 61-74
- [7] Rudnik E, Burzyn´ska L, Gumowska W, (2009), Hydrometallurgical recovery of copper and cobalt from reduction-roasted copper converter slag, *Minerals Engineering* 22, pp. 88–95
- [8] Yang J, Wang S, Lu Z, Yang J, Lou S, (2009), Converter slag–coal cinder columns for the removal of phosphorous and other pollutants, *Journal of Hazardous Materials*, Volume 168, Issue 1, Pages 331–337
- [9] Collivignarelli C, Sorlini S, (2002), Reuse of municipal solid wastes incineration fly ashes in concrete mixtures, *Waste Management* Volume 22, Issue 8, pp. 909–912
- [10] Кнежевић Д, Торбица С., Рајковић З., Недић М., (2014), Одлагање индустријског отпада, Рударско-геолошки факултет, Београд
- [11] Кнежевић Д, Дражовић Д, Милосављевић М., (1994), Инкрустација цевовода при хидрауличком транспорту пепела, *Процесна техника* бр. 3-4, Београд, стр. 15-18
- [12] Kolencsik-Tóth A, Gonda N, Fekete Z, Tóth M, Székely I, Zákányi B, Mócz F, Kovács B, (2014), Physical and chemical characterization of red mud in terms of its environmental effects *University of Miskolc, Geosciences and Engineering*, Vol. 3, No. 5 pp. 129–137.
- [13] Walker CH, Sibly RM, Hopkin SP, Peakall DB, (2012), *Principles of ecotoxicology*, 4th ed., CRC Press, Taylor-Francis Group, Boca Raton, London, New York
- [14] The International Network for Acid Prevention, (2009), *Global Acid Rock Drainage Guide (GARD Guide)*, <http://www.gardguide.com/>
- [15] Wahlström M, Laine-Ylijoki J, Kaartinen T, Hjelm O, Bendz D, (2009), Acid neutralization capacity of waste – specification of requirement stated in landfill regulations, *TemaNord* 2009:580, Copenhagen

- [16] Ђирић И., (2016), Хемија органских једињења (е – издање), Висока технолошка школа струковних студија, Шабац
- [17] Гавранчић С., Скала Д., (2000), Полихлоровани бифенили – особине, примена и технологија разградње, Хемијска индустрија 54 (2), стр 53-63
- [18] Marinković N, Pašalić D, Ferenčak G, Gršković B, Stavljenić Rukavina A, (2010), Dioxins and human toxicity, Arh Hig Rada Toksikol, 61:445-453
- [19] Čolović MB, Krstić DZ, Vasić VM, Bondžić AM, Ušćumlić GS, Petrović SD, (2013), Organofosfatni insekticidi: toksični efekti i bioanalitički testovi za evaluaciju toksičnosti tokom procesa degradacije, Hem. Ind. 67 (2) 217–230
- [20] Konstantinović B, Konstantinović B, (2014), Herbicidi u zaštiti ratarsko – povrtarskih useva, Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad
- [21] Papić S, (2015), Deterdženti, Interna skripta, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb
- [22] Rosengrant L, Lopez L, (1991), Treatment technology background document, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste, Washington,
- [23] Димитријевић МД, Антонијевић ММ, Димитријевић ВЉ, (2002), Оксидација пирита – последице и значај, Хемијска индустрија, вол. 56, бр. 7-8, стр. 299-316
- [24] Dold B, (2010), Basic Concepts in Environmental Geochemistry of Sulfidic Mine-Waste Management, Waste Management, Er Sunil Kumar (Ed.), InTech, <http://www.intechopen.com/books/waste-management/basic-concepts-in-environmental-geochemistry-of-sulfidic-mine-waste-management>
- [25] Azcue MJ, (1999), Environmental Impacts of Mining Activities, Springer
- [26] Anon, (1998), Design guide for the subaqueous disposal of reactive tailings in constructed impoundments, MEND Project 2.11.9
- [27] Далмација М., (2010), Процена потенцијала ремедијације седимента контаминираног металима применом имобилизационих агенаса, докторска дисертација, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет
- [28] <https://www.epa.gov/hw-sw846>
- [29] Hutter J.W., (2012), Leaching and EU Landfill Directive, http://www.intersol.fr/pdf2012/Jaap-Willem_Hutter_Alcontrol_Laboratory_Intersol_2012.pdf
- [30] Правилник о категоријама, испитивању и класификацији отпада, Сл. Гласник, 56/2010
- [31] Knežević D, Lilić N, Nišić D, Stanić M, Kuzmanović V., (2015), "Using previously polluted sites for waste storage, Prahovo phosphogypsum storage case study", 5th Inter. Symp. Mining and environmental protection, Vrdnik, 2015, pp. 356-365

7. МИНЕРАЛОШКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ОТПАДА



У овом поглављу обрађени су основни појмови везани за минералошке карактеристике отпада. Дат је преглед метода испитивања које се уобичајено користе при минералошкој карактеризацији. Пошто је минералошка карактеризација најчешће везана за додатно искоришћавање минералних сировина или поновну прераду рударског отпада посебно су приказане минералошке трансформације корисних компонента унутар флотацijske јаловине.

Одређивање минералошких карактеристика неког отпада углавном је везано за процесе додатног искоришћавања отпада (поновна прерада) и за утврђивање услова за депоновање отпада. Минералошке анализе, по правилу, прате активности око индустријског отпада минералног порекла.

7.1. Микроскопска испитивања

Највећи део индустријског отпада чине отпади минералног порекла (рударски отпад: откривка, јаловина, пепео, шљака, гипс одсумпоравања димних гасова, фосфогипс, металуршка шљака, црвени муљ и др. Упознавање са квалитативним особинама оваквих материјала, поред хемијског састава, подразумева, на првом месту, одређивање квалитативног и квантитативног минералног састава са свим карактеристикама детерминисаних минерала, структурним карактеристикама, те могућностима ослобађања "заробљених" корисних минерала у датом отпаду. При овим испитивањима користе се различите технике и уређаји за микроскопска испитивања. Зависно од потребне тачности, учесталости анализирања, цене анализа, осетљивости анализе и других захтева, користе се:

- бинокуларна лупа,
- оптички рудни поларизациони микроскоп,
- петрографски микроскоп,
- скенирајући електронски микроскоп (SEM).

Минералишка испитивања се при анализирању допуњују рендгенском дифракционом анализом (XRD), електронском микро сондом (EPMA), диференцијално термијском анализом (DTA), термогравиметријском анализом (TGA) и многим другим.

7.1.1. Минерални састав отпада, као потенцијалне техногене сировине

У основи, под минералним саставом се подразумева одређивање свих минералних врста садржаних у отпаду- корисних, штетних и минерала јаловине. За одређивање квалитативног и квантитативног минералног састава отпада, јаловине - техногене минералне сировине, користи се термин модални минерални састав односно модална минералoшка анализа.

За одређивање минералног састава прикупљају се узорци материјала, који треба да обухвате сву разноликост у погледу структурно - текстурних карактеристика, асоцијације минерала, степена порозности, испуцалости, здробљености, оксидације итд. Од издвојених узорака израђују се рудни и петрографски препарати за испитивање минерала у одбијеној и пропуштеној светлости, односно, за одређивање минералног састава. У случајевима када не могу да се дијагностицирају минерали помоћу микроскопа, примењују се рендгенска дифракциона анализа, спектрална анализа, DTA, TGA, SEM, TEM и друге анализе.

7.1.2. Узорци за минералoшке анализе

Узорци прикупљени са неке депоније отпада треба да буду репрезентативни (са технолошког аспекта или у статистичком смислу) за масу са које су узети. Један од великих недостатака репрезентативних средњих узорака отпадног материјала, је тај да су ови узорци најчешће уситњени (у процесу прераде), чиме су претрпели извесне промене и не могу пружити читав низ информација (структурно-текстурне карактеристике, међусобни односи минерала, генетске односе, измене минерала) јер су оне трајно изгубљене.

У зависности од потреба најчешће се примењују систематско (мрежно) узорковање (ако се планира поновна прерада отпада) и експертско (ако се прибављају подаци битни за дефинисање технологије одлагања отпада). Сам процес узимања узорака, њиховог паковања, чувања и транспорта идентичан је процесу који се примењује на другим чврстим материјалима и за друге анализе.

Уколико постепено и систематско изучавање депонованог отпада није, из неког разлога, могуће спровести, испитивања минералошких узорака се изводе на "парче", по фазама како у времену тако и у простору. Тако једно потпуно разумевање проблема неће сигурно изостати. Овакве ситуације се могу до извесне мере поправити коришћењем различитих извора информација. Прикупљање информација ће укључити, како публиковане радове, тако и непубликоване, у поседу предузећа и државних истраживачких организација (фонд стручне документације).

7.1.3. Методе испитивања и опрема

Посматрање слободним оком је најједноставнији начин за испитивање материјала на терену. Овај начин испитивања може бити врло користан јер омогућује да се способност запажања (посматрања), научни приступ и логично закључивање у потпуности искористи и развије. Многе важне карактеристике могу бити забележене већ у почетним фазама испитивања.

Ове карактеристике обухватају расподелу минерала, степен оксидације или неког другог обележја алтерације као последице супергенних геолошких процеса. Природно је да се неке карактеристике већих размера могу запазити и изучити једино ако се проучавају на узорцима на терену. На пример: мало је вероватно да ће се структура моћи изучавати на млевеном узорку са крупноћом зрна испод 2 mm. Макроскопски изучене карактеристике су далеко важније за материјале чији је крајњи производ релативно крупнокомадаст материјал.

Коришћењем једноставних оптичких прибора, као што је **лупа** (увећања 8 до 10 пута), знатно се може повећати количина информација која се може добити на терену, а све у зависности од крупноће зрна присутних минерала.

Стереобинокуларни микроскоп је вероватно један од најкориснијих и најједноставнијих инструмената и представља врло важан део прибора лабораторија. Дobar стереобинокуларни микроскоп, са степеном повећања 5 до 50 пута у ствари премашује онај део испитивања која се изводе на крупнокомадастим узорцима слободним оком или лупом и сложених испитивања која се изводе помоћу бољих рудних микроскопа (слика 7.1). Добро обучени истраживач на подешеном квалитетном стереобинокуларном микроскопу може доћи до низа врло детаљних података: идентификација присутних минерала, структурни односи, величина зрна, облик зрна, а посебно о површинским карактеристикама минерала, као што су замаглања, оксидација, пресвлачење и друге.

Коришћење стереобинокуларних микроскопа треба да буде што чешће и на сваком месту, стога корисници - истраживачи треба да буду добро обучени како би се добили оптимални резултати. Уз добар илуминатор треба користити одговарајући прибор као што је челична игла, пинцета, предметно и сахатно стакло, ручни магнет, алкохол и одређене имерзије и керамичка плочица.

Идентификација минерала помоћу стереобинокуларног микроскопа није само ограничена на њихове оптичке карактеристике (као што је случај са оптичким микроскопима) већ се могу допуњавати и другим тестовима. Предности испитивања стереобинокуларним микроскопом су да се могу анализирати зрна и честице широког распона крупноће, од величине зрна издробљеног материјала и производа млевења до честице прашине код ударног бушења и сасвим финих честица (до 20 μm). Узорци се могу посматрати тродимензионално, а детаљи њихових физичких карактеристика и међусобних односа фаза у њима могу се видети. Тестови на тврдину, магнетске особине, боју огреба, цепљивост и густину могу се извести, уколико је неопходно за свако појединачно издвојено зрно. Такође, зрна непознатих минерала могу бити ручно издвајана уз помоћ микроскопа, због њихове велике "радне дистанце" испод самог објектива, за даља тестирања као што су хемијска анализа, ренгенска дифракциона анализа, микросонда, скенинг електронску микроскопију или за нека друга.



Слика 7.1. Савремене зум стерео бинокуларне лупе са илуминатором, дигиталном камером и СМО (Common Main Objektiv)

Свакодневна идентификација појединачних минерала се већином заснива на искуству. У случају идентификације минерала непознатих узорака неопходно је извести већину "класичних" техника идентификације минерала, описаних у многим уџбеницима, користећи зрна крупноће испод 100 μm , или чак ситнија. Коришћење само стереобинокуларног микроскопа код идентификације тешко препознатљивих минерала, непровидних оксида и ретких сулфида, није довољно. Једна од великих предности оваквих испитивања је да није неопходна посебна припрема узорака, на супрот сложенијим испитивањима поларизационим микроскопом.

Поларизационим микроскопом (слика 7.2) се врше испитивања у пропуштеној и одбијеној светлости и много је комплексније и захтева виши ниво знања и праксе. Технике су много ограниченије и зависе од квалификованости истраживача и то не само за задата актуелна испитивања и истраживања већ и за припрему материјала који ће бити испитиван. Сама припрема материјала захтева одређене квалификације, одговарајућу опрему, лабораторијски простор као и обучене техничаре.

Петрографски поларизациони микроскопи користе пропуштenu светлост за идентификацију и изучавање **прозирних минерала** где су већином укључени минерали јаловине, економски интересантне неметаличне минералне сировине и већина минерала из пескова јаловине.

Најједноставнији начин коришћења овог микроскопа је када се зрна провидних минерала поставе на предметно стакло, при чему припрема узорка подразумева само коришћење одговарајућег медијум (глицерин, органска смола). Међутим, ако је у узорку присутан врло ситан материјал пре постављања на предметно стакло потребно је отпрашивањем или одмуљивањем одстранити најситније честице. Поступак је погодан за материјал чија је крупноћа испод 300 μm . Минерали пескова, минерали шлихова, узорци јаловине, одређене фракције минерала погодне крупноће зрна могу бити испитивани на овај начин.



Слика 7.2. Типови оптичких микроскопа за рад у одбијеној светлости са дигиталном камером

Када је материјал који се испитује веће крупноће од 300 μm пре самог испитивања неопходно је припремити специјалне петрографске препарате - врло танак одсечак (дебљине око 30 μm) испитиваног материјала. Припрема оваквих препарата је сложен поступак који захтева специјалну опрему за сечење као и одговарајуће брушење и полирање.

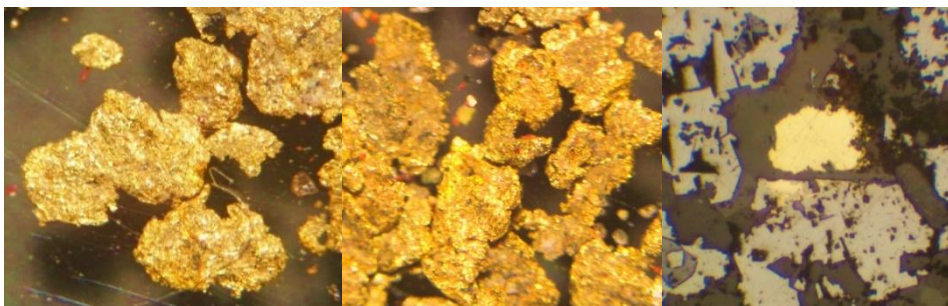
Подаци који се добијају при испитивањима провидних минерала су: квалитативно – квантитативне карактеристике минерала, структурни односи и асоцијација минерала, њихов однос према сулфидним или неким другим непрозирним минералима и друге карактеристике.

Рудни поларизациони микроскопи користе рефлектовану светлост за изучавање и идентификацију **непровидних** металичних **минерала** који обухватају сулфиде, елементе метала и извесне оксиде.

Испитивање непрозирних минерала, посебно сулфида, захтева посебну припрему узорка за испитивање. Узорак непрозирних минерала, свих крупноћа, треба да буде исполирани како би их припремили да рефлектују светлост. Сва зрна у узорку треба пре полирања, прекрити, натопити односно импрегнирати неком органском смолом, при чему су погоднији они поступци који се изводе "на хладно".

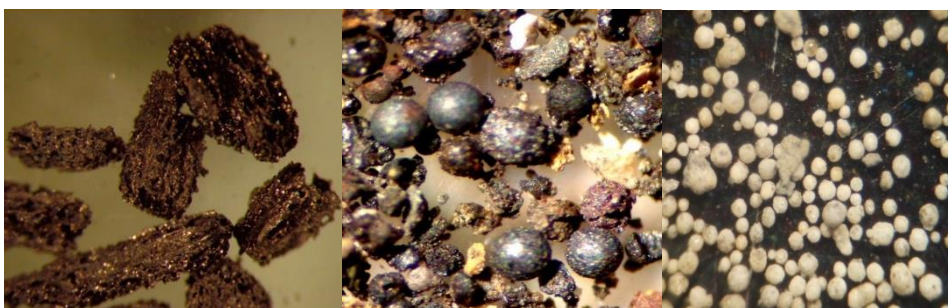
Поступак за припрему брикетираних полираних препарата захтева одговарајуће уређаје и стручност.

Микроскопи који се користе за ова испитивања су специјални инструменти, поларизационог типа који омогућују дијагностицирање оптичких и физичких параметара који треба да буду одређени да би појединачни минерали били идентификовани. Структуре и крупноћа зрна могу бити описани или измерени, а све то може бити документовано микрофотографијама, слика 7.3.



слободна зрна злата

зрна злата срасла у петрогеним минералима



честице несагорелог угља

микросфере магнетита

микросфере из ЕФ пепела



ОДГ гипс

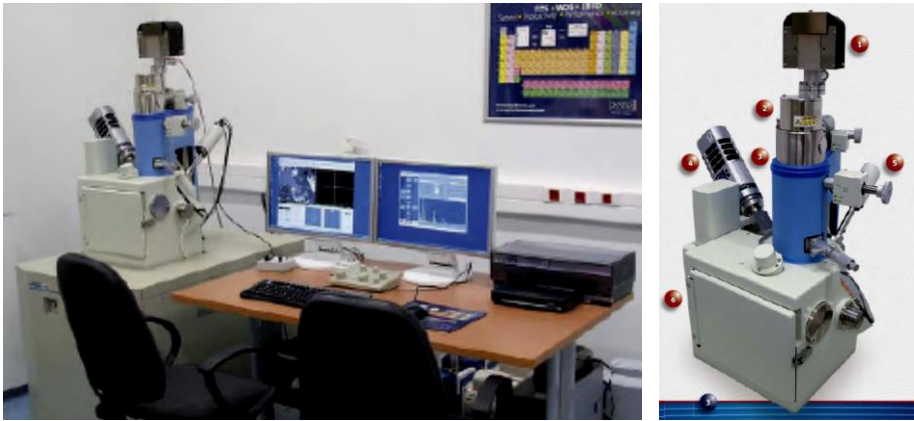
несагорели лигнит – полукок

кристали селенита

Слика 7.3. *Различити морфолошки облици зрна из отпада под бинокуларним микроскопом*

Минералозна испитивања подразумевају

- Идентификација минерала оптичким поларизационим микроскопом
- QEMSCAN анализа, мапирање микросондом или другим техникама СЕМ (техникама скенирајуће електронске микросонде), слика 7.4
- Квантитативна модална анализа, анализа гранулометријског састава, снимање ослобађања минерала, изучавање асоцијације минерала у отпадном материјалу,
- Карактеризација јаловине,
- Минералозна и квантитативна анализа продуката додатног млевења (ослобађање минерала, преуситњавање, стварање муља, оптимална крупноћа честица корисних минерала,
- Петролошка анализа јаловине, степен алтерације,
- Анализа парагенетских асоцијација минерала у јаловини.



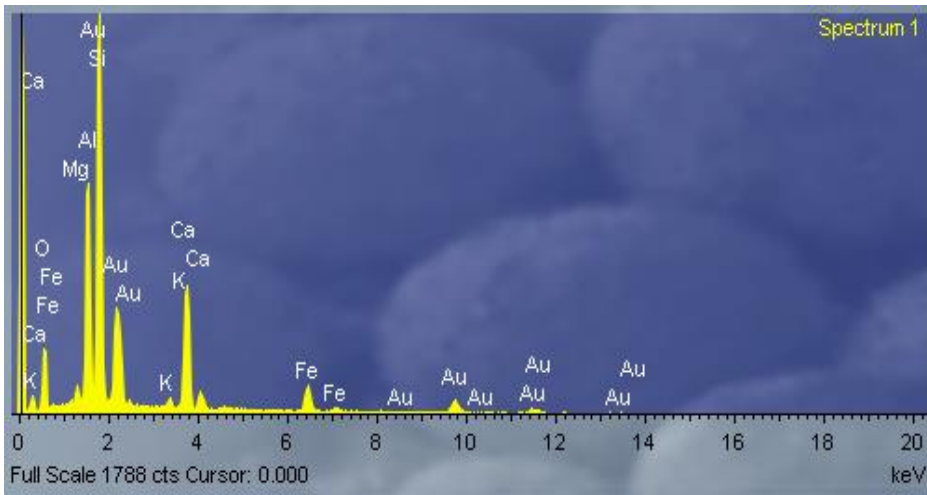
Слика 7.4. Скенирајући електронски микроскоп: јонска пумпа, електронски топ, колона, EDS детектор, CI детектор, комора за узорке

Код извођења минералозна анализе прикупљених узорака одређују се:

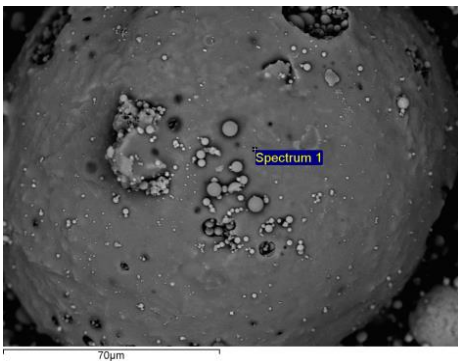
- Врсте рудних и нерудних-петрогених минерала и њихова заступљеност;
- Морфолошке карактеристике економски корисних минерала;
- Текстуrne карактеристике стенског материјала – јаловине и корисних минерала, као и начини међусобних срастања и изгледи за њихово ослобађање и друге карактеристике.

Често се укаже потреба за додатним лабораторијским аналитичким методама, као што су:

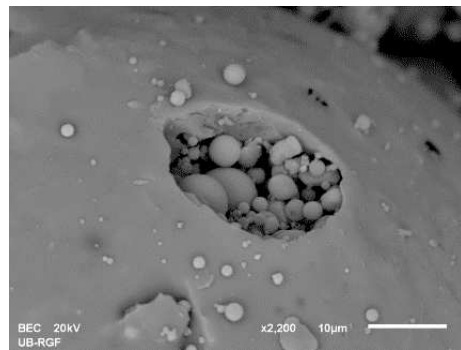
- Делимична или фазна хемијска анализа,
- Неки механички тестови,
- DTA или TGA,
- скенирајућа електронска микроскопија / енергетска дисперзна микроанализа EDX, са EDAX анализом, слика 7.5 - 7.7,
- Рендгенска дифракциона анализа (XRD)/ Рендгенска флуоресцентна анализа (XRF), слике 7.8 и 7.9,



спектар детектованих елемената сондираних у једној тачки

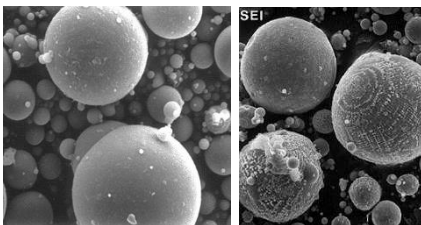


крупна сфера испуњена ситнијим
микросферама – коносфере

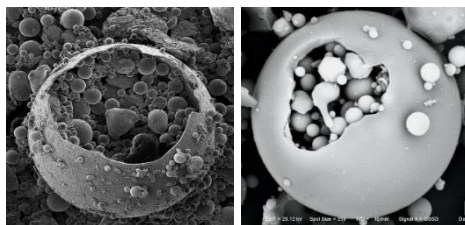


деталј са предходне слике
(горе десно)

Слика 7.5. Силикатне шупље микросфере ЕФП снимљене електронским
микроскопом

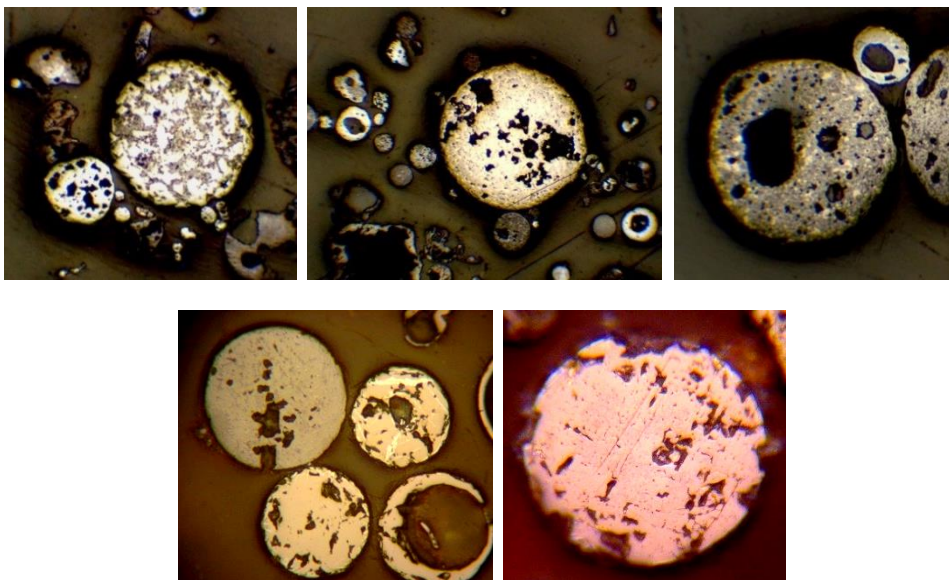


силикатне микросфере

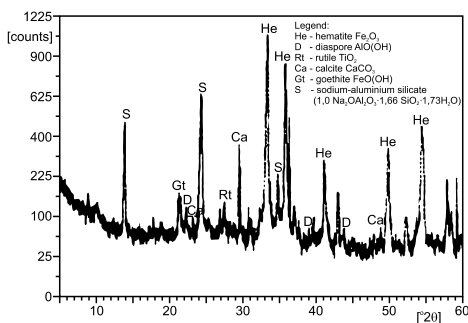


коносфере аморфне силиције

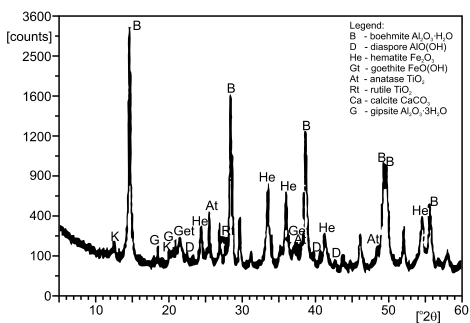
Слика.7.6. Морфолошки облици микросфера (љуски) електрофилтерског пепела



Слика 7.7. Рудно микроскопска испитивања – компактних металничких феросфера магнетичне фракције ЕФП насталих код сагоревања лигнита



Слика 7.8. Рендгенска дифракциона анализа праха узорка црвеног муља из Босанске Крупе, БиХ



Слика 7.9. Рендгенска дифракциона анализа праха узорка боксита из Босанске Крупе, БиХ, који се прерађује Бајеровим процесом

Комплетна минералозна анализа обухвата:

- Припрема полираних брикетираних рудних препарата, припрема петрографских препарата за анализу у пропуштеној светлости,
- Идентификација рудних, петрографских хипогених и хипергених минерала, форме зрна и учесталост појављивања,
- Снимање степена ослобођености (степен сраслости) корисних минерала по класама крупноће, по издвојеним фракцијама (ΔТ, ΔЛ; МФ, НМФ, итд), учесталост појављивања појединих типова срастања (би-, три-, полиминералних срастања),

- Квантитативна модална анализа (анализа заступљености минерала у узорцима, расподела елемената по минералима),
- Структурно-текстурне карактеристике, крупноће зрна агрегата кристала, сложеност прорастања,
- Микро и макро фотографија форми минералних зрна, крупноће, срстања, изоморфних замењивања, и др.

Савремени поступци минералoшких истраживања сировине и минерала обухватају још и: одређивање рефлексације минерала, рН вредност суспензије, анализу гранулометријског састава, растворљивост, одређивање термоелектричних особина, одређивање диелектричних и електростатичких особина минерала и др.

Основни минералoшки подаци неопходни за успешно вођење процеса или лабораторијска испитивања приказани су у табели 7.1, а подаци који се могу добити у табели 7.2.

Табела 7.1. Минералoшки подаци неопходни при изучавању отпада

Минералoшке карактеристике	Поступци добијања
Дијагностика минерала	Шема дијагностификовања минерала; комплетна хемијска анализа; рендгенска дифракциона анализа, DTA, TGA, SEM
Састав минерала	Анализа електронским микроскопом или детаљна хемијска анализа мономинералних фракција
Заступљеност и однос минерала	Издвајање минерала по фракцији; микрометарска мерења: тачкаста, линијска, површинска
Расподела елемената	Рационална анализа
Крупноћа зрна минерала	Ослобађање минерала или агрегата кристала хемијским растварањем (лужењем), праћено анализом гранулометријског састава; анализатором слике
Особине минерала	Експериментално, индивидуално за сваку сировину
Структурне карактеристике	Анализа слика (стереобинокуларни микроскоп, рудни микроскоп, електронски, конфокални итд.)
Гранулометријски састав	Просејавањем, седиментацијом, елутријацијом
Форме и облици зрна	Анализа слика
Састав минералних зрна	Лабораторијска испитивања могућности издвајања појединих зрна или анализа слика
Структуре минералних зрна	Анализа слика

На основу побројаних изучавања и добијених података може се размотрити могућност евентуалне поновне прераде материјала старог јаловишта, депоније пепела, одложене сиромашне руде, као и предложити најбољи поступак његовог збрињавања. Промене састава јаловишта, које се могу очекивати у појединим његовим зонама (зона оксидације, зона цементације, зони излуживања) или промене састава са дубином које могу утицати на поступке уситњавања како експлоатација буде напредовала.

Табела 7.2. Подаци који се могу добити минералошким и пратећим анализама отпада који се разматра као техногена сировина

Карактеристике	Резултати
1. Квалитативни минералошки састав	корисни рудни минерали, корисни неметалични (силикатни) минерали, непожељни и штетни рудни минерали, минерали дефинитивни јаловине.
2. Особине минерала и сировине	густина, растворљивост, радиоактивност, магнетске особине, особине уситњавања (цепљивост, ближњење, корозивне особине или алтерација, као што је серицитизација, пропицитизација, заглињеност, оксидација минерала), стадијуми оксидације, присуство непожељних минерала (носиоци P, S, As у рудама гвожђа, Вi у рудама олова итд.), хемијски састав минерала, посебно изоморфизам (минерали у чврстим растворима, Fe у марматиту, Ag у тетраедриту)
3. Структурно-текстурне карактеристике или геометријска карактеризација материјала и минерала	металичних рудних минерала, неметаличних рудних минерала, нерудних минерала, минерала јаловине, са посебним освртом на типове срастања (укључујући ту и податке као што су оксидација, пресвлачење, прожимање) порозност и др.
4. Квантитативни минералошки подаци	садржај металичних рудних минерала, садржај неметаличних рудних минерала, садржај нерудних минерала, садржај минерала јаловине уз квантитативне и квалитативне податке као и структурно-текстурне, односно геометријске карактеристике имамо и следеће, релативна крупноћа зрна (агрегата кристала) и крупноћа зрна уситњене сировине, степен ослобођености, просечни удео минерала у сраслим зрнима-сраслацима, садржај метала у сировини, хемијска анализа узорака (производа концентрације-концентрат, међупроизвод, јаловина па и улазна руда) добијени или израчунати на основу података микроскопских испитивања.

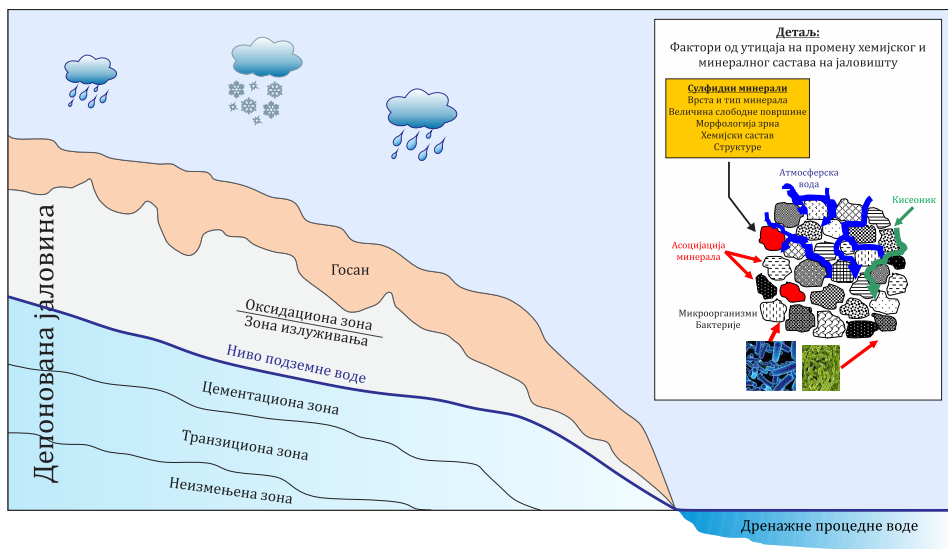
7.2. Процеси који мењају минералошки састав и структуру депоноване јаловине

Супергена оксидација и редукција су два неразднојна процеса. Наиме, без интензивне оксидације минерала не би било раствора из кога ће касније, преципитацијом, настати нови минерали у зонама секундарног обогаћивања. Процеси се одвијају у три фазе:

- 1) Оксидација и растварање у зони оксидације
- 2) Одлагање у зони оксидације
- 3) Одлагање супергенних сулфидних минерала

На попречном профилу једне депоније флотацијске јаловине из концентрације бакра, јасно се могу издвојити три зоне. Оксидациона зона, где је оксидација и излуживање метала најинтензивније, атмосферском водом и кисеоником из ваздуха, протичући дуж пукотина и интергрануларних простора при том износећи метал

(Cu) до границе – нивоа подземних вода. Ниво издани је истовремено и граница где почиње редукциона зона. Непосредно пре следеће зоне налази се на минерализацију куприта, тенорита, некада хризоколе и др. У следећој зони секундарног обогаћивања сулфидних минерала, депонује се читав низ секундарних сулфида. У овој зони супергенних минерала долази до минерализације поред примарних сулфида и са халкозином, ковелином, те низ других секундарних сулфида (интензивна хлоритизација, серицитизација). Ова зона је често и најбогатији део у погледу садржаја метала. Испод ове зоне је хипогена или примарна минерализација Ту се налази заостали халкопирит, пирит, борнит, сфалерит и др. Ове зоне прекрива такозвани госан, црвени прашкасти матријал кога чине хидроксиди гвожђа – лимонити, гетит, хематит и др., слика 7.10.



Слика 7.10. Пресек кроз флотациско јаловиште, јаловина из процеса концентрације сулфидних минерала

Када је на старом јаловишту изражено развијена зона оксидације, може се очекивати да ће се у њој значајније концентрисати секундарни минерали. У зони супергенног обогаћивања, у простору испод нивоа подземних вода, може се концентрисати богата минерализација, обично мале моћности, али са интересантним корисним минералима.

Најчешћи минерали који се могу наћи у оксидационој и зони секундарног обогаћивања супергенних минерала дати су у табели 7.3.

Поред сулфидних минерала, склони оксидацији, постоји и читав низ петрогенних минерала (минерали јаловине), склони распадању, односно алтерацији. Релативна стабилност минерала при њиховом распадању дата је у табели 7.4.

Табела 7.3. Минерали који се најчешће налазе у појединим зонама обогаћивања

Минерал	Зона	
	Оксидациона	Супергеног обогаћивања
Бакар	малахит, азурите, хризокола	халкозин, борнит
Гвожђе	гетит, хематит	
Олово	англезит, церузит	супергени галенит
Цинк	смитсонит	супергени сфалерит, вурцит
Манган	пиролузит, романешит, родохрозит	
Никл	гарнијерит	
Сребро	елементарно сребро, хлораргирит	акантит, елементарно сребро

Табела 7.4. Релативна стабилност најчешћих минерала при њиховом распадању

Минерали	Стабилност	Брзина распадања, оксидације
Оксиди гвожђа (хематит)		
Алуминијум хидроксида (гипсит)		
Кварц		
Минерали глина		
Лискуни – мусковит		
Натријски фелдспати		
Биотит		
Албит (натријски фелдспат)		
Амфиболи		
Пироксени		
Анортит (калцијски фелдспати)		
Оливин		
Калцит		
Халит		

7.2.1. Хемијске промене

У зони оксидације постоје две основне промене:

- прва, оксидација, растварање и одношење корисних компоненти (елементи, јони)
- друга, трансформација, *in situ*, металичних минерала у компоненте оксидације.

Јаловине сулфидних руда, након извршене концентрације, готово увек садрже минерал пирит, који је под утицајем атмосферилија, склон оксидацији, односно распадању. Тако пирит под утицајем кисеоника из ваздуха и воде, прелази у феросулфат даљом оксидацијом прелази у ферисулфат који хидролизом прелази у ферихидроксида и сумпорну киселину (видите поглавље 6). Ферисулфат је иначе јако оксидациони агенс те ће као такав реаговати са остатком пирита или са

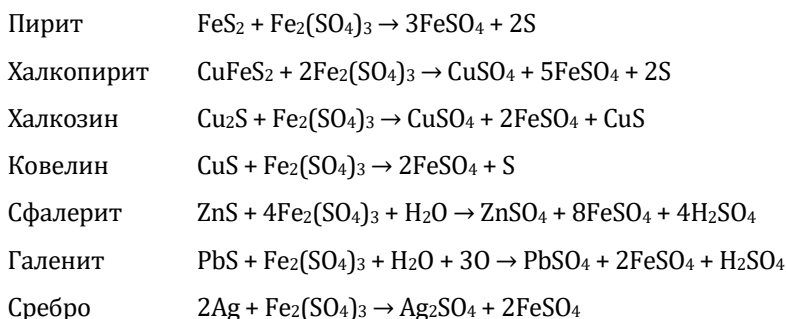
осталим заосталим сулфидима у концентрациској јаловини. На тај начин се и даље ствара феросулфат.

Једном настали ферихидроксид, временом ће се трансформисати и таложити као хематит, гетит и минерали из групе лимонита, стварајући тако позната обележја свих зона оксидације сулфидних минерала – "гвоздене шешире", лимонитске капе (госан), слика 7.11.



Слика 7.11. Илустрација оксидације на флотацијском јаловишту прерађене порфирске руде бакра

Улога коју има ферисулфат у процесу распадања осталих заосталих сулфида може се упрошћено приказати кроз следећи низ хемијских реакција:



7.2.2. Асоцијације петрогених минерала на флотацијским јаловиштима

На депонијама концентрацијске јаловине налазимо највећи део масе – сликатне минерале матичних стена које су носиле орудњење, и један много мањи масени удео металних минерала заосталих (као губици). Примарни минерали силикатних стена (јаловине), издробљене и самлевене сировине, након процеса концентрације у одговарајућим физичко–хемијским условима постају нестабилни у плићим деловима депонија и на самој површини.

Минерални састав старих депонија концентрацијских јаловина (антропогене коре распадања), према типу матичних стена сировине која се прерађује, дат је у табели 7.5.

Табела 7.5. Карактеристични петрогени минерали у рудничкој јаловини, током њеног распадања

Стене	Зона полураспаднутих матичних стена (дезинтеграција)	Зона хидратације и хидролизе	Зона заосталих продуката оксидације
Базичне	Серпентин, талк, хлорит, вермикулит, керолит, сепиолит, палигорскит, нонтронит, калцедон, опал, калцит, арагонит, доломит, магнезит, хидромагнезит, редвинскит	Нонтронит, ферибејделит, феромонтморијонит, каолинит, хидроксиди гвожђа, хидроксиди мангана, калцедон, опал, халојзит, алофан, керолит	Лимонит, гетит, хидрохематит, псиломен, пиролузит, калцедон, опал
Киселе	Хидролискун, хидрохлорити, калцит, арагонит, магнезит, хидромагнезит, доломит, анкерит, сидерит, гипс	Каолинит, монтморијонит, бејделит, нонтронит, халојзит, алофан	Лимонит, гетит, хидрохематит, псиломен, пиролузит, дијаспор, бемит, џипсит

Под утицајем и деловањем разноврсних агенаса распадања, као и других фактора, сви примарни минерали се распадају, а на њихов рачун образују нови – хипогени (супергени) минерали који су стабилни у новонасталим условима.

Главни агенси, чијим се деловањем условљава и усмерава распадање и поспешује стварање нових минерала – су следећи: вода, угљена и друге киселине, живи организми (растиње, бактерије), температура, притисак, а такође и такве физичко – хемијске карактеристике природних раствора – као што су концентрација хемијских компоненти у растворима, рН, Е_h.

Од геолошко – географских фактора који су значајни за процес распадања, најбитнији су: клима, рељеф, хидрогеолошки услови, примарни минерални састав и физичко – механичке карактеристике основних, тј. матичних стена.

Техногени масиви, халде, депоније – концентрацијске или рудничке јаловине, одложене сиромашне руде, ванбилансне резерве, могу се посматрати и поредити са геолошким корама распадања, у којима су просторно смештена економски

важна лежишта: глина (каолинит и др.), боксита, руда гвожђа (са садржајима никла, кобалта и хрома), силикатно – никлових руда, магнезита.

Минерални састав јаловишта силикатних стена, релативно је прост. У њима преовлађују алумосиликати и силикати (алуминијума, гвожђа, магнезијума и никла) – слојевите структуре; оксиди и хидроксиди (SiO_2 , алуминијума, гвожђа и мангана); карбонати калцијума и магнезијума. Минерални састав углавном зависи од матичних стена које су носиле минерализацију и климатских услова, табела 7.6 [Томанец, Вакањац, 2015].

У оквиру састава минералних агрегата, издвајају се две генетске групе минерала:

- хипогени (новостворени) или супергени, и
- реликтни (остац) стабилних минерала из примарних стена.

Табела 7.6. Општи минерални састав кора распадања

Матичне стене на којима се формирају коре распадања	Новостворени минерали	
	Главни минерали	Споредни минерали
Ултрабазичне	кварц, калцедон, опал, хидроксиди гвожђа, калцит, арагонит, доломит, магнезит, керолит, гарнијерит, нонтронит	Хидроксиди мангана, брусит, артинит, хидроталкит, гипс, сепиолит, талк, палигорскит, цеферизит, хидрохлорит, вермикулит, хидролискуни, каолинит, халојзит, монтморилонит, бејделит, хризопраз, асболан
Базалти	монтморилонит, нонтронит, халојзит, хидроксиди гвожђа, кварц, калцедон, опал, калцит, хлорит, палигорскит	Хидроксиди мангана, цеферизит
Гранити	хидролискуни, каолинит, хидроксиди гвожђа, ципсит	Халојзит, гетит, опал, пирит, маркасит, сидерит, хематит, магнетит, бемит
Диорити	каолинит, хидроксиди гвожђа, хидролискуни, хидрохлорит	Хидроксиди мангана, кварц, нонтронит
Нефелин сијенит	хидролискуни, монтморилонит, бејделит, хидроксиди гвожђа,	Нонтронит, зеолити, калцедон, ципсит, кварц
Исушене лагуне	Халит, гипс, мирабилит, епсоит	Кизерит, сода, шалитра
Кречњаци и мермери	Калцит, хидроксиди гвожђа, сферосидерит, калцедон	Кварц, псиломен, вад
Гипсоносне стене	Гипс, целестин, барит, сумпор, арагонит, калцит	Палигорскит, хидроборацит, пандермит, колеманит, ашарит
Глиновите и песковито глиновите	Каолинит, глауконит, фосфорит, вивијанит	Маркасит, пирит, јарозит

Поред ових врло су карактеристични минерали – прелазни продукти распадања, који се стварају у оквиру појединих сукцесивних зона (хидролискуни, хидрохлорити).

Хипогени минерали се могу стварати на више начина односно различитим путевима:

- као заостали продукти разлагања – хидратацијом и излуживањем примарних минерала (образују се хидросиликати алуминијума и гвожђа, али само делом, као и хидроксиди гвожђа и силицијума),
- обарањем из раствора (исти претходни минерали, а такође: карбонати, хидроксиди алуминијума и мангана, силикати магнезијума и алуминијума);
- метасоматски – при узајамном деловању површинских раствора са примарним или секундарним минералима.

Учестано су распрострањени минерали финодисперзног развића – коагели (смеше гела разних минерала), а такође и њихови рекристализовани агрегати, са образовањем колоидних и/или метаколоидних микротекстура. Дијагностика ових минерала је изузетно отежана, па је поред примене класичних, неопходна примена најсавременијих метода за њихову идентификацију (рендгенске дифрактометрије, електронске микроскопије, инфрацрвене спектроскопије, електронске микроанализе – микросонде и др.).

7.2.3. Асоцијације минерала у јаловини сулфидних руда

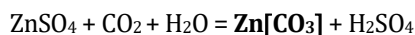
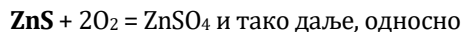
Заостали сулфидни минерали у концентрацијској јаловини сулфидних руда подлежу физичком и хемијском распадању заједно са силикатним минералима матичних стена, а под дејством агенаса – који су исти као код кора распадања силикатних стена. Уз садејство локалних и регионалних фактора при томе се образују зоне оксидације и цементације (секундарног сулфидног обогаћења) - сулфидних руда.

Промене могу бити тако интензивне, да је понекад немогуће утврдити примаран тип орудњења.

Многа стара јаловишта могу данас представљати економски значајне објекте за добијање метала: бакра, сребра, злата, олова, цинка, гвожђа, мангана, молибдена, волфрама, антимона, ванадијума и урана, а такође барита, минералних боја – пигмената и других сировина.

Минерални састав новостворених зона је сложен и разноврстан (нпр. олово и цинк карактеришу неколико десетина примарних минерала, док је у зонама оксидације и цементације познато више стотина хипогених – супергених минерала који садрже ове елементе).

Распадање сфалерита, у циклусу цинка, може се илустровати следећим једнакостима:



Коначно, трансформација сфалерита може да се прикаже низом

$ZnS \rightarrow$	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O \rightarrow$	$ZnSO_4 \rightarrow$	$ZnCO_3 \rightarrow$	$Zn_4(OH)_2(Si_2O_7) \cdot H_2O$
Сфалерит	Госларит	Цинкозит	Смитсонит	Каламин

Уз присуство читавог низа минерала, зависно од услова и средине у којима се процес одвија, налазе се и монгејмит – $(Zn, Fe)CO_3$; каламин – $Zn_4(OH)_2(Si_2O_7) \cdot H_2O$; хидроцинкит – $Zn_5(OH)_6(CO_3)_2$; халкофанит – $ZnMn_3O_7 \cdot 3H_2O$; вилемит – $Zn_2(SiO_4)$, и друге.

Распадање галенита, као и стварање низа других, нових минерала (вулфенит - $PbMoO_4$; пироморфит - $Pb_5Cl(PO_4)_3$; миметезит - $Pb_5Cl(AsO_4)_3$; ванадинит - $Pb_5Cl(VO_4)_3$ и други) може се илустровати низом: сулфид – сулфат – карбонат, односно

$PbS \rightarrow$	$PbSO_4 \rightarrow$	$PbCO_3$
Галенит	Англезит	Церузит



Слика 7.12. Црвенкасто мрка боја воде услед присуства оксида и хидроксида гвожђа

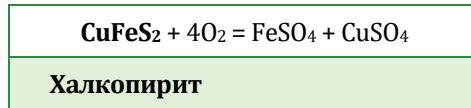
Оксидација пирита, као пратећег минерала олова и цинка, може се уопштено приказати низом

FeS_2	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	$Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O \rightarrow$	$KFe_3(OH)_6(SO_4)_2 \rightarrow$	$2Fe_2O_3 \cdot n H_2O$
Пирит	Мелантерит	Фиброферит	Јарозит	Лимонит

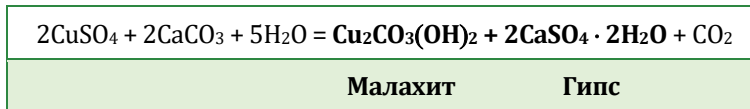
или се распадање пирита у зони оксидације може приказати и на следећи начин:

$FeS_2 \rightarrow$	$FeSO_4 \rightarrow$	$Fe_2(SO_4)_3 \rightarrow$	$Fe(OH)_3 \rightarrow$	$2Fe_2O_3 \cdot n H_2O$
---------------------	----------------------	----------------------------	------------------------	-------------------------

Истовремено на рачун халкопирита, у зони оксидације и цементације, одвија се, такође, читав низ реакција. У најплићим деловима, као и на самом врху оксидационе зоне богате кисеоником, сулфиди бабра прелазе у сулфате, према једнакостима



Лако растворљиви сулфати мигрирају у ниже зоне где се стварају нови минерали:



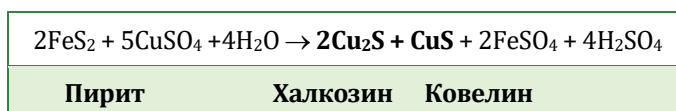
Непосредно испод излужене оксидационе зоне рудни минерали су растворени под дејством сумпорне киселине. Примарни минерали у маси јаловишта су излужени и јони метала се транспортују наниже, где они делом могу бити одложени (преципитацијом) поново као оксиди. Тако настаје поново зона са оксидисаним минералима. Из карбонатне ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$) оксидизирајуће воде могу да се депонују карбонати бабра малахит и азурит.

Према томе, јони бабра из раствореног бакарног сулфата CuSO_4 реагују са карбонатима (околни стенски материјал), који су такође лако растворљиви водом са CO_2 . Тако се из оваквих раствора лако таложе (преципитацијом) малахит $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$ или азурит $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$. Шта више, у овој зони се сад могу јавити минерали куприт, хризокола, па до крајњих чланова као што је елементарни бакар.

Већи део метала у раствору биће преталожен у зону секундарног обогаћивања и то испод нивоа подземних вода. Тако ће минерализација у зони секундарног обогаћивања бити богатија и од зона испод ње.

Редукциона зона обухвата зону секундарног обогаћивања и зону неалтерисане "свеже" јаловине. У коцентрацијској јаловини са заосталим сулфидним минералима, примера ради, пирит (FeS_2) се разлаже на сумпорну киселину и минерале из групе лимонита ($\text{Fe}(\text{OH})_3$). Лимонит као стабилан и нерастворан минерал у води, депонује се и остаје у највишој, горњој зони, површинској зони оксидације. На тај начин се формира све моћнији покривач од насталог лимонита, такозвани гоган.

У реакцијама сулфата са примарним минералима, у зонама цементације, настају секундарни сулфиди.



Према томе, на рачун примарних сулфида, у зонама оксидације и цементације, настаје читав низ нових минерала:

CuFeS_2	→	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	→	Настају:
Халко-пирит		Халкантит		Самородни Cu , секундарни сулфиди бакра, оксиди бакра, карбонати бакра, силикати бакра

Сложени физичко-хемијски услови ових процеса распадања, условљавају образовање многобројних минерала, који нису типични за ендегене процесе. Зато многи супергени минерали представљају моногенетске творевине, типоморфне за појаве зона оксидације и цементације.

Главни и најчешћи су минерали класа: оксида и хидроксида, сулфата и карбоната. Заједно са њима срећу се фосфати, арсенати, ванадати, хромати, молибдати и силикати. За одређене зоне карактеристични су секундарни сулфиди (зона цементације – секундарног сулфидног обогаћења), као и самородни елементи (зона оксидације).

У процесу развоја појединих зона једни минерали се смењују са другима: сулфиди се замењују сулфатима и делом оксидима; сулфати са своје стране карбонатима и силикатима, а ови последњи карбонати и силикати, на крају се замењују најстабилнијим оксидима и хидроксидима гвожђа, мангана, силицијума и алуминијума (слика 7.13).

Зоне распадања карактерише сиромаштво, у количинској заступљености пратећих – нерудних минерала, при чему међу њима преовлађују остаци стабилних примарних минерала рудних жица (кварц, барит и др.). У много мањим количинама срећу се и новостворени минерали: једињења силицијума са алуминијумом и водом, неки карбонати и др.

Минерални састав појединих зона оксидације је различит и зависи, пре свега од састава примарних минерала, тј. од типа рудних жица. Низ супергених минерала може се јавити у свим зонама оксидације (хидрогетит, јарозит, калцит, гипс и самородни сумпор, а такође кварц, калцедон и опал).



Слика 7.13. Процедна вода са јаловишта руде бакра (зелена боја због јона бакра)

Међутим оксидација и разграђивање различитих сулфидних минерала, при деловању разних реагенаса није иста. Стабилност различитих сулфида не зависи само од њихове природе, већ и од њиховог понашања према активним растварачима у растворима који делују на примарне руде. Редослед оксидације сулфида у зависности од растварача приказан је табели 7.7.

Табела 7.7. *Врсте растварача и редослед оксидације неких сулфида у зонама оксидације*

Растварач	Минерали
Вода и кисеоник	Сфалерит, халкозин, пиротин, хаклопирит, пирит, галенит, енаргит, аргентит
Сумпорна киселина	Пиротин, тетраедрит, сфалерит, халкопирит, арсенопирит, маркасит, пирит
Феросулфат	Пиротин, тетраедрит, галенит, арсенопирит, сфалерит, пирит, енаргит, маркасит, халкопирит
Бакар-сулфат, без присуства кисеоника	Галенит, пиротин, сфалерит, хаклопирит, борнит, пирит, ковелин, халкозин

За зону распадања карактеристично је, са минералошког аспекта, веома широко развиће сложених и јако промењивих по саставу продуката, табела 7.8. То је повезано са присутношћу колоидних раствора (сола), који узајамно коагулишу у смеше гела, који могу да апсорбују различите катјоне и анијоне.

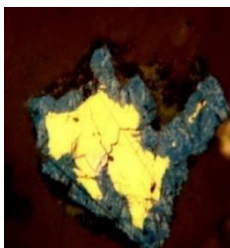
Табела 7.8. *Минерални састав у зонама секундарног сулфидног обогаћивања*

Тип лежишта	Главни минерали	Споредни минерали
Полиметалична	Халкозин, аргентит, Ау, Аг, Сu	Ковелин, маркасит, S, кварц, Вi
Импрегнациона	Халкозин, ковелин, борнит	Сu, хризокола, куприт

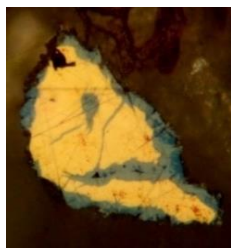
7.2.4. Одређивање структура минерала у отпадима минералног порекла

Формирање минералних агрегата пропраћено је и одређеним односом између појединих минерала (међусобна прорастања, развој индивидуалних минерала, њихове размере и облици, као и распоред у простору). Као збирни израз за продукте свих процеса кристализације и образовања минералних агрегата (у егзогеним условима) користи се термин склоп техногеног материјала (аналогно склопу руде). Склоп је одређен структурама и текстурама.

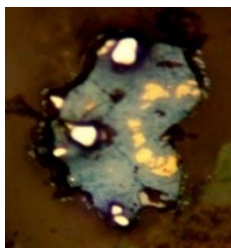
Структура представља грађу појединих минерала у оквиру минералних агрегата и карактеристике њиховог развоја и узајамног прорастања, облика и размера појединих минералних индивидуа. Текстуре су одраз просторне размештености и међусобног односа појединих минералних агрегата који се разликују по облику, размерама, саставу и структури (виде се голим оком на комадима).



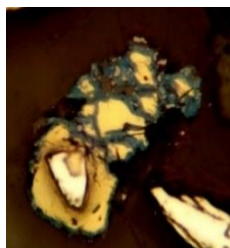
Ободна, корозиона структура ковелина по зрну халкопириту



Потискивање халкопирита халкозином и ковелином, по ободу и дуж микро пукотина



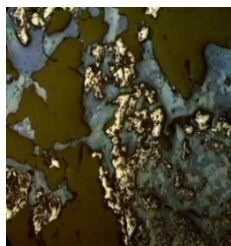
Халкопирит скоро потпуно трансформисан у смешу ковелин-халкозин. Реликтна зрна пирита



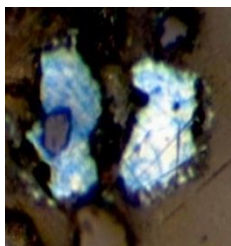
Дуж микро прлина ковелин потискује и замењује халкопирит. Захваћено зрно пирита



У силикатној јаловини међупростори испуњени ковелином



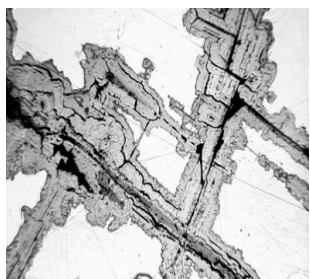
Зона секундарних сулфида. Млађи ковелин са захваћеним реликтним остацима пирита



Почетна фаза оксидације ковелина



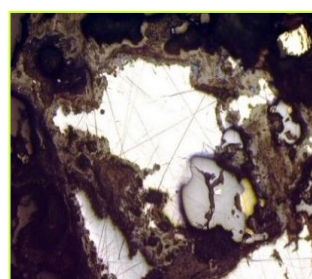
У крупнозрном пириту (као јаловина), међупростори попуњени халкопиритом и зрном марматита



Корозиона текстура. Метасоматско замењивање галенита (бело) церузитом (сиво) и хидроксидама гвожђа, полирани препарат



Оксидација и потискивање галенита англезитом и церузитом. Реликтни остаци пирита



Оксидација и потискивање галенита англезитом и церузитом. Захваћено зрно марматита

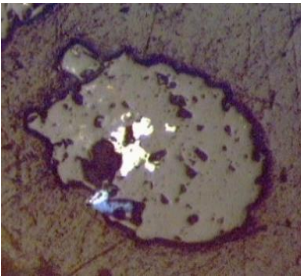
Слика 7.14. Илустрација оксидације заосталих сулфида (не ослобођених сраслих зрна) у одложеној старој јаловини

Према размерама минералних агрегата издвајају се:

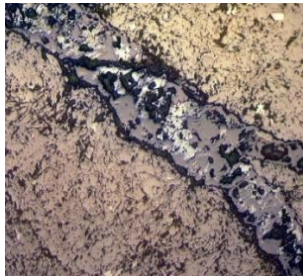
- мегаструктуре које одражавају размештеност минералних агрегата на великим површинама (у домену насипног масива или неких његових појединих делова),
- макротекстуре се запажају у домену комада минерализоване јаловине,
- микроструктуре се односе на размештај ситних минералних агрегата, који се уочава тек при микроскопским испитивањима.

При разјашњавању састава, настанка одређених минерала и технолошких својстава јаловине велика пажња посвећује се проучавању њених структурно-текстурних карактеристика. Проучавање структура и текстура различитих минералних отпада је обавезни део комплексног изучавања депонија рударског отпада.

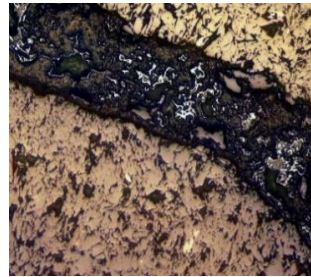
Структуром се назива грађа минералног агрегата која је условљена обликом, величином и карактером срастања минералних зрна (индивидуа) или колоидних честица – материје, који се стварају у једној етапи минерализације. Морфолошка јединица структуре је минерално зрно (индивидуа), поједини одломци зрна (фрагменти), или колоидне честице – материје које изграђују дати агрегат.



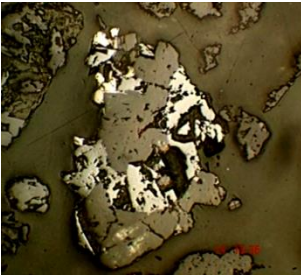
Скоро потпуно потиснут галенит и замењен церузитом



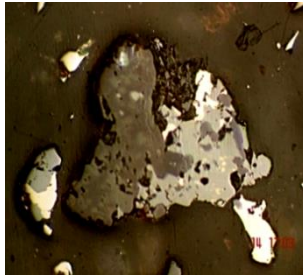
У крупнијем силикатном зрну, жилица бившег галенита (са реликтним остацима ситних кристала) замењен церузитом



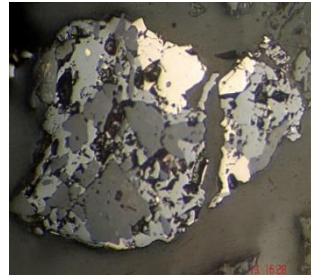
Жилица бившег галенита у потпуности замењена (прво англезитом) церузитом, који је такође излужен. Реликти галенита микронске величине



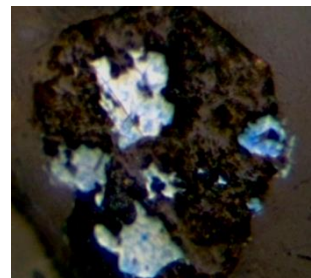
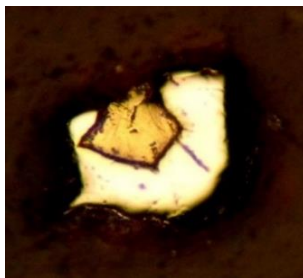
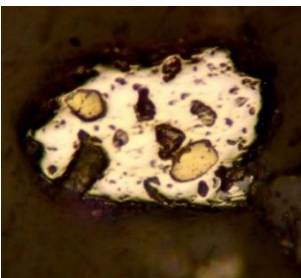
Срасло силикатно зрно са не ослобођеним галенитом и марматитом



Срасло силикатно зрно са не ослобођеним крупнијим марматитом и нешто галенита

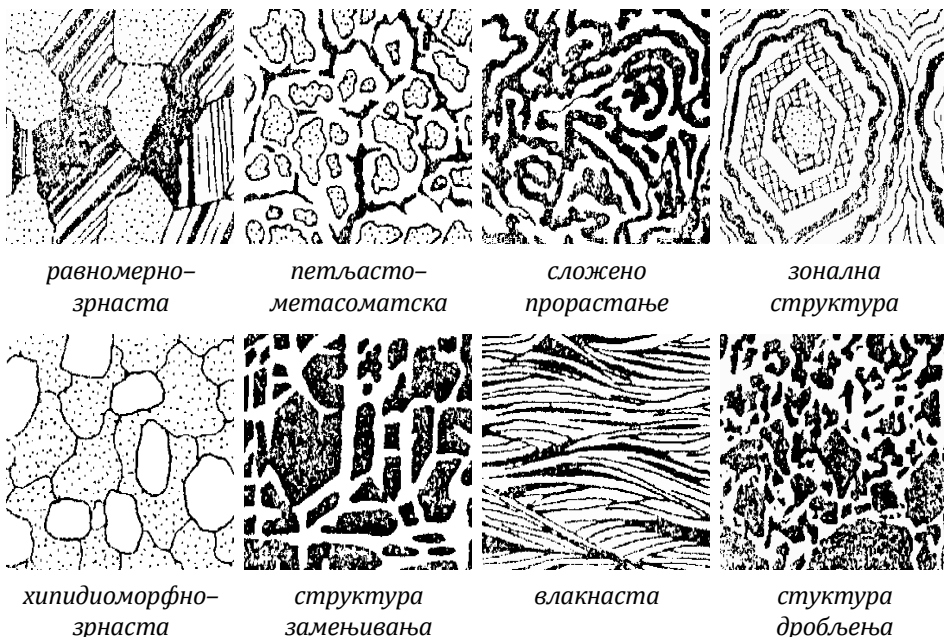


Срасло силикатно зрно са не ослобођеним галенитом и марматитом



Слика 7.15. Микрофотографијама је илустровано неколико сраслих зрна "јаловине", силикатних минерала са заосталим сулфидима

Морфолошке особине кристалног зрна (величина, облик, унутрашња грађа) одређују морфолошки тип структуре (нпр. зрнаста: идиоморфно зрнаста, хипидиоморфно зрнаста, алотриоморфно зрнаста; гелска, метаколоидна, корозиона, бречаста, и др.). Физичко–хемијски услови који владају за време постанка у датој етапи минерализације одређују генетски тип структуре (ендогени у лежиштима или егзогени на депонијама). Неки карактеристични типови структура прорастања минерала приказани су на слици 7.16.



Слика 7.16. Типови појединих структура прорастања минерала

Методe изучавања структура. Структуре крупнозрних агрегата проучавају се макроскопски и микроскопски, а структуре средњезрних и ситнозрних агрегата одређују се само под микроскопом на полираним и прозрним препаратима. Под микроскопом се проучава облик зрна анизотропних непрозирних минерала у поларизованој одбијеној светлости. У пропуштеној светлости проучава се облик прозрних минерала. При проучавању облика зрна у поларизованом одбијеном светлу користи се и метода кородовања. Треба имати у виду да се у неким случајевима код ове методе може добити лажна слика нагризања. Аморфне и кристаласте честице се проучавају помоћу рендгенске структурне-анализе.

У класификацији која је заснована на генетским обележјима минерала у матичним стенама геогених лежишта а могу се применити и на техногене материјале, разликују се следећи склопови руда:

- Структуре примарног ендеогеног депоновања могу бити: зрнасте, кугласте, порфирске, графичке, зонарне, оолитске, бактеријалне.
- Колоидални склоп. Према облику се могу издвојити следећи типови: бубрежасте, коломорфне, кугличасте, концентрично–слојевите, гелске, финодисперзне инфилтрације и дисперзије, зракасто–цртасте и уплетене.

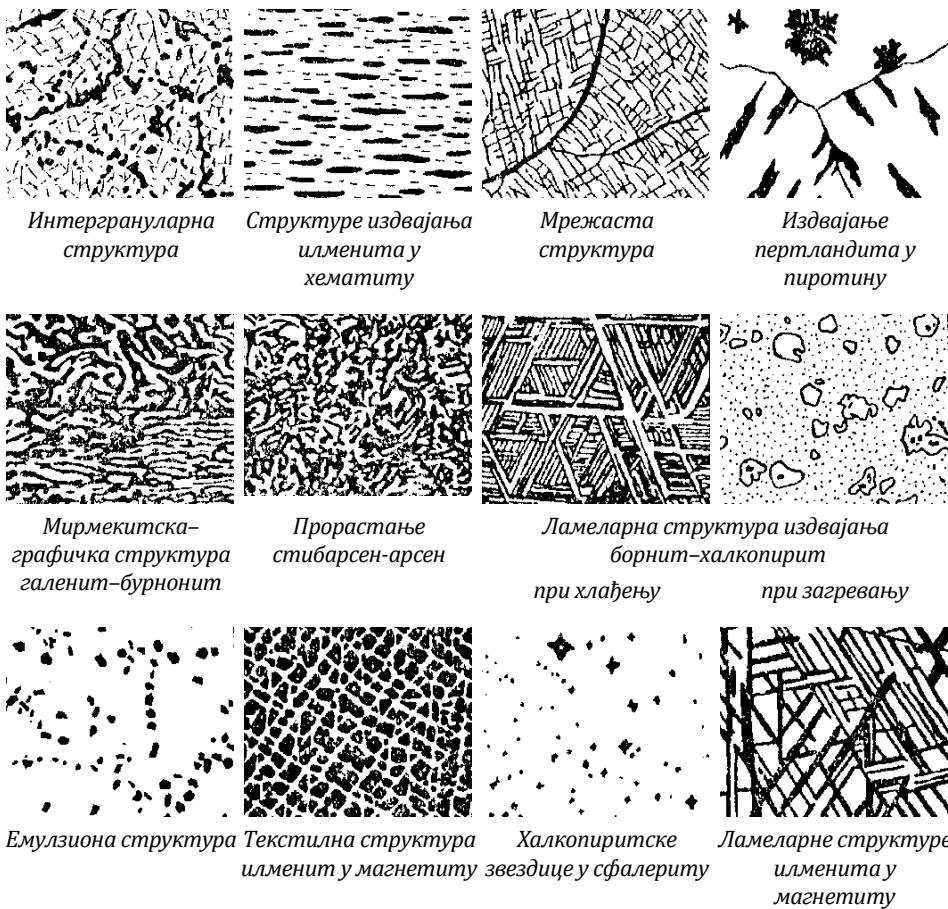
- Склоп везан са процесима седиментације и стварања јаловишта (рудништа).
- Структуре (склоп) преображавања су врло разноврсне: параморфозе, издвајања, распадања, метасоматозе, структуре термичког преображавања и склопови из оксидационо–цементационе зоне (најчешће се срећу на старим депонијама).

Међу бројним структурама, везане са одређеним процесима распадања на јаловишту, као при образовању руда у којима су примарно настали, свакако су најзначајнији структуре издвајања и структуре замењивања.

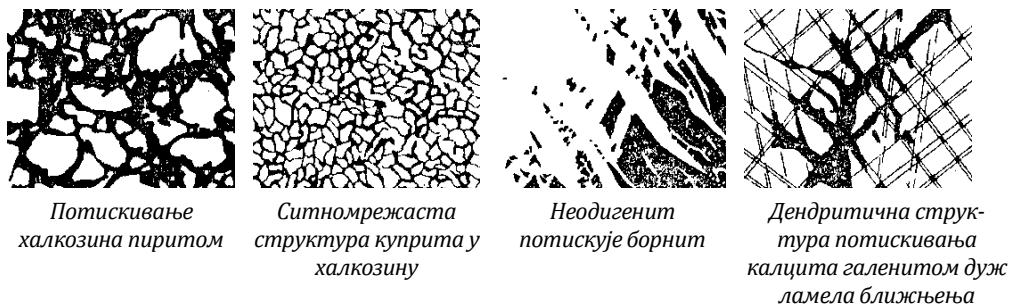
Структуре издвајања. Као последица хлађења и раздвајања чврстих раствора долази често до образовања структура издвајања које показују врло разноврсне облике, што зависи од фаза које у томе узимају учешће и места на којима долази до стварања земаља. Структуре издвајања могу бити оријентисане дуж одређених карактеристичних структурних обележја минерала–домаћина, али су познате и структуре, где су издвајања без неке посебне истакнуте правилности. Овде се могу издвојити: раст из великог броја међусобно независних земаља, када се издвојене фазе јављају у виду малих плажа по читавом зрну минерала домаћина. Облици и размештај издвојених фаза су врло променљиви, а удео у минералу–домаћину ретко кад прелази 10%. Типичан пример су емулзионе структуре и структуре "понављања у серијама". Раст дуж кристалографских равни се често манифестује мрежастим структурама. Пример парова и група појединих сулфидних и оксидних минерала који граде структуре издвајања из чврстих раствора су: хромит–хематит, хематит–рутил, хематит–илменит, хематит–илменит–рутил, магнетит–хематит, магнетит–илменит, борнит–халкозин, борнит–халкопирит, халкозин–ковелин, галенит–тетраедрит, пиротин–пентландит, сфалерит–халкопирит, слика 7.17. Карактеристике структура издвајања су следеће: – потпуно неправилни облици минерала госта; – обле капљице минерала госта; – емулзије правилних издвајања минерала госта; – ламеларне структуре издвајања; – мрежаста прорастања; – скелетне структуре; – структуре у виду гирланди; – мирмецитске или графичке структуре; – издвајања по ободу зрна, слика 7.17.

За егзогене услове (али не само за њих) типичне су **структуре замењивања**, потискивања, оксидације, када се заостали корисни минерали (на депонији) распадају у условима деловања атмосферичке и настаје читав низ хипергених минерала. Неколико примера оваквих структура илустровано је на слици 7.18.

Структуре ситнозрних минералних агрегата, као и криптокристалних маса (индивиде мање од 0,003 mm), могуће је испитивати само под микроскопом на углачаним, полираним – рудним и провидним – петрографским препаратима. На углачаној површини минералних агрегата границе између зрна минерала истог састава, независно од њихове величине, обично су исполиране и, уместо појединачних зрна минерала у препарату су видљиви компактни делови различитог облика и величине. Структура рудних минерала може да се покаже при њиховом проучавању у поларисаној и рефлектованој светлости (посебно код јасно анизотропних минерала), при кородовању са одговарајућим хемијским реактивима – структуре корозија (она се посебно користи за откривање структуре и унутрашње грађе код изотропних минерала), методом магнетне прашкографије, као и при несавршеној исполираности препарата.



Слика 7.17. Структуре издвајања



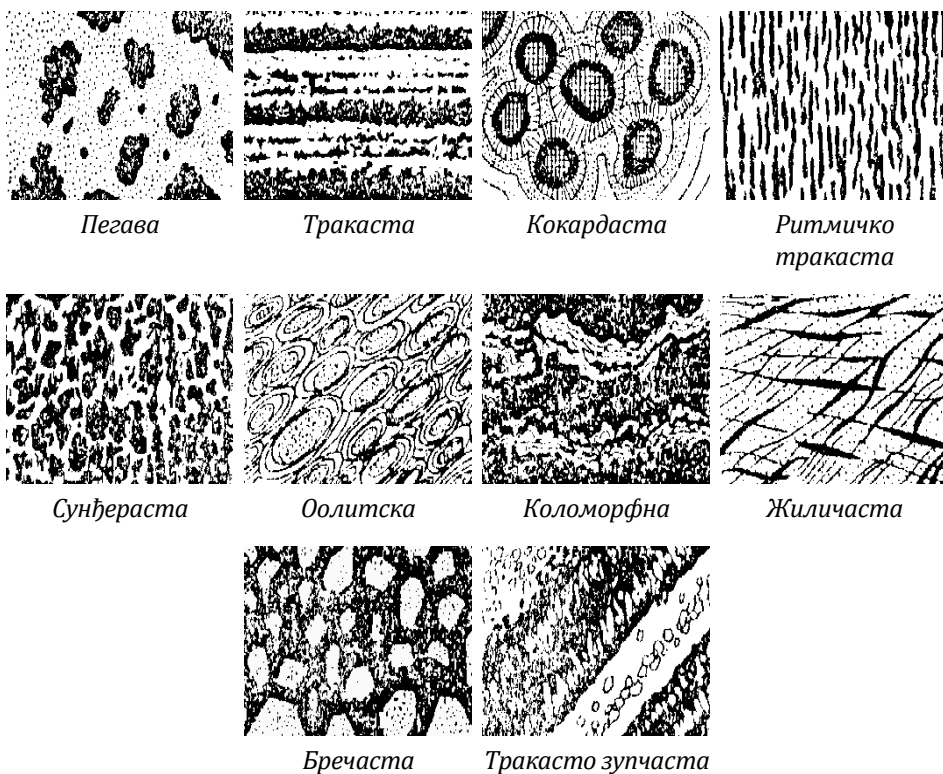
Слика 7.18. Структуре замењивања

При морфолошкој класификацији структура техногеног материјала може се применити иста она подела која се примењује и код геогених творевина (руда, сировина). Наиме, заостала срасла зрна (у којима постоје "заробљени" кристали корисних минерала) имају структуре сировине из које води порекло, али допуњену новонасталим структурама насталим алтерацијом у егзогеним условима. Према томе, морфолошка класификација структура техногених материјала, може се представити са шест група: 1. зрнасте, кристало-зрнасте, 2. корозионе, 3. метаарнасте, 4. колоидне, 5. кристалобластичне, 6. катакластичне и кластичне.

Истовремено према генетској класификацији структура техногеног материјала а према условима стварања може се издвојити седам генетских група:

- 1) Структуре настале при кристализацији магматских растопа и раствора – образовање ових структура везано је за кристализационе процесе (исте остају и у јаловини на депонији).
- 2) Структуре настале при корозији материјала – у процесу кристализације руда неки од рано образованих минерала показују се непостојаним при новонасталим физичко-хемијским условима и узајамно реагујући са рудним растворима често се разједају – кородују тако да се на њиховом месту могу образовати нови минерали. Границе између појединих минералних зрна су тада неравне – назубљене.
- 3) Структура распада чврстих раствора – образовање ових структура настаје као последица промене физичко-хемијских услова који су постојали при депоновању руде. Као резултат тога настаје измена раније депонованих минерала који у промењеним условима постају нестабилни и распадају се на простија минерална једињења.
- 4) Структуре образоване у процесу метасоматозе – морфолошка јединица тих структура је метаарно.
- 5) Прекристалizacione структуре – ове структуре су створене као резултат заједничког дејства температуре, притиска и других метаморфних фактора, при чему може да се измени како првобитна морфолошка грађа руде, тако исто (али не потпуно) и њихов минерални састав.
- 6) Карактеристичне структуре – настају при динамометаморфизму руда. Под утицајем повишеног притиска (као и повишене температуре), у рудама настају механичке деформације. Ове деформације зависе од физичких особина појединих минерала (тврдине, кртости, пластичности, развијености цепљивости и могућности раздвајања по неким кристалографским равнима, хомогености унутрашње грађе и друго) и управо су пропорционалне силама притиска који је постојао за време динамометаморфних процеса.
- 7) Структуре руда седиментног порекла – одвојена је као посебна група. Из ове групе структура издвојене су следеће: - кластичне или дендритичне (псефитска, псамитска, алевролитска и пелитска), - органогене, и -оолитне (пизолитне).

Као илустрацију неколико карактеристичних текстура на слици 7.19 су приказане текстуре које се могу срести на старим депонијама јаловине.



Слика 7.19. Примери текстура руда

Литература

- [1] Čablik V., Tomanec R., Fečko P., Kušnierova M., Madrova M., Kašparkova A., Vyvažil M., (2009), Production of pigments from waste materials and their application in dyeing concrete composites. - Proceedings of 13th Inter. Conf. on Environment and Mineral Processing, VŠB-Technical University of Ostrava, pp. 255-262
- [2] Hower J. C., Rathbone R., Robertson J.D, Peterson G, Trimble A.S., (1999), Petrology, mineralogy, and chemistry of magnetically – separated sized fly ash, Fuel, 78, Elsevier Science Ltd
- [3] Lazić P., Deušić S., Tomanec R., Miković B., (2012) Mašine i uređaji za usitnjavanje mineralnih sirovina – novi trendovi (značaj oslobađanja minerala). Zbornik radova VIII Kolokvijum o pripremi mineralnih sirovina, Rudarsko-geološki fakultet, Univerziteta u Beogradu, Beograd, pp. 1-29.
- [4] Palomo A., P. Krivenko P., I. Garcia-Lodeiro, E. Kavalero, O. Maltseva, A. Fernández-Jiménez, (2014), A review on alkaline activation: new analytical perspectives. – Materiales de Construcción, Vol 64, No 315.

-
- [5] Sokol E. V., Kalugin V.M., Nigmatulina E.N., Volkova N.I., Frenkel A.E., Maksimova N.V., (2002), Ferrospheres from fly ashes of Chelyabinsk coal: chemical composition, morphology and formation conditions, *Fuel* 81, pp. 867-876, Elsevier
- [6] Tomanec R., (2000) Metode ispitivanja mineralnih sirovina u pripremi mineralnih sirovina, Rudarsko-geološki fakultet, Univerziteta u Beogradu
- [7] Tomanec R., Čablik V., Simovic I., Gaćina R., (2014) Ore Microscopy Characterization as a Mineral Processing Control, *Journal Of The Polish Mineral Engineering Society*, Volumin XV, NO. 2(34), july-december. pp.101-106
- [8] Tomanec R., Čablik V., Simovic I., Gaćina R., (2014), Liberation of Minerals From The Bor-Cerovo Cooper-Bearing Ores, Serbia, *Proceedings of The 18th Inter, Conf, on Environment and Mineral Processing*, VSB - Technical University of Ostrava, pp. 7-12.
- [9] Tomanec R., Fečko P., Čablik V., Lukić S., (2006), Red mud from bauxite processing in zvonik as pigment for bricks production, *PEMT 06*, 5th Pan-European conference on planning for minerals and transport infrastructure, Sarajevo.
- [10] Tomanec R., Tanić S., Vakanjac B., (2003), Characterization of lignitic fly ash byproducts from TPP Obrenovac, Serbia. – 7th Inter. Conf. on Environmental and Mineral Processing VSB – Technical University of Ostrava, pp. 249-260.
- [11] Tomanec R., Vakanjac B., (2015), Rudne parageneze sa metodama ispitivanja i atlasom karakterističnih primera, Univerzitet Singidunum, Fakultet za primenjenu ekologiju Futura, Beograd
- [12] Tomanec R. Lazic P., (2012), Mineral composition of sulphide-oxide Pb - Zn ore from Rudnik mine (Mineralni sastav oksidno-sulfidnih ruda rudnika Rudnik – Underground Mining Engineering 21 (Podzemni radovi XXI), Faculty of Mining and Geology, University of Belgrade, pp. 151-159.
- [13] Tomanec R., Lazic P., Bajic S., Gacina R., (2012), Characteristics and the possibility of concentration of low grade oxide Pb - Zn ore from Rudnik mine, *Proceedings of XVI Inter. Conf. on waste recycling*. VŠB, Technicka Univerzita Ostrava, pp. 179-185.
- [14] Чаблик В., Томанец Р., Фечко П., (2007), Возможность утилизации красного шлама после переработки бокситов. «Цветные металлы», Но. 10/2007. http://www.rudmet.ru/ru/products/?sid=47&journal_id=831
- [15] Tomanec R., Tanić S., (2004), Fly Ashes As A Building Material, *Proceedings of XXIII International Mineral Processing Congress*. Cesme, Turkey. pp. 787-794.
- [16] Tomanec R., Blagojev M., (2015), Gold minerals concentration from the Grabova Reka deposit, Ist Serbia; *Proc. of the 9th Conf. on Environment and Mineral Processing*, 2015, Ostrava, pp. 7-12.
- [17] Negrojević V. J., (2016), Uticaj mlevenja i klasiranja na karakteristike elektrofilterskog pepela i metalurške šljake za proizvodnju građevinskih materijala, Magistarska teza – Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd
-

8. БИОЛОШКЕ И ЕКОТОКСИКОЛОШКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ОТПАДА



Google Earth

У овом поглављу обрађени су основни појмови везани за биолошку и екотоксиколошку карактеризацију отпада. Приказани су начини и методи извођења ових анализа и специфичности везане за индустријске отпаде, посебно минералног порекла.

При карактеризацији отпада за утврђивање стања живих организама користе се два различита приступа:

- **Биолошка карактеризација** - утврђивање врста и популација организама (микроорганизама, биљака, животиња) који насељавају станишта чврстог и течног индустријског отпада
- **Екотоксиколошка карактеризација** - утврђивање потенцијалне токсичности индустријског отпада праћењем ефеката на одабране организме водених и копнених средина

8.1. Узорковање

Узорковање биолошких узорака најчешће се спроводи као део процене ризика од опасних и штетних супстанци по животну средину, као и за процену диверзитета (разноликости) одређене популације живих организама. Прикупљање биолошких узорака може се спроводити у сврху анализе експозиције организама штетним материјама или ради анализе ефеката ових материја на живе системе (морфометријске анализе, репродуктивност популације итд.).

Како би се утврдили ефекти индустријског станишта на живе организме, најчешће се узорковање врши како на самом индустријском отпаду, тако и на контролној, неконтаминираној површини, која је најчешће лоцирана у природном окружењу. На тај начин могуће је утврдити референтне, односно, контролне вредности супстанци од интереса и упоредити их са вредностима у индустријском отпаду.



Слика 8.1. Биолошко узорковање

Генерално, разликују се две врсте узорковања биолошког материјала: пристрасно (експертско) и непристрасно (случајно, насумично).

Код пристрасног узорковања места узимања узорака постављају се у односу на највероватније место појављивања организма од интереса као и у односу на карактеристике индустријског отпада. Ово је уједно и најчешћи начин узорковања када су у питању живи организми [ССМЕ, 2016].

Приликом непристрасног узорковања, места узимања узорака бирају се по принципу случајности, без узимања у обзир карактеристика индустријског отпада или распрострањења одабране врсте биота. Овакав начин узорковања у највећој мери задовољава статистичке критеријуме, али често није исплатив нити изводљив када су у питању живи организми индустријских локација.

Код стратификованог узорка стратуми се дефинишу у односу на познавање локације испитивања и врсте организама (нпр. дефинисање различитих микро-станишта на подручју индустријске депоније, слика 8.4) или на познавању начина загађивања простора на коме се врши узорковање (изворе загађења и начине распрострањања загађивача у абиотичким медијумима животне средине).

Имајући у виду природну варијабилност биолошких система, није увек могуће прикупити такав број узорака који би у потпуности задовољио строга статистичка правила, што понекад представља ограничавајући фактор у испитивањима ове врсте. Уколико је познат извор контаминације, локације узорковања могу бити распоређене у близини или низ ток загађења. Узорковање по трансектима који се шире од извора контаминације обезбеђује да се одговарајућим анализама утврди

градијент концентрација (загађивача) - одговор (организма). У многим случајевима примењује се упарено узорковање, тј. узорковање биотичких и абиотичких медијума средине (на пример узорци земљишта и биљака које на њему расту, узорци воде и микроорганизама који у њој живе итд.). Повезаност концентрација загађивача у упареним узорцима зависи од више фактора, попут особина узорковане врсте, начина распростирања загађивача на индустријској локацији, биодоступности загађивача и слично. Уколико ова веза није јасно уочљива, могуће је да ремедијационе мере или друге мере санације и управљања не произведу очекивани ефекат на биолошке системе [ССМЕ, 2016].

Приликом избора организма који ће се пратити за потребе биолошке или екотоксиколошке карактеризације потребно је имати у виду број узорака који је могуће прикупити како би се дефинисале оптималне методе анализе података, популациона динамика организама и њихов животни циклус, као и критеријум избора контролног подручја.

Узорковање микроорганизама из водене средине врши се одговарајућим стерилним боцама које у што краћем временском периоду треба допремити у лабораторију на даље анализе. Узорковање микроорганизама из минералне подлоге врши се стерилним прибором, а узорци се пакују у теренски фрижидер и у року од 24 h допремају у лабораторију на даљу обраду.

Методе микробиолошке анализе најчешће укључују одређивање броја микроба или њихову укупну биомасу. Засејавање микроорганизама је поступак који се заснива на методи разређивања и засејавања узорака на хранљивим подлогама погодним за раст одређених категорија микроорганизама, што након одређеног временског периода узрокује појаву њихових макроскопски видљивих колонија, које се потом броје и затим прерачунавају на број микроорганизама у узорку, узимајући притом у обзир фактор разређења. Директно бројање микроорганизама под микроскопом је метод који омогућава да се уоче и они организми који се не могу узгајати на хранљивим подлогама, као и изумрли организми у узорку. Постоји више начина за одређивање ћелијске биомасе, попут одређивања количине неких ћелијских састојака (протеини, нуклеинске киселине), при чему се користе фумигационо-екстракционе методе третирања узорака. У широј примени су и молекуларно-генетичке методе, односно поступци генетичке анализе којима се може прецизније одредити група или врста заступљених микроорганизама.

Узорковање биљака спроводи се ради одређивања ризика, по животињско или људско здравље, повезаног са конзумирањем биљака или у сврху одређивања фитотоксичности загађивача. У зависности од врсте загађивача и начина распростирања загађујућих материја бира се и врста биљног органа погодног за узорковање (корен, лист, плод). Најчешће се примењује метод упарених узорака, где се истовремено узимају узорци подлоге (отпада) и биљака у случају терестричних станишта, или воде и водених биљака у случају акватичних станишта.

У случајевима одређивања биљних асоцијација присутних на подручју индустријске депоније примењује се метод пописивања врста на репрезентативној стандардизованој површини коришћењем наменских скала бројности и покривности примењених на сваку присутну врсту. Примерци пописаног биљног материјала прикупљају се, обележавају и детерминишу у складу са стандардном ботаничком литературом.

Узорковање фауне подручја индустријских депонија, често се примењује у сврхе одређивања бројности популација, узрасне структуре, степена размножавања, као и утврђивања морфо-физиолошких промена на јединкама. У случају детаљнијег проучавања токсиколошких аспеката спроводе се анализе крви и ткива, као и анализе депонованих материја у костима животиња.

Приликом проучавања и узорковања бескичмењака, за потребе процена утицаја најчешће се бирају организми који живе у подлози (нпр. кишне глисте) јер имају сталан контакт са подлогом или се хране њеним продуктима. Одређена истраживања могу се фокусирати и на врсте које живе на или изнад тла (скакавци, лептири, тврдокрилци и др.). Најчешћи метод прикупљања организама који живе у подлози је директно ископавање или просејавање, док се за остале врсте примењује лов путем клопки или наменских мрежа. И у овом случају често се примењује узимање упарених узорака ради утврђивања повезаности концентрација загађивача у подлози и узоркованим бескичмењацима.

Анализа ситних сисара примењује се ређе, најчешће у случајевима процене утицаја загађивача на организме виших трофичких нивоа, односно на крупније сисаре и грабљивице. Прикупљање ситних сисара за потребе екотоксиколошких или популационих истраживања врши се изловљавањем путем клопки, при чему се могу користити клопке којима се хватају живе јединке (живоловке) или леталне клопке (мртволовке), у којима се врши убијање уловљених организама.

8.2. Биолошка карактеризација индустријског отпада

У случају биолошке карактеризације реч је о утврђивању присуства, врсте и бројности организама који су се на различите начине адаптирали на неповољне услове станишта различитих врста индустријских отпада. Биолошком карактеризацијом индустријских отпада утврђује се постојећи живи свет, његов диверзитет и заступљеност. Оваква станишта најчешће се одликују екстремним физичко-хемијским карактеристикама, попут високе водопропустљивости или компактности, повишеним садржајем тешких метала и одсуством хранљивих материја. Додатан отежавајући фактор често представља и неповољна рН вредност, која у случају појединих индустријских отпада може бити ниска (нпр. сулфидне јаловине са присуством пирита) или висока (нпр. депоније црвеног муља). Микроорганизми, биљни или животињски организми који насељавају овакве средине развили су посебне морфолошке и физиолошке адаптације на услове који на њима владају. Улога живих организама значајна је и у процесима декомпозиције отпадног материјала. У том смислу, неке од основних процеса који различите групе организама могу вршити на депонијама чврстог отпада [према Percival, Clesceri, 2003] су:

- асимилација, специјација, инокулација (карактеристично за ситне сисаре, птице, инсекте, фауну земљишта)
- хидролиза (гљиве)
- ацидогенеза, метагенеза, сулфогенеза (бактерије)

Из наведених разлога, живи свет оваквих подручја представља један од почетних корака за испитивање и утврђивање специјализованих биотехнолошких решења за санацију депонија индустријског отпада.

8.2.1. Микроорганизми

Микроорганизми настају све животне средине и разноврсна станишта, укључујући и нека од најекстремнијих (термални извори, пећине, планински врхови, вулканске купе). Имају важну улогу у неким од кључних еколошких процеса на Земљи, попут декомпозиције биљних и животињских остатака (чиме омогућавају биогеохемијско кружење елемената у природи) и стварања органске материје. Екстремни услови средине често омогућавају преживљавање и развој специјализованим групама микроорганизама. Ови микроорганизми могу играти важну улогу у решавању одређених проблема везаних за заштиту животне средине, попут издвајања метала из сиромашнијих руда, или производње енергије из отпадних материја.

У групу микроорганизама сврставају се бактерије, археје, протозое, као и поједине алге и гљиве.

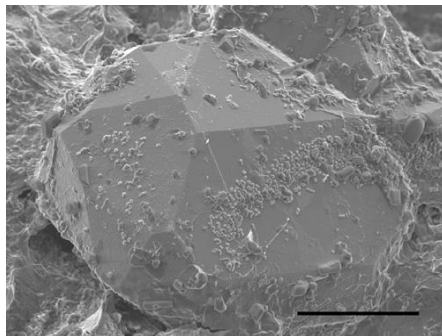
Према извору енергије који користе за животне процесе, микроорганизми се деле на фототрофе (користе енергију сунчевог зрачења) и хемотрофе (енергију добијају оксидацијом органских и неорганских једињења).

У односу на извор угљеника микроорганизми могу бити аутотрофни (врше фотосинтезу) и хетеротрофни (користе органска једињења, протеине, угљене хидрате и др.).

У односу на потребу за кисеоником деле се на аеробне и анаеробне микроорганизме.

Микробиолошка истраживања спроведена на рудничким отпадима указала су на постојање различитих облика и врста микроорганизама. Многи од њих су катализатори специфичних оксидо-редукционих реакција у којима користе различите маерије за своје метаболичке процесе. У сулфидним, али и другим отпадима ниске рН вредности, који садрже пирит јављају се ацидофилни микроорганизми који врше катализацију оксидације пирита [Dugan, 1975]. Активности микроорганизама значајно убрзавају оксидацију сулфида (и до 106 пута у односу на абиотичке услове, према Singer, Strum, 1970), чиме долази до настанка киселих процедурних вода које садрже растворене облике тешких метала и значајни су загађивачи животне средине. Досадашња истраживања утврдила су 11 редова ацидофилних бактерија које могу опстати у оваквим условима [Baker, Banfield, 2003]. Најпознатији микроорганизми овог типа припадају грам-негативним бактеријама рода *Acidithiobacillus*, који енергију за своје метаболичке процесе добијају оксидацијом сумпора, слика 8.2. Као најважнија врста овог рода, широко распрострањена у сулфидним рудничким отпадима, издвојена је бактерија *Acidithiobacillus ferrooxidans*, која је искоришћена за развој технологије биолужења метала из рудничких јаловина и вода [Valdes et al., 2008].

Друге групе микроорганизама које могу обитавати у чврстом индустријском отпаду јављају се често у асоцијацији са биљним кореном. Микробиолошка активност ових организама у комбинацији са излучевинама биљног корена може у појединим случајевима изазвати разградњу различитих загађујућих материја, попут полицикличних ароматичних угљоводоника, пирена, антрацена, дизел горива и уља [Kiuper et al., 2004]. Ова појава названа је ризостимулација и констатована је како у условима водене, тако и у условима копнене средине.



Слика 8.2. Бактерије *Acidithiobacillus ferrooxidans* на површини минерала *pirita*

Директна примена микроорганизама који насељавају станишта индустријског отпада у технологији и заштити животне средине огледа се кроз поступак *микробиолошког лужења* – методе издвајања корисних компоненти из сиромашних руда, јаловина и секундарних сировина. У зависности од врсте индустријског отпада који се третира, као и од карактеристика околне средине, разликује се начин примене ове методе. Препоручује се коришћење аутохтоних микроорганизама, као најбоље прилагођених на дате услове средине [Ранђеловић и др., 2015]. Примена микроорганизама у добијању метала из индустријског отпада значајна је јер отпадни материјал користи као почетну сировину, док је примена самог поступка економски исплатива и еколошки ефикасна.

Други начин примене микроорганизама у заштити животне средине огледа се у процесу *биоремедијације*, који подразумева (микро)биолошку разградњу органских и неорганских загађивача (РВС, РАН, радионуклиди, метали) коришћењем биореактора или биодискова. Биореактори су уређаји у којима се сировине трансформишу у одређене производе помоћу биокатализатора – живих организама. Тенденција живих организама да променама услова средине креирају повољне услове за свој раст и развој подстакнута је у биореакторима у циљу подстицања процеса биолошке трансформације и убрзаног добијања жељеног производа.

8.2.2. Биљни свет

Насељавање биљног света на површину индустријског отпада најчешће је ометено различитим неповољним физичко-хемијским факторима, попут екстремних температура, ниског нивоа влаге, ерозионих процеса, екстремних рН вредности и недостатка хранљивих материја. Вегетација ових подручја често је веома оскудна и ретка, а у односу на степен хетерогености формираних отпада распоред вегетације може бити неравномеран, јер се колонизација одвија у смеру обрастања површина са повољнијим условима за биљни опстанак и развој (слика 8.4). Честа је појава биљака са неким видом оштећења као реакције на неповољне услове – хлорозом, некрозом ткива, патуљастим растом и слично. На подручјима индустријских отпада колонизованим од стране биљака могуће је одређеним ботаничким методама утврдити њихову бројност, диверзитет, покривност и друге карактеристике.

Развој посебне еколошке групе биљака, званих **металофите**, везан је за отпаде са повећаном количином метала, па је њихова појава најчешће констатована на

јаловиштима металних руда. Металофите су биљке које могу толерисати присуство велике количине тешких метала у подлози, захваљујући посебним адаптивним механизмима којима регулишу њихово присуство и улогу у својим ткивима. Биљни механизми који леже у основи ових процеса искоришћени су у биотехнологији за процесе санације загађених подручја кроз примену биљног материјала, као и за области процене ризика од загађења и проспекције рудних тела. Облигатне металофите су врсте за чији је раст неопходан повећан садржај метала у подлози, док су селективне металофите током времена, захваљујући природној селекцији, развиле посебне екотипове (популације) толерантне на присуство одређених тешких метала. Поједине врсте металофита веома су ретке и јављају се искључиво на јаловиштима металних руда у појединим географским областима, па се као такве у данашње време сматрају угроженим и уживају статус заштићених врста [Batty, Hallberg, 2010].

У процедурном киселом језеру Робуле, на одлагалишту рудника бакра у Бору (слика 8.3), присутна је висока концентрација метала, нарочито Fe(III). Језеро Робуле означено је као једна од еколошких "црних тачака" у борском рударском басену пошто је вода језера најлошијег квалитета у поређењу са другим изворима киселих рудничких вода на овој локацији [Кораћ, Камберовић, 2007]. У језеру је идентификован велики број ацидофилних бактерија: гвожђе-оксидујуће бактерије *Leptospirillum ferrooxidans* и *Acidithiobacillus ferrooxidans*, као и хетеротрофне ацидофилне бактерије *Acidiphilium cryptum*. На дну језера формирана је биомаса у којој доминирају ацидофилне алге и хетеротрофне бактерије. У језеру је успостављен циклус кружења гвожђа који омогућава одржавање популације ацидофилних бактерија у води језера. Енергију за овај циклус обезбеђују фотосинтеза и хемосинтеза. С обзиром на велику количину јаловине која окружује језеро и која снабдева воду киселим рудничким водама, утичући на тај начин на биогеохемијске процесе у самом језеру, овај екстремни екосистем вероватно може опстати у периоду који се мери вековима [Станковић и др., 2014].

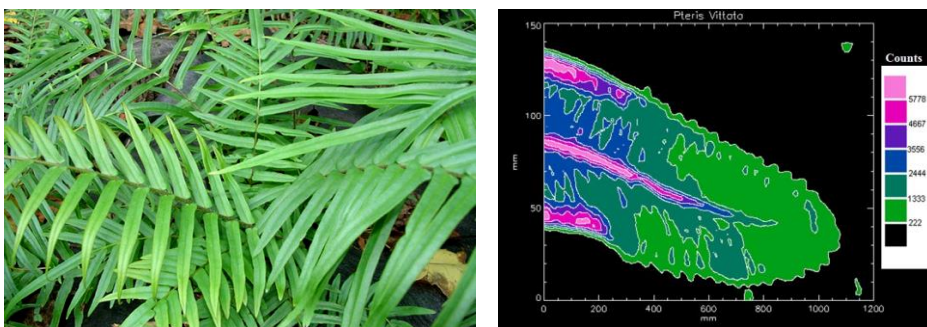


Слика 8.3. Процедно кисело језеро Робуле на одлагалишту рудника бакра Бор

Један од фактора који значајно утиче на разноврсност биљног света на подручјима индустријских отпада са повишеним садржајем метала је и њихова рН вредност. Подручја са ниском рН вредношћу (рН<5.5) генерално се карактеришу мањим бројем врста, најчешће прилагођеним повећаној количини метала у подлози, који

у оваквим условима лако прелазе у биодоступне форме. Неутрална и алкална подручја често одликује нешто већа разноврсност и покривност биљног света, док је највећи број метала у облику који није биодоступан [Walker, 1999].

Многе металофите складиште значајне количине тешких метала у својим подземним и надземним деловима, па се као такве могу примењивати за санацију и ремедијацију загађених подручја. Врсте које могу акумулирати значајне количине метала у својим надземним деловима (више од 1000 mg/kg суве масе за никл, бакар, олово и живу, или више од 10 000 mg/kg за цинк и манган, према [Baker, Brooks, 1989, Reeves, 1992] називају се хиперакумулатори. До сада је описано преко 500 врста биљака које имају способност хиперакумулације различитих елемената [Sarma, 2011]. Неке од најпознатијих хиперакумулаторских врста биљака су кинеска папрат *Pteris vitatta* која показује способност хиперакумулације арсена, или врсте рода *Alussum* које се карактеришу способношћу хиперакумулације никла, слика 8.4.



Слика 8.4. лево - Папрат *Pteris vitatta*, десно – хиперакумулација арсена у листу *Pteris vitatta*

У рудничким водама налазе се припадници акватичне вегетације који могу толерисати неповољне услове средине, као што су заслањеност, висока концентрација тешких метала, мањак хранљивих материја и неповољна рН вредност средине. Неке од акватичних врста које природно колонизују загађене рудничке воде са успехом се користе у процесима њиховог пречишћавања. Једна од најпознатијих врста коришћених у ове сврхе је рогоз (*Typha sp.*), који поседује способност акумулације веће количине метала попут мангана, бабра, олова, кадмијума и никла, као и толеранцију нижих рН вредности водене средине [Snyder, Aharrah, 1985].

За утврђивање капацитета биљака за акумулацију и екстракцију метала користе се биоакумулациони и биоконцентрациони фактори, који се заснивају на утврђивању односа концентрације тешких метала у подлози и подземним, односно надземним деловима биљке. Уколико је овај однос већи од 1, сматра се да биљка поседује способност акумулације метала у своја ткива, односно способност њихове екстракције из подлоге. Поред могуће улоге у мониторингу и ремедијацији индустријског отпада, присуство биљака са способношћу екстракције метала из подлоге указује на потенцијални ризик од даљег укључивања усвојених метала у ланце исхране путем конзументата.

8.2.3. Животињски свет

Животињски свет депонија индустријског отпада сиромашнији је у односу на природна подручја, будући да животиње поседују способност кретања па стога лако могу напустити неодговарајуће станиште. Проучавања животињског света депонија индустријског отпада често се односе на различите групе инсеката, птица и ситних сисара. Појава већег броја животињских врста на површинама индустријских отпада констатована је тек у условима њихове рекултивације или узапредовале природне обнове, и обично је повезана са степеном развоја биљног света као примарних продуцената у екосистему [Walker, 1999].

На рудничкој откритици у басену бакра у Бору вршено је дугогодишње неселективно одлагање стенског материјала. На овај начин створени су изразито хетерогени физичко-хемијски услови на њеној површини. Геоботаничка карактеризација рудничке откритке показала је постојање неколико иницијалних вегетацијских стадијума повезаних са утврђеним одложеним литолошким групама, односно рудничким земљиштима насталим њиховим разлагањем. Примарну улогу у распореду и бројности утврђених биљних врста показују хемијски фактори подлоге, а пре свега садржај киселих и базних јона који је доступан биљкама. Као последица растварања сулфидних минерала и сумпорних соли у површинском, оксидационом слоју откритке, долази до снижавања рН вредности и повећане мобилности присутних метала. На литолошким подлогама на којима је овај процес интензивирањем, доминацију преузимају биљне врсте са повећаним вредностима биоконцентрационих фактора. Поједине самоникле биљне врсте са подручја откритке поседују способност акумулације значајних количина метала у свом ткиву, па се из тог разлога могу употребити у биолошкој ремедијацији борског одлагалишта [Ранђеловић, 2015].



Слика 8.5. Селективно обрастање литолошких група на одлагалишту откритке рудника бакра у Бору

Уколико је у питању отпад са повећаном концентрацијом метала, могућа је појава токсичних ефеката код појединих животињских врста. Истраживања на ситним сисарима показала су различите концентрације метала у њиховим ткивима у зависности од врсте и њеног начина исхране [Andrew et al., 1984]. Генерално,

инсективори (животиње које се хране кукцима: јез, кртица, ровка и др.) показују већи степен изложености и акумулације метала у односу на омниворе (сваштоједи, животиње, нарочито неке птице, које узимају храну и из биљног и из животињског царства) и хербиворе (биљоједи), због интензитета метаболизма и виших позиција у ланцима исхране [Ma, Talmage, 2001].

8.3. Екотоксиколошка карактеризација индустријског отпада

Директива Европске комисије о опасном отпаду 91/689/ЕЕС издваја укупно 14 критеријума за утврђивање опасног отпада, од којих је један и екотоксичност. Екотоксичним се сматра онај отпад који представља или може представљати тренутни или одложени ризик за један или више медијума животне средине. Испитивање токсичности индустријских отпада на одабраним живим организмима у лабораторијским условима неопходно је за адекватну процену ризика од контаминације. Екотоксиколошка испитивања у сврху карактеризације отпада примењују се и у Србији и дефинисана су посебним стандардом (CEN/TR 16110:2010). Испитивања препоручена овим стандардом представљају минимална испитивања, која се по потреби могу допунити додатним испитивањима, бити замењена другим испитивањима специфичним за одређену врсту индустријског отпада или прилагодити сврси даље употребе таквог отпада.

Екотоксичност отпада одређује се биолошким тестовима при чему се тежи утврђивању токсичних доза појединих супстанци. Токсичне дозе су оне дозе супстанце при чијем деловању се испољавају различита патолошка стања организма. При екотоксиколошким испитивањима отпада најчешће се утврђује ефективна концентрација EC50 - концентрација једињења при којој 50% популације рецептора даје одговор након одређене дужине излагања. Неке од промена реакција организма које се прате стандардним екотоксиколошким тестовима су: инхибиција раста, размножавање, мобилност, понашање, ензимска активност. Изложеност токсичним супстанцама може бити акутна и хронична. Ефективна концентрација одређује се кроз серију раствора путем којих се изучава однос дозе и ефекта, при чему се на овај начин одређују граничне вредности потенцијалних загађивача којима су организми изложени. Одабране групе организма излажу се различитим концентрацијама токсичне супстанце, а затим се у току одређеног временског периода прати проценат промене у свакој групи. У тестовима токсичности може се одређивати и летална доза. Летална доза је она количина токсичне материје која, поред тешке интоксикације организма изазива и смрт појединих јединки. Најчешће је у употреби LD50, која означава дозу која изазива смрт 50% од укупног броја изложених јединки. Различите врсте организма показују неједнак степен осетљивости на дејство токсиканата. Ове разлике условљене су токовима метаболичких процеса, механизмима регулације физиолошких процеса и другим особеностима појединачних врста и организма [Јаблановић и др., 2003]. Осетљивост тест организма на токсичне супстанце из отпада може веома варирати у зависности од врсте организма која се користи за тестирање. Из овог разлога практикује се тестирање различитих група организма који насељавају водену и копнену средину, и који су представници различитих трофичких нивоа.

За потребе основне карактеризације отпада на опасни и неопасни отпад, узорци се третирају у серији раствора приликом чега се најпре одређују одговарајуће ЕС50 вредности. Након тога обављају се тестови на живим организмима који се излажу утврђеним дозама токсичних материја. Тестирани индустријски отпад проглашава се опасним уколико је екотоксични потенцијал изражен у бар једном спроведеном тесту [Federal Environment Agency, Germany, 2013].

Приликом извођења тестова код хетерогених отпада са присуством материја непознате токсичности, неопходно је извршити прелиминарна испитивања ради одређивања концентрација које ће се даље користити у тестовима. Концентрације се бирају тако да их чини размак вредности у широком низу, нпр: 0,1, 1, 10, 100 и 1000 mg/l загађујуће материје. Код прелиминарних испитивања користи се контрола и одређен број одабраних организама.

Последњих година тежи се усавршавању и стандардизацији биолошких тестова за идентификацију опасног отпада, а методе које се користе у сврхе екотоксиколошке карактеризације још увек су у стадијуму развоја. Примењују се методе тестирања екотоксичности елуата (течне фазе отпада у којој су десорбоване, дисперговане и растворене материје из узорка отпада) и чврстог отпада.

Метод тестирања екотоксичности елуата и чврстог отпада, које су стандардизоване и шире прихваћене на одабраним акватичним и терестричним организмима су [према Federal Environment Agency, Germany, 2013]:

Методе за тестирање елуата:

- Тест акутне имобилизације водене буве (*Daphnia magna*)
- Тест репродукције водене буве (*Daphnia magna*)- тестирање хроничне токсичности
- Тест инхибиције раста слатководних зелених алги
- Одређивање токсичних ефеката састојака воде и отпадне воде на сочивицу (*Lemna minor*) - Испитивање инхибиције раста сочивице
- Одређивање генотоксичности воде и отпадне воде помоћу уму-теста

Методе за третирање чврстог отпада

- Тест за одређивање квалитета земљишта и ефеката хемикалија на понашање, део 1: Тестови на кишним глистама (*Eisenia fetida* и *Eisenia andrei*)
- Одређивање утицаја загађивача на земљишну флору, део 2: утицај загађеног земљишта на ницање и рани раст виших биљака
- Тестови токсичности помоћу дехидрогеназне активности *Arthrobacter globiformis*
- Ефекти загађивача на кишне глисте, део 1. : Одређивање акутне токсичности код *Eisenia fetida*/*Eisenia andrei*
- Инхибиција размножавања *Collembola (Folsomia candida)* загађујућим материјама

8.3.1. Методе за тестирање елуата

Тест акутне имобилизације водене буве (*Daphnia magna*)

Одговарајући стандарди - ISO 6341, OECD TG 202 (2004)

Испитивањем младих примерака водене буве (*Daphnia magna*) одређује се 24-часовна и 48-часовна акутна токсичност одређене супстанце изражена као EC50 имобилизације, као и највећа концентрација испитиване супстанце која не доводи до имобилизације. Примерци *Daphnia magna* излажу се различитим концентрацијама испитиване супстанце, а одсуство покретности бележи се у периоду након 24 и 48 сати и упоређује са контролним вредностима. Животиње се сматрају непокретним уколико нису способне да пливају 15 секунди након мућкања испитне посуде. У овом тесту могу се користити и друге одговарајуће врсте *Daphnia*.



Слика 8.6. Јединка *Daphnia magna*



Слика 8.7. *Daphnia magna* у испитној посуду

Тест репродукције водене буве (*Daphnia magna*) - тестирање хроничне токсичности

Одговарајући стандарди - ISO 10706, OECD TG 211 (1998)

Младе женке *Daphnia* (родитељске животиње) излажу се испитиваној супстанци додатој у воду у одређеном распону концентрација у трајању од 21 дан. На крају испитивања оцењује се укупни број живих потомака по живој родитељској животињи. Репродукцијска успешност животиња изложених испитиваној супстанци затим се упоређује са контролним узорком.



Слика 8.8. Пребројавање потомака *Daphnia magna* у петри-посудама за утврђивање хроничне токсичности



Слика 8.9. Родитељска јединка и потомци *Daphnia magna*

Тест инхибиције раста слатководних зелених алги

Одговарајући стандард - ISO 8692

Сврха овога теста је одредити утицај токсичних материја на раст врста зелених алги *Desmodesmus subspicatus* i *Pseudokirchneriella subcapitata*. Релативно кратким испитивањима (72 сата) могу се оценити ефекти кроз неколико генерација. Метода је посебно погодна код супстанци растворљивих у води.

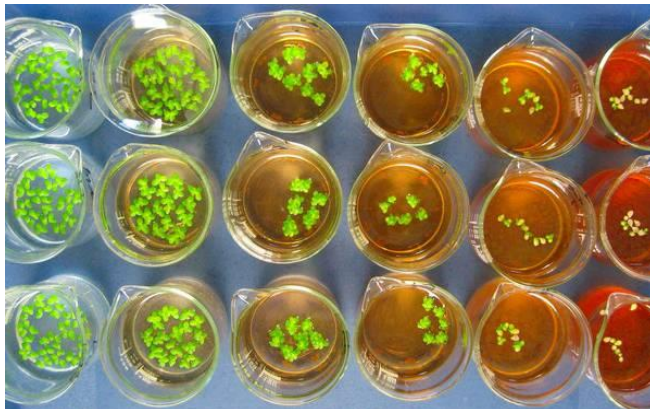


Слика 8.10. Културе слатководних зелених алги за испитивање екотоксичности растворљивих материја

Одређивање токсичних ефеката састојака воде и отпадне воде на сочивицу (*Lemna minor*) - Испитивање инхибиције раста сочивице

Одговарајући стандард - ISO 20079

Овом методом утврђује се дејство супстанци на инхибицију раста сочивице (*Lemna minor*) услед присуства супстанци у води, обрађеној комуналној отпадној води и индустријским ефлуентима. Штетни ефекти на развој ове врсте утврђују се на основу анализе параметара попут броја листова, садржаја хлорофила, биомасе.

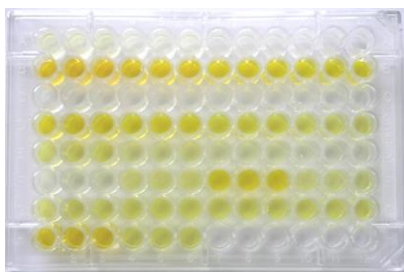


Слика 8.11. Тестирање раста сочивице на дејство супстанци из елуата отпада

Одређивање генотоксичности воде и отпадне воде помоћу уму-теста

Одговарајући стандард - ISO 13829

Тест генотоксичности спроводи се на генетски модификованом соју бактерије *Salmonella typhimurium*, који се у контролисаним условима излаже различитим концентрацијама токсичних супстанци. Тест је заснован на способности генотоксичних агенаса ка индукцији умуЦ-гена као одговора на појаву генотоксичних лезија у бактеријском геному.



Слика 8.12. Уму-тест на различитим концентрацијама испитиваних супстанци



Слика 8.13. *Salmonella typhimurium* под микроскопом

8.3.2. Методе за третирање чврстог отпада

Тест за одређивање квалитета земљишта и ефеката хемикалија на понашање део 1: Тестови на кишним глистама (*Eisenia fetida* i *Eisenia andrei*)

Одговарајући стандард - ISO 17512-1

Тест представља брзу методу помоћу које се одређује биодоступност загађујућих материја у природним земљиштима или супстанцама унесеним у земљиште на врсте кишних глиста *Eisenia fetida* и *Eisenia andrei*. Принцип теста је истовремено излагање кишних глиста контаминираним и неконтаминираним узорцима (контроли). Оба узорка смештена су у исти реципијент у два сектора одвојеним граничником (слика 8.14). Након уклањања граничника 10 примерака животиња поставља се на средишњи део реципијента и након 48 сати врши се преглед и бројање организама у сваком узорку. Узорак се сматра токсичним уколико се више од 80% примерака налази у неконтаминираним делу узорка.



Слика 8.14. Кишна глиста *Eisenia fetida*



Слика 8.15. Реципијенти за спровођење теста са контаминираним и неконтаминираним секцијама узорка подељеном граничником

Одређивање утицаја загађивача на земљишну флору — Део 2: Утицаји загађеног земљишта на ницање и рани раст виших биљака

Одговарајући стандард - ISO 11269-2

Овом методом врши се процена квалитета непознатог земљишта и утицаји загађеног земљишта на ницање и рани раст виших биљака. Утврђују се ефекти на клијање семена и рани раст одабраних врста виших биљака након излагања супстанцама у земљишту. Семена се постављају у посуде са контаминираним земљиштем, а ефекти се прате након 14 дана односно 21 дан, након ницања 50% биљака из контролне групе (слика 8.16). Поред броја изниклих биљака утврђује се и биомаса, али и појава оштећења и неправилности на биљкама. За овај тест може се користити више биљних врста, а најчешћа је употреба *Avena sativa* и *Brassica rapa*.

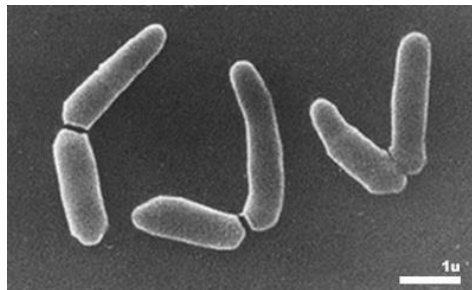


Слика 8.16. Тест утврђивања дејства загађивача на раст *Brassica rapa*

Тестови токсичности помоћу дехидрогеназне активности *Arthrobacter globiformis*

Одговарајући стандард - ISO 18187 (у развоју)

Овај метода налази се у развојној фази, а заснива се на утврђивању дехидрогеназне активности *Arthrobacter globiformis* након 2 сата инкубације у контаминираним чврстом материјалу. Дехидрогеназе су ензими који су катализатори у реакцијама оксидације - одвајања водоника од органских једињења и преношења до кисеоника или других органских једињења. Дехидрогеназна активност указује на микробиолошку активност у земљишту, односно, на интензитет дисања *Arthrobacter globiformis*.



Слика 8.17. Примерци бактерије *Arthrobacter globiformis*

Ефекти загађивача на кишне глисте, део 1.: Одређивање акутне токсичности код *Eisenia fetida*/*Eisenia andrei*

Одговарајући стандард - ISO 11268

Тест акутне токсичности на кишним глистама врши се ради утврђивања морталитета у контаминираним узорку. На почетку теста 10 одраслих јединки смешта се у реципијент са контаминираним узорком. Након 7 дана врши се уклањање изумрлих примерака, а након укупно 14 дана експозиције утврђује се коначан проценат морталитета. Овај број потом се пореди са контролом.



Слика 8.18. Утврђивање морталитета кишних глиста у контаминираним узорку

Инхибиција размножавања *Collembola (Folsomia candida)* загађујућим материјама

Одговарајући стандард – ISO 11267

Одређивање ефеката токсичних материја и супстанци на репродукцију инсекта *Folsomia candida* врши се након 28 дана од њиховог постављања у смешу токсичне супстанце и земљишног супстрата, при чему се врши екстракција и пребројавање јединки.



Слика 8.19. Узорци отпада и земљишног супстрата за тестирање ефекта на репродукцију *Folsomia candida*



Слика 8.20. Примерци *Folsomia candida*

* Основни процеси кружења материје и енергије у екосистему огледају се кроз трофичке нивое (нивое исхране). Основне трофичке нивое чине примарни произвођачи (биљни организми, који претварају енергију Сунца у храну путем фотосинтезе), потрошачи (животињски организми, енергијом се снабдевају хранећи се другим биљним или животињским организмима) и разлагачи (гљиве и микроорганизми, разлажу изумрле организме на састојке који се поново укључују у ланац исхране).

Литература

- [1] CCME (2016): Guidance Manual for Environmental Site Characterization in Support of Environmental and Human Health Risk Assessment, Volume 1 Guidance Manual, p. 1 -331.
- [2] Percival, M., Clesceri, N. (2003): Waste sites as biological reactors – Characterization and Modeling, CRC Press, Boca Raton, p. 364.
- [3] Dugan, R. (1975): Bacterial ecology of strip mine areas and its relationship to production of acidic mine drainage, *Ohio Journal of Science* 75:266-279.
- [4] Singer, P., Stumm, W. (1970): Acidic mine drainage: the rate determining step. *Science* 176: 1121–1123.
- [5] Baker, B., Banfield, J. (2003), Microbial communities in acid mine drainage, *Microbiology Ecology*. Volume 44 (2), p. 139–152.
- [6] Valdés, J., Pedroso, I., Quatrini, R., Dodson, R., Tettelin, H., Blake, R., Eisen, J., Holmes, D. (2008): *Acidithiobacillus ferrooxidans* metabolism: from genome sequence to industrial applications, *BMC Genomics*, 9:597.
- [7] Kuiper, I., Lagendijk, E., Bloemberg, G., Lugtenberg, B. (2004): Rhizoremediation: a beneficial plant-microbe interaction. *Mol Plant Microbe Interacttion*, Vol. 17 (1), pp. 6–15.
- [8] Randelović, D., Станковић, С., Михаиловић, Н., Лештан, Д. (2015): Remediation of Cu from copper mine wastes and contaminated soils using EDDS and acidophilic bacteria, *Bioremediation Journal*, 19(3): 231-238.
- [9] Korać, M., Kamberović, Ž. (2007): Characterization of wastewater streams from Bor site, *Metallurgical & Materials Engineering* 13 (1): 41-51.
- [10] Stanković, S., Morić, I., Pavić, A., Vasiljević, B., Johnson, B., Cvetković, V. (2014): Investigation of the microbial diversity of an extremely acidic, metal-rich water body (Lake Robule, Bor, Serbia), *Journal of Serbian Chemical Society*, 79 (6): 729–741.
- [11] Batty, L., Hallberg, K. (2010): *Ecology of industrial Pollution*, Cambridge Univ. Press, New York.
- [12] Walker, L. (1999): *Ecosystem of disturbed ground*, Elsevier, New York
- [13] Baker, A., Brooks, R. (1989): Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metal elements - a review of their distribution, ecology and phytochemistry, *Biorecovery*, 1: 81-126.
- [14] Reeves, R. (1992): Hyperaccumulation of nickel by serpentine plants, In: *The vegetation of ultramafic (serpentine) soils*, Baker, A., Proctor, J., Reeves, R. (eds.), Intercept, Andover UK, p. 253–277.
- [15] Sarma, H. (2011): Metal hyperaccumulation in plants: A Review focusing on phytoremediation technology, *Journal of Environmental Science and Technology*, 4 (2): 118–138.
- [16] Snyder, C., Aharrah, E. (1985): The Typha community: a positive influence on mine drainage and mine restoration. *Wetlands and Water Management on Mined Lands: Proc. of a Conf. 23-24 Oct. 1985. The Pennsylvania State University: University Park, PA, pp: 187-188.*

- [17] Randelović, D. (2015): Geobotanička i biogeoheмијска карактеризација рудничке откријке у Бору и могућност примене резултата у ремедијацији, докторска дисертација, Универзитет у Београду
- [18] Andrew, S., Johnson, M., Cook, J. (1984): Cadmium in small mammals from grassland established on metalliferous mine waste, Environmental pollution, Volume 33 (2): 153-162.
- [19] Ma, W.C., Talmage, S., (2001): Insectivora, In: Ecotoxicology of wild mammals, ecotoxicological & environmental toxicology series, eds. Shore, R., Rattner, B., John Willey and Sons, pp. 123-158.
- [20] Jablanović, M., Jakšić P., Kosanović K. (2003): Uvod u ekotoksikologiju, Универзитет у Приштини, Природно-математички факултет, Косовска Митровица.
- [21] Federal Environment Agency, Recommendations for the Ecotoxicological Characterization of Wastes (eds. Wuttke, J., Walther, M), Germany, 2013.

9. ТЕРМИЧКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ОТПАДА



<http://tvbecej.rs/index.php?c=vest&lg=sr&vestid=1978&slider=off>

У овом поглављу обрађени су основни појмови везани за термичке карактеристике отпада. Дат је преглед најзначајнијих карактеристика чије познавање је потребно за увођење процеса инсинерације отпада, односно за препознавање самоупале отпада.

Међу индустријским отпадима термичке карактеристике су битне само за отпад који се издваја на рудницима угља (откривка са прослојцима у којима има угља, јаловина из сепарације угља у којој заостану и зрна угља), при бушењима ради истраживања или експлоатације нафте (отпадна исплака у којој може бити и нафте), тзв. рударски отпад, и из термоелектрана које сагоревају угаљ и у чијем отпаду (пепео, шљака) се могу наћи комадићи несагорелог угља.

Када се отпад генерише из прераде и експлоатације металичних и неметаличних минералних сировина добија се производ који не подлеже самозапаљењу и који није интересант за инсинерацију, па његове термичке карактеристике нису посебно интересантне.

По правилу за инсинерацију је најинтересантнији органски отпад, најчешће као део комуналног, канцеларијског и амбалажног отпада, медицински и фармацеу-тски отпад, отпадна уља и гуме, отпади из пољопривреде итд.

При карактеризацији отпада који може да гори ради се више анализа и одређује више карактеристика [Новаковић, 1976, Berkovitz, 1979, Томанец, 2000, Speight, 2009, 2013]:

- Техничка анализа (имедијатна анализа, *engl. proximate analysis* – влага, пепео, испарљиво, C-fix)
- Елементарна анализа (*engl. ultimate analysis* – C, H, N, S, O + Cr, Hg, CO₂, As, Se)
- Физичке особине (густина, порозност, специфична површина, рефлексија)
- Електричне особине (проводљивост, диелектрична константа, диелектрична јачина, специфична отпорност)
- Термичке особине (топлотна моћ, топлотни капацитет, термопроводљивост, пластичност, агломерација, топовост)
- Механичке особине (јачина, тврдина, дробивост и мељивост, индекс прашења, деформације и течење под притиском)

Свака од ових анализа даје податке битне за дефинисање и вођење процеса инсинерације, али и пратећих процеса уситњавања, транспорта, сагоревања, отпрашивања и сл.

У "Правилнику о категоријама, испитивању и класификацији отпада" прописани ниво испитивања отпада намењеног инсинерацији обухвата следеће: сензорска својства (мирис, боја, конзистенција и физичка форма), температура паљења, топлотна моћ (MJ/kg), садржај воде, односно влаге, садржај пепела, садржај укупних халогена изражено као хлор (Cl), садржај сумпора (S), садржај полихлорованих бифенила (PCB), садржај тешких метала: арсен, антимон, бакар, берилијум, ванадијум, жива, кадмијум, калај, кобалт, никл, олово, талијум, хром и цинк.

У референтном документу ЕУ [ВАТ, 2017] за пројектовање постројења за инсинерацију наводи се да је потребно познавати:

- Хемијски састав,
- Физичке карактеристике, тј. крупноћу,
- Термичке карактеристике, тј. топлотну моћ, садржај влаге итд.

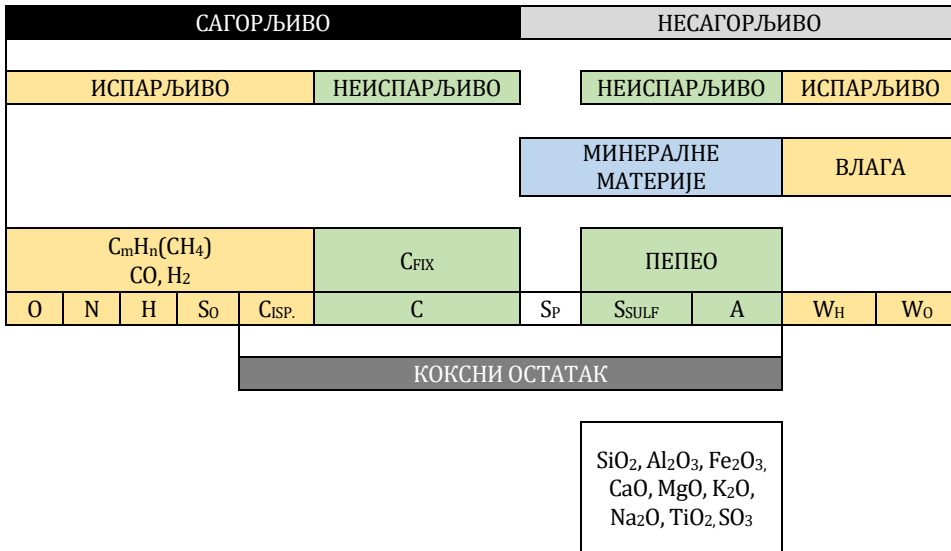
Постоји знатна неусклађеност терминологије у српској пракси са светском терминологијом па су зато код неких анализа дати и енглески називи, ради лакшег сналажења у иностраној литератури. С обзиром да се у овој књизи посебно изучавају физичке, хемијске и механичке особине, у овом поглављу ће се акценат ставити само на делове који су карактеристични за отпад који се сагорева или је склон самоупали.

9.1. Техничка анализа материја које горе

Општи састав материја које горе приказан је на слици 9.1. Дакле, све материје које горе сачињене су од делова течне, гасовите и чврсте фазе, само део је сагорљив и увек се издваја несагориви отпад, који носи општи назив пепео. У зависности од порекла, учешће појединих фаза је различито и променљиво. Од састава и порекла зависи и елементарни састав отпада који гори.

Гориви део горива је у чврстом и гасовитом облику, а у елементарном облику обухвата угљеник у чврстом облику (тзв. C-fix), угљоводонике, водоник и угљен-

моноксид. Негориви део чине влага и минералне материје који су неизоставни део сваког горива. Минералне материје су превладавајуће у чврстом стању тако да се по изласку из ложишта називају пепелом (и шљаком), док је део сумпора условно несагорив и не улази увек у пепео. Течна фаза – влага је увек и потпуно испарљива и битно утиче на термичке особине горива (смањује топлотну моћ).



Слика 9.1. Општи састав материја које горе

Имедијатна или техничка анализа у српској пракси подразумева одређивање више параметара него што то прописује *proximate analysis* [Томанец, 2000]. На слици 9.2. дат је пример техничке анализе угља са елементима који се подразумевају под називом "техничка анализа".

ТЕХНИЧКА АНАЛИЗА УГЉА				
Sadržaj (%)	Sa ukupnom vlagom	Sa vlagom u analitičkom uzorku	Bez vlage	Bez vlage i pepela
Vlaga (%)	22.70	9.40	/	/
Pepeo (%)	19.96	23.40	25.83	/
Sumpor ukupni (Su)	5.12	6.47	7.14	/
Sumpor u pepelu (Sp)	1.43	1.68	1.85	/
Sumpor sagorljiv (Ss)	3.69	4.79	5.29	7.13
Koks (K)	38.82	45.50	50.22	32.89
C - fix	18.86	22.10	24.39	32.89
Isparljive materije (IM)	38.48	45.10	49.78	67.11
Sagorljive materije (SM)	57.34	67.20	74.17	100.00
Q _{gv} (kJ/kg)	16987	19910	21976	29628
Q _{dv} (kJ/kg)	15776	18886	21084	28425

Слика 9.2. Изглед извештаја о обављеној техничког анализи угља лабораторије из Србије

Дакле, поред влаге, пепела, испарљивог и C-fixa, који заједно масено дају 100%, наша техничка анализа обухвата и део елементарне (учешће сумпора) и термичке анализе (топлотна моћ или ефекат).

Влага има негативну улогу при сагоревању јер се део топлотне енергије неминовно троши на испаравање воде садржане у гориву. Влага може бити:

- Површинска, груба или слободна - чини је вода која се задржава на површини материје. Практично се налази само у макропорима.
- Везана, унутрашња или хигроскопна - чини је вода која се задржала у микропорима и капиларама материје. Користе се и изрази инхерентна, аналитичка и слојна влага.

Укупна влага се дефинише као губитак масе сушењем на ваздуху под строго дефинисаним условима температуре, времена и струјања ваздуха. Укупна влага чини збир инхерентне и површинске влаге.

Влага у горивим материјама је различита што се може видети из података приказаних у табели 9.1.

Табела 9.1. Учешће влаге у неким горивима и у отпадима

Гориве материје	Влага, %	Гориве материје	Влага, %
УГЉЕВИ		ОТПАДИ	
Антрацити	3-6	Остаци хране	70
Битуминозни угљеви	2-15	Папир	10
Суббитуминозни угљеви	10-25	Пластика	0,2
Лигнити	35-60	Дворишни отпад	60
		Стакло	2
		Кућни отпад	21

Пепео је неоргански, чврсти остатак који остаје након потпуног сагоревања органског дела и разлагања минералних примеса, од којих потиче. Његов масени удео зависи од врсте горива, порекла и начина експлоатације. Често се садржај пепела изједначава са садржајем минералних материја. Разлика је у садржају сумора (део сулфидног и сулфатни сумпор). Представља баласт, јер отежава сагоревање и коксовање. Састав пепела је важан за процес сагоревања и конструкцију котла. Излагањем високим температурама долази до топљења и затварања решетке у котлу. Обојени (тамни) пепели имају ниску температуру топљења, а светли високу.

Волатили или испарљиви део (издваја се на температури од 950 °C) су делом сагориви, различити угљоводоници, а делом несагориви - влага. Када је учешће волатила веће добија се више топлоте, а гориво се лакше пали уз дуги и светли пламен, док се код малог учешћа волатила гориво теже пали и спорије сагорева са кратким пламеном.

C-fix представља угљеник у чврстом облику.

9.2. Елементарна анализа

Елементарна анализа је уобичајена анализа хемијског састава горивог материјала и, практично, се изводи у 3 дела:

- први део служи за прецизно дефинисање елементарног састава горива и подразумева одређивање C, H, N, S, O,
- други део подразумева одређивање пратећих елемената чије је учешће знатно, тзв. макроелементи,
- у трећем делу одређују се елементи чије учешће није високо, тзв. микроелементи.

Исти елемент једанпут може бити у групи макро, а други пут микроелемента. Код горива се уобичајено одређују: Cr, Hg, CO₂, As, Se итд.

Угљеник (C) је главна корисна компонента у гориву. Јавља се као: везан са водоником, угљоводоник C_mH_n, са сумпором, ређе, угљен-дисулфид CS₂, и као слободан, чист угљеник, C-fix.

Топлотна моћ чистог угљеника је 33.913 kJ/kg.

Водоник (H) је корисна компонента када се појављује: са угљеником, као угљоводоник C_mH_n, као слободни водоник H₂, а некористан, баласт, када се појављује сједињен са кисеоником, као вода, H₂O. Спојеви водоника (и кисеоника) у процесу сагоревања издужују пламен, олакшавају паљење и побољшавају сагоревање. Чист водоник има ДТЕ – 119.205 kJ/kg.

Учешће угљеника, водоника и кисеоника у различитим горивима и отпадима приказано је у табели 9.2.

Табела 9.2. Учешће угљеника, водоника и кисеоника у неким горивима

Врста горива/отпада		Угљеник, C, %	Водоник, H, %	Кисеоник, O, %
Дрво: буква, храст, топола, смрча, јела, бор		48-50	6	43-45
Тресет		60	6	34
Лигнит		63	5	32
Мрки		66	5	29
Масни камени, суббитуминозни		80	5	15
Посни камени, битуминозни		85	5	10
Антрацит		90	2	3
Биомаса: слама, окласак, љуске сунцокрета, кора од дрвета		45-51	6	41-43
Кућно смеће	Канада [Chandler, 1997]	25-38	3-4	14-23
	САД [Wilson, 1972]	46	6	35-40
	Малезија [Johari, 2012]	47	6-7	28-34
	[Bailie, 1999]	39,5	5,6	28,5
	Танзанија [Omari, 2015]	55	5,3	34,8

Кисеоник (O) се појављује у органском и неорганском делу горива. У органском делу као: хидроксил (-OH), обично фенолна група, карбоксилна (CO₂H), метоксилна (-OCH₃) и карбонилна (=C=O) група. У неорганском делу кисеоник се јавља у облику влаге, силиката, карбоната, оксида и сулфата. Слободни кисеоник даје са једним делом водоника воду, тако да се удео водоника у сагоревању смањује за 1/8 садржаја слободног кисеоника. Учествује у оксидацији сагоривих елемената угљеника, водоника и сумпора.

Сумпор (S) у гориву се појављује у три облика: органски везан сумпор, неоргански сумпор (пирит и марказит) и као неоргански сулфати (CaSO₄, FeSO₄). Органски сумпор је сагорив када се појављује у облику: угљен-дисулфида, CS₂ и сумпор-водоника, H₂S. Сумпор је несагорив када се појављује у облику сулфата, а пиритични делимично. При оксидацији сумпора већи део се везује у сумпор-диоксид SO₂, ослобађа се 9.420 kJ/kg, а мањи део се везује у сумпор-триоксид SO₃, ослобађа се 13.816 kJ/kg.

Азот (N) не гори, а обично је органског порекла. При сагоревању на високом температурама реагује са кисеоником и формира токсичне оксиде азота (NO_x).

Дакле, са аспекта горења пожељан је што већи састав угљеника, потом водоника, а са аспекта заштите животне средине неповољни су сумпор и азот.

Учешће елемената у кућном смећу у Србији приказано је у табели 9.3 [Вујић, 2008].

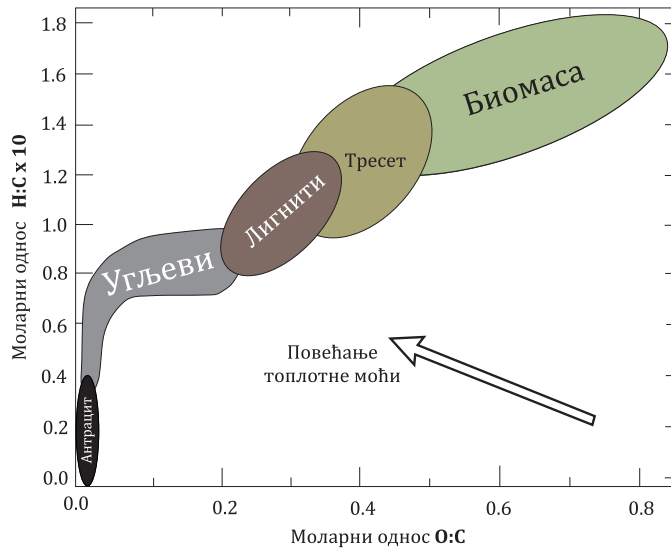
Табела 9.3. Елементарни састав кућног смећа у Србији [Вујић, 2008]

Врста отпада	Угљеник, С,%	Водоник, Н,%	Кисеоник, О,%	Азот, N,%	Сумпор, S,%
Остаци хране	48,0	6,4	37,6	2,6	0,4
Папир	43,5	6,0	44,0	0,3	0,2
Пластика	60,0	7,2	22,8	-	-
Текстил	55,0	6,6	31,2	4,6	0,15
Гума	78,0	10,0	-	2,0	-
Кожа	60,0	8,0	11,6	10,0	0,4
Дворишни	47,8	6,0	38,0	3,4	0,3
Дрво	49,5	6,0	42,7	0,2	0,1
Стакло	0,5	0,1	0,4	<0,1	-
Метал	4,5	0,6	4,3	<0,1	-

Код угљева се може пратити јасна законитост, са старошћу, односно степеном карбонификације расте учешће угљеника, а опада учешће водоника и, посебно, кисеоника. Учешће ових елемената у кућном смећу зависи од морфолошког састава смећа и доста је хетерогено, посматрано од региона до региона. Учешће угљеника је обично мање него у дрвету, водоника између лигнита и дрвета, а кисеоника слично као код тресета.

На слици 9.3. приказан је тзв. Ван Кревеленов дијаграм у којем су приказане уобичајене чврсте сагориве материје у односу на моларни однос водоника и кисеоника са угљеником [Speight, 2013].

Ван Кревеленов дијаграм је један од стандардних начина приказивања хемијског састава органске материје. На осам су дати молски односи кисеоник/угљеник (О/С) и водоник/угљеник (Н/С x 10), тако да се дијаграм може користити за карактеризацију органске материје по типу (састав) и по степену зрелости (карбонификације). Отпад је на дијаграму представљен биомасом, као сагоривом материјом, у горњем десном квадранту, повећано учешће кисеоника и водоника у односу на угљеник, а ту је место и осталог сагоривог отпада.



Слика 9.3. Ван Кревеленов дијаграм

9.3. Топлотна моћ

Од термичких особина горива у односу на сагоревање издвајају се **топлотни ефекат** или топлотна моћ (ДТЕ и ГТЕ или ДТМ и ГТМ) и **топивост пепела**.

Топлотна моћ представља количину топлоте која настане при потпуном сагоревању јединице горива од које је топлота добијена. Директно показује садржај топлоте (енергије) у гориву, а представља комбинацију топлоте сагоревања угљеника, водоника и сумпора (из органске материје и из пирита):

$$H = \frac{Q}{m} \quad (9.1)$$

где је: H – топлотна моћ горива, kJ/kg ,
 Q – количина ослобођене топлоте, kJ ,
 m – маса горива, kg

С обзиром на услове у којима се процес сагоревања одвија, разликује се:

- топлотна моћ при константном притиску, и
- топлотна моћ при консантној запремини,

а с обзиром на топлотни ниво продуката сагоревања насталих приликом одређивања топлотне моћи:

- горња (ГТЕ, ГТМ), и
- доња топлотна моћ (ДТЕ, ДТМ).

Како је разлика између топлотних моћи одређених при константној запремини и при константном притиску врло мала – мања од грешке која се чини приликом експерименталног одређивања, у техничким прорачунима она се занемарује и не наглашава се под којим је условима одређена.

Разлика између горње и доње топлотне моћи проистиче из тога у којем стању се налази влага, течном или гасовитом, табела 9.4. Код одређивања ГТЕ претпоставља се да се све што је испарило током сагоревања кондензовало, док се код ДТЕ сматра да није дошло до потпуне кондензације.

Табела 9.4. Разлика између ГТМ и ДТМ

Горња топлотна моћ	Доња топлотна моћ
угљеник и сумпор налазе се у облику својих диоксида (CO ₂ и SO ₂) у гасовитом стању, док до оксидације азота није дошло	
продукти сагоревања доведени су на температуру коју је гориво имало на почетку (20 °C);	
вода, која у продуктима сагоревања потиче од влаге из горива и од сагорелог водоника, преведена је у течно стање, што је условљено и претходним условима – хлађењем продуката сагоревања до 20 °C	вода у продуктима сагоревања остаје у стању паре

Из разлике у количини топлоте која се добија ако се вода преведе из парног у течно стање (која се губи, ако вода остане у парном стању) добија се општа веза између горње (H_g) и доње (H_d) топлотне моћи:

$$H_g = H_d + 25 (9H+W), \text{ kJ/kg} \quad (9.2)$$

где су: H – месени проценат водоника у угљу,
W – месени проценат влаге у угљу.

Члан 9H чини месени проценат воде, настао сагоревањем n процената водоника из горива (из стехиометријске једначине сагоревања водоника следи да сагоревањем 1 kg водоника са 8 kg кисеоника настаје 9 kg воде).

Члан 25 је стоти део, заокружене, вредности латентне топлоте испаравања воде (за испаравање једног килограма воде температуре 20 °C и њено превођење у парно стање на атмосферском притиску потребно је око 2450 kJ/kg, а стоти део ≈ 25).

Доњи топлотни ефекат или моћ може се прорачунати из елементарног састава горива по обрасцу (ДТЕ је у MJ/kg):

$$DTE = 33,9 \cdot C + 117,0 \cdot \left(H - \frac{O}{8} \right) + 10,5 \cdot S - 2,5 \cdot w \quad (9.3)$$

Влага и пепео битно утичу на топлотну моћ јер се део енергије (топлоте) троши на испаравање влаге, односно на загревање пепела.

Топлотна моћ најчешћих компоненти кућног и комуналног отпада приказана је у табели 9.5 [Вујић, 2008].

Табела 9.5. Топлотна моћ неких компоненти отпада, подаци су дати без влаге [Вујић, 2008]

Компонента отпада	ДТЕ (MJ/kg)	Компонента отпада	ДТЕ (MJ/kg)
Папир	17,7	Дрво	20,0
Пластика	33,5	Отпад од хране	15,1
Гума и кожа	23,5	Отпад из дворишта	17,0
Текстили	32,5	Стакло, керамика, метали	0

Стварна топлотна моћ кућног и комуналног отпада добија се као резултанта компоненти морфолошког састава са укљученом влагом.

9.4. Топивост пепела

Карактеристичне температуре топивости пепела зависе од састава пепела односно топивости појединих компоненти. Топивост пепела није универзална физичка карактеристика која објашњава низ сложених појава при лепљењу пепела или образовању шљаке на зидовима ложишта, али се показало да је опредељујућа у оцени склоности пепела зашљакивању.

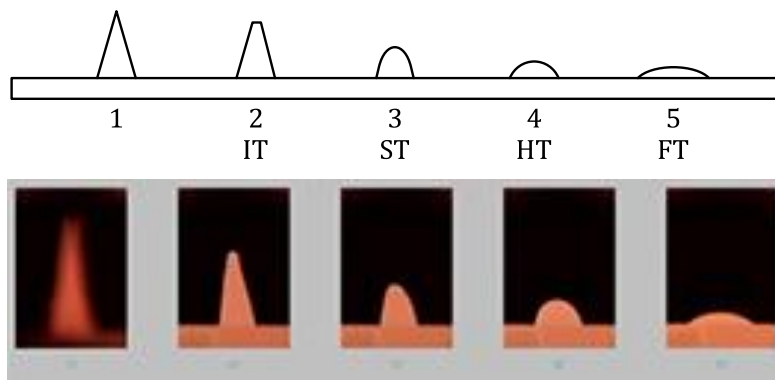
Пепео, као мешавина више компонената нема једну одређену температуру топљења. Појава топљења се јавља у одређеном температурском интервалу. За оцену понашања пепела на повишеним температурама најчешће се користи метода којом се, током загревања, посматра промена геометрије узорка пепела. Данас се користе аутоматски уређаји и софтвери који дефинишу ове температуре.

Одређују се следеће температуре (ознаке са слике 9.4, горе):

- **IT** (енгл. initial deformation – српски: температура синтеровања), врх конуса почиње да се деформише, температура на којој пепео постаје лепљив и почиње да се хвата на зидове озиде (разара их) или да се лепи на/у цевима за размену топлоте (запушавање и блокада котла),
- **ST** (енгл. softening temperature – српски: температура омекшавања), конус је деформисан до сферичног облика, почиње процес лепљења пепела за цеви,
- **HT** (енгл. hemispherical temperature – српски: температура полулопте), настављено је деформисање до облика полулопте, убрзан је тренд лепљења на површину цеви,
- **FT** (енгл. fluid temperature – српски: температура течења или разливања), пепео је у флуидном стању, али прелази у чврсти клинкер који условљава велико зашљакивање.

Одлучујући утицај на топивост пепела нема количина пепела већ његов састав.

Пепео има нижу температуру топљења, ако има мање силиката и алуминијумових једињења (видети – хемијске карактеристике отпада), односно ако је његов састав различит од састава земљине коре.



Слика 9.4. Понашања пепела на плочи у зависности од температуре (шематски и фотографисан)

Једињења гвожђа, алкалије (нарочито натријум-сулфат Na_2SO_4), једињења земноалкалних метала и једињења сумпора имају велики утицај на температуру топљења пепела, тако што је ова температура нижа, ако је присуство споменутих једињења у већој количини.

Према температури топљења пепео се дели на:

- лакотопив – температуре топљења до $1200\text{ }^\circ\text{C}$,
- топив – температуре топљења од $1200\text{--}1350\text{ }^\circ\text{C}$,
- тешкотопив – температуре топљења од $1350\text{--}1650\text{ }^\circ\text{C}$, и
- практично нетопив са температуром топљења преко $1650\text{ }^\circ\text{C}$

Користи се и "индекс топовости" којим се дефинише однос тешко и лако топових оксида:

$$F = \frac{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \dots} \quad (9.4)$$

Према индексу топовости, пепео може бити:

- лако топив, уколико је $F = 0,2\text{--}1,5$
- средње топив, уколико је $F = 1,5\text{--}2,5$
- тешко топив, ако је $F = 2,5$

Горива чији пепели садрже пуно гвожђа проузрокују зашљакивање котловских грејних површина.

Основни критеријуми који се срећу у литератури су односи појединих оксида који сачињавају пепео као што су: однос база/киселина (базни број), однос силицијум/алуминијум, однос гвожђе/калцијум, однос гвожђе/доломит, проценат доломита (ДП) и проценат силицијума (СП); затим фактор Проста (Prost), индекс топовости, фактор Тјунеа (Tune), фактор Николса (Nicholls) и Селвига (Selvig), фактор Шафера (Schafer) и др. [Јовановић, 2001]

Однос базичних и киселих оксида рачуна се по обрасцу:

$$\frac{B}{A} = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2} \quad (9.5)$$

Горива код којих је однос В/А изнад 0,14 сматрају се лошим (подложни зашљакивању), а када је испод 0,11 повољним (не очекује се зашљакивање). Прелазна гупа је када је В/А 0,11-0,14

Индекс зашљакивања се рачуна по обрасцу:

$$R_s = S_{\text{сuv}} \cdot \frac{B}{A} \quad (9.6)$$

Низак потенцијал за зашљакивање имају горива код којих је индекс зашљакивања испод 0,6.

9.5. Самозапаљивост

Самозапаљивост је временски оксидациони процес који се догађа на собној или незнатно повишеној температури као последица биолошких, физичких и хемијских реакција које се дешавају, под одређеним условима, у горивом материјалу. Процес оксидације одвија се на површини материјала подложног оксидацији. Неке чврсте материје на својој површини апсорбирају кисеоник из ваздуха. Апсорпцијом кисеоника процес оксидације може се јако убрзати, а праћен је ослобађањем топлоте (егзотермна реакција). Топлота се ствара у гомили реакцијом отпада са кисеоником из атмосфере, при чему присуство воде има утицаја на реакцију. Уколико се створена топлота не може одвести односно изгубити, оксидација и стварање топлоте ће се убрзавати. Након одређеног времена температура ће достићи тачку у којој почиње упала.

Самозагревање отпада најчешће је везано за његово држање на гомилама, које се налазе на отвореном простору. Пожари изазвани самозапаљењем могу бити површински и унутрашњи. Површински се лако уочавају, за разлику од унутрашњих који су комплекснији, теже се уочавају и могу изазвати већу штету и загађење у окружењу.

Сам процес самозапаљења зависи од низа фактора на које се увек не може утицати. Фактори на које се не може утицати укључују сам отпад и амбијенталне услове (клима). Фактори на које се може утицати су везани за управљање отпадом, посебно депонијом, њеним пројектовањем и формирањем.

9.5.1. Фактори које утичу на самозапаљење отпада

Карактеристике отпада које утичу на брзину оксидације и процес самозагревања отпада укључују врсту отпада, садржај влаге, порозност и минерални састав.

Отпади склоне самозапаљењу могу се сврстати у пет основних група:

- 1) отпади биљног порекла,
- 2) отпадни угаљ, односно јаловина у којој има и угља,
- 3) отпади природно богати, натопљени или замашћени уљима,

- 4) хемијски нестабилни отпади тзв. реактивне материје,
- 5) хемијски релативно стабилни отпади угљоводоничног порекла.

Отпади биљног порекла су чести у пољопривредној и сточарској производњи (влажно сено, отпад од чишћења штала и сл.). Отпад биљног порекла се депонује на сопственим и комуналним депонијама. Температура на овим депонијама, у нормалним условима, креће се у опсегу од 25 до 60 °C и углавном је последица микробиолошке активности и разлагања органског дела отпада. Ово разлагање производе мезофилни (микроорганизми чија је оптимална температура 20-40 °C, минимална температура испод које се не развијају је 10 °C, а максимална 52 °C) и термофилни (микроорганизми чији је оптимум 45-65 °C) микроорганизми, а резултат њихове активности је повишење температуре и стварања метана. Достицањем температуре од 60 °C драстично се смањује активност микроорганизама и издвајање метана, али се процес оксидације наставља [Martin et al., 2013].

Отпадни угљ, односно јаловина у којој има примеса угља, прати све руднике угља и сва постројења за прераду угља. Његово одлагање врши се на гомиле непосредно уз место издвајања, када је маса мала, или на депоније, када је маса тог "угља" велика.

Отпадне материје натопљене уљима се срећу на постројењима где се претачу уља, по радионицима и сл. До самозапаљења уља и масти најчешће долази ако су натопљене у материјале који су лоши проводници топлоте, а могу се лако упалити (тканине, памук, папир итд.). Од уља, која могу бити минерална, биљна и животињска, самозапаљењу су најсклонија уља биљног порекла. Масти и уља која садрже велику количину глицерида назасићених киселина имају способност самозапаљења.

Реактивне материје које прате хемијску индустрију или се користе у другим индустријама и када се одбаце могу проузроковати самоупалу и пожар. Исто то је могуће и код релативно стабилних отпада када се испуне остали услови.

Садржај влаге директно утиче на процес самозапаљења отпада. Депоновани отпад са већим садржајем влаге има мању тенденцију самозапаљења, при чему је потребан дужи временски период да се постигне тачка паљења. Отпад при депоновању може добити или изгубити влагу. Када сув или делимично сув отпад апсорбује влагу ствара се топлота. Ова топлота "услед повећања влажности" може бити значајна уколико нема губитака топлоте.

Губитак влаге из отпада услед десорпције и испаравања је ендотерман процес. Температура отпада се снижава при чему се успорава процес самозагревања [Игњатовић и др., 2007]. Губитак влаге се јавља када ваздух мале релативне влажности струји кроз одложени отпад. Тада се одржава константна температура све док постоји влага у отпаду. Сушењем отпада температура расте због топлоте оксидације која не може бити одстрањена испаравањем. Ово доводи до локалног паљења у гомили. Пожељно је да се код струјања ваздуха не дозволи дубоко продирање кисеоника и влажности у масу отпада, јер су ту губици топлоте минимални.

Порозност депонованог отпада зависи од гранулометријског састава, запреминске густине у гомили и начина формирања гомиле (депоније). Ако су комади

отпада уједначене крупноће, простор шупљина у гомили је релативно велики. У овом случају може доћи до загревања, али је оно обично избалансирано ефектом хлађења услед већих брзина струјања ваздуха кроз депоновани отпад и релативно ниске способности хемијске реакције већих комада отпада.

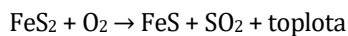
Крупноћа има велики утицај на самозапаљивост. Уколико су комади отпада ситнији и променљивост крупноће већа, способност хемијске реакције је већа, али порозност депоније ће бити релативно мала и конвективна струја ваздуха неће бити у могућности да дубље продре у масу депоније.

На карактеристике проветрености депоније отпада може утицати **сегрегација**, односно раздвајање комада отпада по величини у процесу формирања гомиле. Ово је нарочито изражено уколико је распон у крупноћи отпада велики, јер се тада стварају идеални услови за самозагревање, односно долази до "ефекта оцака". Ваздух слободно пролази кроз спољашњи део гомиле и узлазно струји кроз гомилу ефектом оцака уз додатно загревање, слика 9.5. Ситније фракције у средини гомиле су изложене кисеонику и утицају влаге са могућношћу стварања топлоте.



Слика 9.5. Ефекат оцака код самозапаљења отпада на гомили

Минералне компоненте садржане у отпаду могу повећати или умањити дејство самозапаљења. На пример, сулфиди гвожђа FeS, FeS₂, Fe₂S₃ склони су самозапаљењу, па су врло често узрок самозапаљења. Основни узрок њиховог самозапаљења је способност оксидације кисеоником из ваздуха, чак и при собној температури уз истодобно ослобађање топлоте:



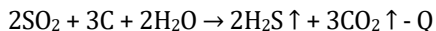
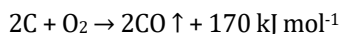
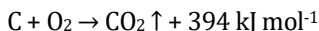
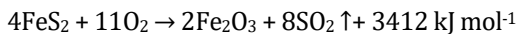
Добијена топлота убрзава реакцију.

Самозапаљењу сулфида метала потпомаже и влага, па процес тече по формули:

Сулфид метала + кисеоник + вода = хидратисани сулфати + сумпор + топлота

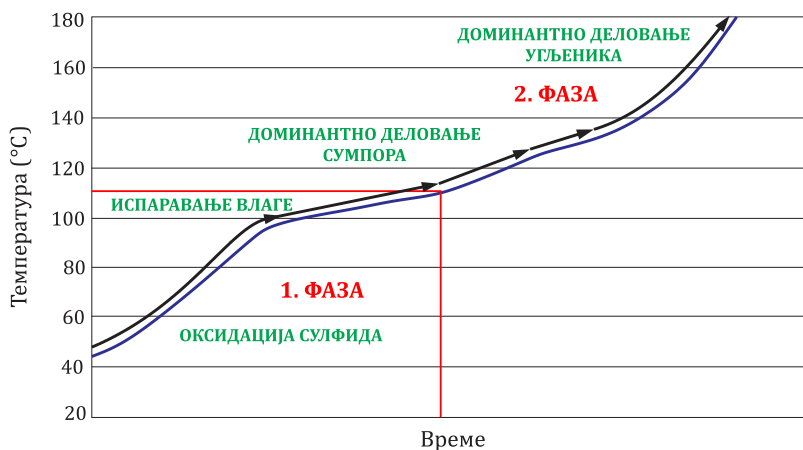


Процес самозапаљења се даље наставља, уз производњу велике количине гасовитих полутаната (SO_2 , CO , CO_2 , H_2S) и топлоте [Liu et al., 1998]:



Процењује се да 1 t запаљеног угљеног отпада произведе 0,84 kg SO_2 , 0,61 kg H_2S , 0,03 kg NO_x , 99,7 kg CO и 0,45 kg дима [Liu et al., 1998].

Двофазност процеса самозапаљења приказана је графички на слици 9.6.



Слика 9.6. Фазе у процесу самозапаљења сулфида метала

У првој фази долази до оксидације сулфида и потпуног испаравања влаге, док у другој фази долази до доминантног деловања најпре сумпора, а потом угљеника и константног повишења температуре [Beamish, Theiler, 2016]. Порекло и сумпора и угљеника је органско.

Делимична елементарна анализа узорака угљеног отпада пре и после самозапаљења дат је у табели 9.6 [Ribeiro et al., 2016].

Табела 9.6. Делимична елементарна анализа узорака угљеног отпада пре и после самозапаљења [Ribeiro et al., 2016]

	Узорак	Пепео, %	C, %	H, %	N, %	S _{ук} , %
незапаљен	1	61,2	84,1	3,3	1,8	1,2
после самозапаљења	2	95,6	33,1	4,6	3,4	0,6
	3	98,4	15,5	8,1	8,7	0,4

Очигледно је да се садржај пепела знатно повећао, слика 9.7, да су сагорљиви водоник и сумпор сагорели, док се релативно учешће водоника и азота повећало.

Натријум и калијум имају каталитичко дејство на самозапаљивост нарочито када су присутни као органске соли. Петрографски састав отпада такође има утицаја на самозапаљивост.



Слика 9.7. Самоупала угља и новонастали пепео (светлије боје)

Сентралија (Centralia) је рударски градић у Пенсилванији (САД). Десетинама година испод града је био активан подземни рудник угља. Маја 1962. градић се спремао за прославу Дана сећања, па је Градски одбор донео одлуку да се приступи чишћењу града. Посебан проблем је била депонија смећа. Уобичајени начин чишћења депоније смећа било је њено паљење. Депонија је запаљена, а наливање водом из ватрогасних црева био је уобичајени метод спречавања ширења ватре ван депоније. Међутим, дошло је до паљења заосталих резерви угља у руднику и ширења ватре кроз напуштене рудничке ходнике. На површини се појавила ватра и отровни гасови (највише као CO и CO₂) чиме је цео градић постао угрожен. Температура на површини је континуирано расла, појавиле су се рупе и удолине, дошло је до пуцања асфалта и урушавања аутопута. Акција спасавања укључивало је наливање рудника водом, запуњавање ходника глином и камењем, попуњавање ходника мешавином пепела и воде итд. Резултата, који би значили гашење пожара и престанак димљења, није било, па је донесена одлука да се градић потпуно исели, а траса аутопута измести на сигуран терен. Од 2013.г. температура земље опада, смањују се видљиви ефекти на површини јер се ватра преселила у дубље делове рудника. Процењује се да ће угљак горити још најмање 250 година

[https://en.wikipedia.org/wiki/Centralia_mine_fire, Anon, Centralia, PA — The ghost town that's still on fire, (2017), <http://www.ripleys.com/weird-news/centralia-mine-fire/>].

Најдуже горење изазвано подземном самоупалом угља бележи се у Немачкој у месту Брененден берг (Brennender Berg), у преводу Запаљена планина, у којем је до самоупале дошло још 1688.г. [<http://mentalfloss.com/article/52869/5-places-are-still-fire>]



Топлотна проводљивост отпада утиче на величину губитака топлоте у гомили. Развијеност оксидације депонованог отпада може утицати на процес самозагревања.

Старост отпада утиче на снижавање брзине оксидације отпада. Ризик од самозапаљења отпада је већи када се депонује свеж отпад, нарочити за време првих недеља депоновања.

Утицај карактеристика отпада на самозапаљивост је комплексан и у међусобном односу са другим факторима, као што су на пример време стајања отпада на гомили, пројектовање депоније и климатски услови.

Климатски фактори који значајно утичу на самозапаљивост отпада су: влажност ваздуха, падавине, температура, изложеност сунцу и изложеност ветру.

Отпад губи или добија влагу зависно од атмосферских услова. Сув околни ваздух може делимично да осуши отпад, стварајући услове за адсорпцију влаге и стварање топлоте услед дејства топлоте влажења. Губитак влаге испаравањем је обично мали, али ипак може бити значајан у врелим и сушним периодима. Развој пожарних процеса је обично везан за периоде када након већих киша дође дужи период сувог, сунчаног времена. Нагла промена релативне влажности и барометарског притиска такође резултира развојем пожара. Пожари се посебно јављају на местима између влажног и сувог отпада. Из наведеног разлога се не препоручује депоновање потенцијално самозапаљивог влажног преко сувог отпада.

Разлика у температури између околног ваздуха и депонованог отпада има значајан утицај на успостављање струјања ваздуха унутар гомиле, брзину оксидације и величину пораста температуре. Струјање ваздуха природном конвекцијом се јавља када је температура гомиле виша од температуре околног ваздуха. Почетна температура отпада који се депонује је од велике важности. Препоручљиво је хлађење загрејаног отпада пре депоновања. Промена дневне и сезонске температуре условиће раст температуре отпада у гомили. Загревање услед сунчевог зрачења доводи до пораста температуре депоније. Температура депоније отпада у зимском периоду може бити виша него у летњем. Стварање и пренос топлоте у гомили отпада је спор процес и уобичајено траје неколико месеци [Игњатовић и др., 2007].

Ветар има значајну улогу у процесу самозапаљења отпада на гомили. Дување ветра у бок депоније изазива продор свежег ваздуха дубље у масу отпада, додавање више кисеоника, и пораст топлоте која се ствара. Утицај ветра такође доводи до делимичног сушења отпада. Испитивања показују да се пожари најчешће јављају на страни депоније према којој дува ветар, и где су бокови депоније стрми. Сабијање отпада у гомили смањује порозност и тиме струјање ваздуха унутар депоније. Температура депоније на страни према којој дува ветар у случају гомила где је отпад сабијен је знатно нижа него у случају када отпад није сабијен [Игњатовић и др., 2007].

Лабораторијска испитивања склоности отпада самозапаљењу, која се примењују у науци и пракси, су: адијабатска калориметрија, изотерска калориметрија, мерење тачке укрштања температура (crossing point temperature measurements), диференцијална термичка анализа, сорпција кисеоника итд.

У нашој рударској науци и пракси испитивања склоности угљева самозапаљењу вршена су по методологији Олпинског, варијанти адијабатске калориметрије. У оквиру ових испитивања утврђује се природни индекс самозапаљења отпада са влагом и пепелом (СЗА – природни индекс самозапаљења отпада са влагом и пепелом, °C/min).

9.5.2. Детекција самозапаљења

Индикатори унутрашњег самозапаљења су:

- 1) гасови и повишена температура,
- 2) смањење производње метана, без повећања водоника или концентрације амонијака,
- 3) подизање концентрације угљен-моноксида,
- 4) дим, пара, мириси и остаци паљења,
- 5) неуобичајено брзо слегање депонованог отпада.

Рана детекција процеса самозапаљења отпада је веома важна за сигурно одлагање отпада и свођење губитака отпада због самозагревања на минимум. Трошкови за мониторинг гомила за складиштење великих количина отпада су мали у поређењу са укупном штетом која може настати. Самозапаљивост отпада се често детектује визуелно, опажањем појаве ослобађања дима или паре из депоније (слика 9.8) или топљења снега и леда на различитим локацијама на гомили у зимском периоду. У периодима велике влажности атмосфере, загрејане површине на гомили се могу идентификовати преко светлије боје површине отпада осушеног ослобађањем топлоте. У овим случајевима процес самозагревања је већ у поодмаклој фази развоја и неопходно је ургентно применити неку од мера за спречавање даљег развоја процеса самозагревања отпада.



Слика 9.8. Визуелна манифестација самозапаљење биолошког отпада

За рану детекцију и мониторинг процеса самозапаљивости примењују се принципијелно две технике: мерење температуре и анализа гасова.

Најједноставнији метод за мерење температуре унутар депоније састоји се у утискувању гвоздене или челичне цеви са термоелементима у отпад на гомили. Основни недостатак ове методе је ограниченост њене примене у случају гомила са свакодневним одлагањем и узимањем отпада због ометања рада опреме на гомили.

Одређивање места за мониторинг гомиле је од велике важности имајући у виду да одређени делови, као на пример стране изложене дејству ветра, имају већу склоност самозапаљењу него други делови.

Места загревања на гомилама услед процеса самозагревања су врло често локалног карактера тако да у почетку детекција применом опреме инсталисане на регуларној мрежи може бити неефикасна [Игњатовић и др., 2007].

Инфрацрвени детектори, ручни или фиксирани на одређеним локацијама, се примењују за индицирање температура на гомилама отпада. Међутим, на тај начин се индицира пораст температуре на површини гомиле или присуство топлих гасова емитованих у процесу топлотне конвекције. Евидентан пораст температуре површине отпада на гомили се јавља тек након развоја оксидационих процеса унутар депоније при чему ће вероватно, у међувремену, постојати и визуелни знаци самозапаљења. Метода мерења температуре инфрацрвеним детекторима се примењује за мерења на великим површинама у кратком временском периоду при чему треба водити рачуна о великом утицају временских прилика на поузданост мерења.

Анализирање гасног стања унутар депоније, такође, може помоћи у идентификовању појаве самозагревања отпада. Концентрација угљен-моноксида од 20 или више ppm у гомили, на дубини од 1,5 m, поуздано индицира да се процес самозагревања развија [Игњатовић и др., 2007]. Ово не важи за депоније комуналног отпада јер на тим депонијама повећање угљен-моноксида може бити последица и аеробног распадања органске компоненте [Powell et al., 2006, Moqbel, 2009].

Постојање угљен-диоксида у концентрацији већој од 1%, уз смањену концентрацију кисеоника, показује да је унутар депоније формирана инертна атмосфера. Са инертном атмосфером унутар депоније и онемогућавањем продирања ваздуха у њу, смањује се вероватноћа појаве самозапаљења.

На гомилама отпада, нарочито несобијаним, као последица оксидационих процеса поред угљен-моноксида и угљен-диоксида јављају се и различити угљоводоници и водоник. Присуство ових гасова повећава ризик од могућности настанка ендегених пожара.

Литература

- [1] Новаковић Љ., (1976), Угљена материја и њена мељивост, Рударски институт, Београд,
- [2] Best Available Techniques (BAT) Reference Document on Waste Incineration, (2017) European Union
- [3] Berkovitz N, (1979), An Introduction to coal Technology, Academic Press, San Diego,
- [4] Томанец Р., (2000), Методе испитивања минералних сировина у припреми минералних сировина, Рударско-геолошки факултет, Београд
- [5] Speight J.G, (2005), Handbook of coal analyses, Wiley Interscience, John Wiley and sons Inc.,
- [6] Speight G.J., (2013), The Chemistry and Technology of Coal, 3rd Edition, CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton
- [7] Правилник о категоријама, испитивању и класификацији отпада, Сл. Гласник, 56/2010
- [8] Chandler A.J., Eighmy T.T., Hjelmar O., Kosson, D.S. Sawell, S.E. Vehlow J., van der Sloot H.A., Hartlén J., (1997), Municipal Solid Waste Incinerator Residues, Elsevier, Amsterdam,
- [9] Wilson D. L., (1972), Prediction of Heat of Combustion of Solid Wastes from Ultimate Analysis, Environmental Science & Technology, Volume 6, Number 13, 1119-1121
- [10] Johari A., Hashim H., Mat R., Alias H., Hassim M. H., Rozainee M., (2012), Generalization, formulation and heat contents of simulated msw with high moisture content, Journal of Engineering Science and Technology Vol. 7, No. 6, pp. 701 – 710, School of Engineering, Taylor' s University
- [11] Bailie R.C, Everett J.W, Lipták B. G, Liu D.H.F, Mack Rugg F, Switzenbaum, M. S., (1999), Solid Waste, CRC Press LLC, [http://www.solanova.energia.bme.hu/pub/hullgazd/ Environmental%20Engineers'%20 Handbook/Ch10.pdf](http://www.solanova.energia.bme.hu/pub/hullgazd/Environmental%20Engineers'%20Handbook/Ch10.pdf)
- [12] Omari A.M, (2015), Characterization of Municipal solid waste for energy recovery. A case study of Arusha, Tanzania, Jour. of Multidiscip. Engin. Science and Technology (JMEST) Vol. 2 Iss. 1,
- [13] Вујић Г., Мартинов М., Станисављевић Н., Убавин Д., Штрбац Д., Батинић Б., Дворнић А., Веселинов Б., (2008), Студија могућности коришћења комуналног отпада у енергетске сврхе на територији АП Војводина, Факултет техничких наука, Нови сад
- [14] Јовановић М., (2001), Оцена склоности пепела мешавине угљева на прљање и зашљакивање котловских грејних површина, Термотехника 26, бр. 1-4, стр. 11-24
- [15] Игњатовић Д., Кнежевић Д., Колоња Б., Лилић Н., Станковић Р., (2007), Управљање квалитетом угља, Рударско-геолошки факултет, Београд
- [16] Beamish B., Theiler J., (2016), Understanding waste rock spontaneous combustion,

- [17] www.ausimmbulletin.com/feature/understanding-waste-rock-spontaneous-combustion/
- [18] Liu C., Li S., Qiao Q., Wang J., Pan Z., (1998), Management of spontaneous combustion in coal mine waste tips in China, *Water, Air, and Soil Pollution* 103: 441–444, Kluwer Academic Publishers
- [19] Ribeiro J., Suárez-Ruiz I., Flores D., (2016) Geochemistry of self-burning coal mining residues from El Bierzo Coalfield (NW Spain): Environmental implications, *Inter. Journal of Coal Geology* 159, 155–168
- [20] Moqbel S.Y., (2009), Characterizing spontaneous fires in landfills, PhD, Department of Civil, Environmental and Construction Engineering in the College of Engineering and Computer Science at the University of Central Florida, Orlando
- [21] Powell J., Pradeep J., Hwidong K., Townsend T., Reinhart D., (2006), Changes in Landfill Gas Quality as a Result of Controlled Air Injection, *Environ. Sci. Technol.*, 40, 1029-1034
- [22] Martin W. J., Stark T.D., Thalhamer T., Gerbasi-Graf G.T., Gortner E., (2013), Detection of Aluminum Waste Reactions and Waste Fires, *J. Hazard. Toxic Radioact. Waste* 2013.17:164-174

10. УПРАВЉАЊЕ ОТПАДОМ



Лука Илинчић MSc

Логичан наставак процеса карактеризације отпада јесте дефинисање/избор поступка за руковање/управљање са њим. У овом поглављу обрађени су основни појмови везани за управљање отпадом. Образложени су принципи управљања отпадом и дати елементи за израду плана управљања отпадом.

Управљање (код нас се често користи и назив менаџмент), је скуп активности (планирање, организовање, вођење, контролисање) групе (тима) пословних људи, који коришћењем доступних ресурса раде на постизању одређеног циља.

Управљање отпадом јесте спровођење прописаних мера за поступање са отпадом у оквиру сакупљања, транспорта, складиштења, третмана, односно поновног искоришћења и одлагања отпада, укључујући и надзор над тим активностима и бригу о постројењима за управљање отпадом после затварања и активности које предузима трговац и посредник [Закон о управљању отпадом, 2016]. Дакле, законодавац није предвидео планирање мера и поступака за управљање отпадом

већ само спровођење (организовање, вођење) и надзор (контрола), мада стварно управљање (и отпадом) започиње и равна се према плановима.

Отпад може негативно утиче на животну средину, уколико се с њим адекватно не управља. Неефикасни системи управљања отпадом не решава проблем загађења животне средине, упркос трошењу ресурса. Сама животна средина има ограничене капацитете у погледу потпуног или делимичног елиминисања створеног отпада. Повећање количине отпада, који премашује капацитет животне средине, доводи до њеног загађења и уништења природних ресурса. Због овога све земље, у оквиру регулативе и планских докумената, промовишу одрживо управљање отпадом које, у првом реду, почива на смањењу настајања отпада, односно решавање проблема отпада на самом извору. Принцип смањења количине отпада обухвата иницијативе за увођење чистије технологије, и свеобухватне кампање ширења јавне свести код становништва, у школама и сл.

Политика ЕУ о отпаду наглашава развој мера као што су:

- промовисање чистије производње,
- третирање отпада ради уклањања опасних карактеристика,
- успостављање техничких стандарда који би ограничили садржај одређених опасних материја у производима,
- промовисање поновног коришћења и рециклаже отпада,
- примена економских инструмената,
- анализа животног циклуса производа,
- развој система еко-обележавања.

Спровођење политике заштите животне средине заснива се на принципу предострожности и принципу превенције. Свака активност треба да буде планирана и спроведена на начин да проузрокује најмању могућу промену у животној средини и да представља најмањи ризик по животну средину и здравље људи и здравље животиња, смањи оптерећење простора и потрошњу сировина и енергије у изградњи, производњи, дистрибуцији и употреби.

Често се може прочитати да је спас у три или пет појмова који, на енглеском језику, почињу словом Р (*reduce, reuse, recycling*) – смањење, поновно коришћење, рециклирање, односно (*Reduce, Reuse, Recycle, Recover, Residuals Management*) – ..., искоришћавање, управљање отпадом [BC, 2016].

10.1. Кључни принципи управљања отпадом

Принципи (или начела) су директиве, смернице, путокази, основна правила, постулати за рад усмерени ка одређеном циљу. То су критеријуми за деловање и просуђивање.

У светским размерама широкоприхваћеним принципима управљања отпадом дефинисани су многи технолошки и организациони елементи, али из њих произлазе правне и економске последице. Те последице могу бити прихватљиве за заједницу и окружење, али могу бити отежавајуће за произвођаче отпада. Као и сви принципи они имају и извесну меру филозофског и спознајног тумачења, по правилу, нису једнозначни и често се "читају" на различите начине. Посебно је то

изражено када се неки од принципа жели применити у судској пракси или при дефинисању економских инструмената, којима се жели унапредити животна средина, без претерано негативног утицаја на производњу, запошљавање и развој окружења/краја.

Кључни принципи који се узимају у обзир приликом успостављања и имплементације плана управљања отпадом су:

- принцип одрживог развоја,
- принцип хијерархије у управљању отпадом,
- принцип предострожности,
- принцип близине и регионални приступ управљању отпадом,
- принцип избора оптималне опције за животну средину,
- принцип загађивач плаћа,
- принцип одговорности произвођача.

Неки од побројаних принципа (одрживи развој, предострожност, загађивач плаћа, одговорност) нису везани само за отпад, већ за све активности које се тичу управљања свим еколошким системима.

У српском Закону о управљању отпадом наведени су следећи принципи:

- принцип избора (нај)оптималн(и)је опције за животну средину,
- принцип самодовољности,
- принцип близине и регионални приступ управљању отпадом;
- принцип хијерархије у управљању отпадом;
- принцип одговорности произвођача.
- принцип загађивач плаћа.

Дакле, у српском Закону се не третирају принципи одрживог развоја и предострожности. Међутим, када се разматра начело хијерархије наводи се да се "*... узимају у обзир општи принципи заштите животне средине, предострожности и одрживости, техничке изводљивости и економске вредности, заштите ресурса, као и укупан утицај на животну средину, здравље људи, економски и социјални утицаји*".

Како сви принципи нису прецизни и не читају се једнозначно појављује се проблем је њихове доследне примене.

10.1.1. Принцип одрживог развоја

Принцип одрживог развоја полази од потребе задовољења потреба садашњих генерација без угрожавања права будућих генерација да задовоље своје потребе. Принцип промовише равномеран развој, уз економски раст који обезбеђује смањење сиромаштва, праведну расподелу богатства, унапређење квалитета живота и смањење нивоа загађења на ниво капацитета чинилаца животне средине, спречавање будућих загађења и очување биодиверзитета. Одрживо управљање отпадом значи ефикасније коришћење ресурса, смањење количине произведеног отпада и, када је отпад већ произведен, поступање са њим на такав начин да то допринесе циљевима одрживог развоја.

Термин одрживост означава способност трајања. Идеја о одрживости је потпуно природна. Природна или еколошка одрживост је очигледна на примерима

прашума и великих шумских система који опстају вековима и који се сами обнављају кроз природне процесе одумирања и раста новог живог света у њима. Слично је и са океанским, морским и језерским аквасистемима, великим мочварама и другим сложеним биолошким и еколошким системима. Сама природа, независно од човека, поседује својства и способности одрживости у смислу дуговечног очувања и продукције живог света током еволутивног развоја планете Земље. У тај природни свет својим активностима убацио се човек, као део система [Павловић, 2011].

Принцип одрживости, који укључује и људско деловање, практично се своди на обновљивост и равномерност у коришћењу природних ресурса. Обновљивост је везана за временску димензију у којој се ресурси могу обновити (нпр. шумски фонд), а равномерност у постепености коришћења необновљивих ресурса (нпр. угља, нафте), која треба да и наредним генерацијама омогући опстанак и развој.

Науру је мало корално острво у Јужном Пацифику, површине 21 km², са мање од 10.000 становника. Његова историја симболично говори о неодрживом развоју. Аутохтоно становништво Науруа живело је хиљадама година од риболова и продаје тропског воћа. Кључни тренутак у историји острва догодио се 1900. г., када су откривене богате резерве фосфата, насталог од птичијег измета - гуана. Од 1906. г. странци (Немачка, Аустрија, Јапан) су кренули са експлоатацијом фосфата и убирањем профита. Науру је постао независан 1968. г., па је становницима, а не страним рударским компанијама, припао профит. Крајем 1980-их, Науру је био најбогатија држава на свету, мерено дохотком по глави становника. Али, деведесетих година прошлог века, резерве су готово исцрпљене, а богатство острва је лошим управљањем изгубљено. Исцрпљивањем фосфата незапосленост на острву је достигла 90%. Од тада је земља уплетена у низ скандала, укључујући нерегулисан банкарски сектор, постали су тзв. порески рај, продају пасоша свима који су спремни да плате и формирање стотина избегличких кампова за мигранте у замену за помоћ аустралијске владе итд. Све ово прати и еколошка катастрофа изазвана несанирањем напуштених копова, потпуним уништавањем земљишта и тропске вегетације. Данас је Науру најсиромашнија држава на свету и типичан пример неодрживог коришћења необновљивог ресурса [Nihart, 2014, Gowdy, McDaniel, 1999].

Одрживост у коришћењу необновљивих ресурса уводи димензију одговорности у коришћењу тих ресурса у односу на потребе будућих генерација. Са становишта еколошке етике постоји неоспорна одговорност постојећих генерација према будућим. Једно од кључних начела еколошке етике је да постојеће генерације будућим треба да оставе приближно једнаке, ако не и боље, услове за продужетак квалитетног живота. Са тог становишта недопустиво је да се постојеће генерације понашају расипнички према природним ресурсима.

Дакле, могу се уочити три димензије значења појма одрживост:

- прва, најстарија и најопштија, **природна еколошка одрживост**, која представља способност самообнављања и трајања живота и сложених екосистема који укључују живи и неживи свет,
- друга, **одрживост обновљивих ресурса**, у смислу њиховог равномерног коришћења у времену и простору,

- трећа, на коју се одрживост најчешће односи у нашем времену, чини **рационално располагање** необновљивим ресурсима и њихова супституција обновљивим изворима.

Очигледно је да су друга и трећа димензија у функцији прве, јер смисао принципа одрживости у човековим активностима има значаја само ако је усмерен према очувању еколошке одрживости природе и живота на планети Земљи [Павловић, 2011].

Шира дефиниција одрживог развоја обухвата три аспекта (Harris, 2000):

- **Економски:** економски одржив систем мора бити у стању да произведе робу и услуге без спољашњих дотација, субвенција и сл. и да одржи управљање нивоа власти спољним дугом, а да се избегне екстремна секторска неравнотежа, која оштећује било пољопривредну или индустријску производњу.
- **Аспект животне средине:** еколошки одржив систем мора одржавати стабилан извор ресурса, избегавајући прекомерну експлоатацију обновљивих ресурса система (државе, људске заједнице), или распад (потонуће) функције животне средине и исцрпљивање необновљивих ресурса, (могућност исцрпљивања је само у мери нивоа додатног улагања у одговарајуће замене). Ово укључује одржавање биодиверзитета, атмосферску стабилност и друге функције екосистема, које немају сталну класификацију као економски ресурси.
- **Социјални:** социјално одржив систем мора постићи дистрибуциону равноправност, адекватно пружање социјалних услуга, укључујући здравство и образовање, равноправности полова и политичку одговорност за учешће у друштвеном животу и економској репродукцији.

Мада се одрживи развој води као један од принципа, између осталог и управљања отпадом, из његове дефиниције могу се извући додатни принципи:

- међугенерациска равноправност, у смислу да садашња генерација не сме умањивати шансе за развој будућим генерацијама,
- принцип предострожности, у условима глобалне еколошке неизвесности,
- принцип очувања природних ресурса уз минимална оштећења животне средине,
- сузбијање загађења на самом извору,
- принцип да загађивач плаћа, путем интернализације еко-трошкова, кроз накаде, таксе и дозволе,
- коришћење најбољих доступних технологија (БАТ),
- превенција и елиминисање стварања непотребног отпада,
- изоловање и контрола отпада који се не може рециклирати и даље користити,
- укључивање еколошких анализа и процена, при било каквом додошењу одлука у привреди,
- интегрално управљање животним циклусом производа,
- поштовање капацитета животне средине и еко-простора.

10.1.2. Принцип хијерархије у управљању отпадом

Суочен са огромним количинама отпада свет је одавно започео битку за неко алтернативно коришћење отпада. При том се успоставља хијерархија¹ по којој се поступа. Према српском Закону о управљању отпадом хијерархија представља "...редослед приоритета у пракси управљања отпадом". Принцип хијерархије није уведен да би се једним кораком решио проблем отпада већ да би се применом више, правилно ранжираних, корака количина отпада свела на најмању могућу меру или потпуно решила.

Различите државе и групе држава су прописале различите хијерархије управљања.

Према документима Европске комисије у поступању са отпадима примењује се следећа хијерархија [Waste, 2008]:

- **превентивно смањење** количине отпада,
- **поновно коришћење** отпада,
- **рециклажа** отпада,
- **сагоревање и коришћење енергије** из отпада, и
- **безбедно депоновање.**

Слична разматрања се срећу и у прописима држава Аустралије у којима поступање са отпадом подразумева следећу хијерархију [Victoria, 2002]:

- **избегавање генерисање отпада**, где год је могуће треба заменити технолошки процес како би се избегло стварање отпада,
- **поновно коришћење**, неки отпад из једног процеса може се користити као сировина у другом процесу,
- **рециклирање**, унутар отпада постоји део који се може одвојити и поновно користити као сировина,
- **сагоревање ради супституције енергије**, неки отпади се могу сагоревати и на тај начин искористити као замена за енергију добијену из примарних извора,
- **обрада**, кад год је могуће треба приступити обради отпада како би се учинио неутралним (безопасним),
- **складиштење**, кад год је могуће треба отпад складиштити у затворене објекте који су изоловани од окружења,
- **депоновање**, складиштење отпада у природним и контролисаним условима.

Наведена хијерархија, са очекиваним и логичним смањењем количина како се прелази на ниже нивое, графички је представљена на слици 10.1.

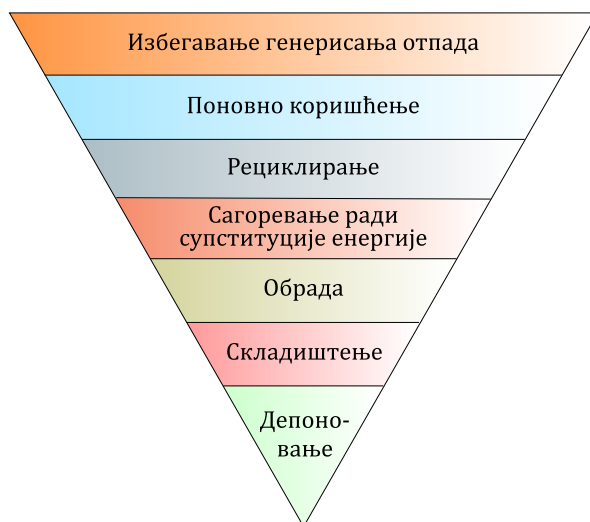
Америчка агенција за заштиту животне средине хијерархијски је организовала систем за збрињавање неопасног отпада [EPA, 2013]:

- **смањење количине и поновно коришћење** произведеног отпада, ефикасан метод који се заснива на промени пројекта, производног процеса или коришћењу производа и сировина који смањују количину и токсичност

¹ Хијерархија (грч. *Ἱεραρχία*; *ἱερός* — свето + *ἄρχω* — управљање) је степенасто уређење елемената (појмова, предмета, људи) у ранжирани поредак, где је сваки ранг, од најнижег па до највишег, подређен оним изнад [<https://sr.wikipedia.org/sr-el/хијерархија>]

произведеног отпада, односно поновно коришћење производа који је за неког отпад,

- **рециклирање и компостирање**, рециклирање подразумева поновно коришћење папира, стакла, пластике и метала, а компостирање декомпозицију органских материја уз помоћ микроорганизама (углавном бактерија и гљивица) и производњу природних органских ђубрива,
- **коришћења отпада као енергента**, подразумева спаљивање сагорљивих делова отпада и производњу енергије,
- **третирање и одлагање**, укључује депоновање отпада на и унутар земљишта после одговарајуће обраде, као и одлагање несагоривог дела из процеса сагоревања самог отпада уз коришћење добијене енергије.



Слика 10.1. Графички приказ хијерархије управљања отпадом

Према "Закону о управљању отпадом" у Србији је успостављена следећа хијерархија [Управљање отпадом, 2016]:

- **превенција стварања отпада и редукација**, односно смањење коришћења ресурса и смањење количина и/или опасних карактеристика насталог отпада. Ово се постиже унапређењем технолошких процеса, већом пажњом и стриктнијим спровођењем радних процедура, бољом контролом, применом најбољих расположивих техника итд.

У практичним размерама овај корак треба да доведе до увођења тзв. безотпадних технологија. Безотпадна или чиста технологија подразумева да су сви произведени "производи" корисно (профитабилно) употребљиви и да нема "производа" који носи ознаку "отпад". Нема индустријске гране која у свим сегментима подлеже безотпадној технологији, но прехранбена индустрија у многим сегментима (месопрерађивачка, млекарска...) тежи ка томе.

Од прљавих индустрија безотпадне технологије се могу применити код неметаличних минералних сировина, потом на термоелектранама које сагоревају

камени угаљ коришћење њиховог отпада (пепео, ОДГ гипс) је готово стопроцентно итд. Понекад се под безотпадном технологијом сматра и технологија која издваја отпад, али који се одмах може даље третирати (инсинерација, компостирање, рециклажа) тако да на крају нема отпада.

Примена безотпадних или чистих технологија и метода управљања, тзв. "zero waste" спроводе се и на нивоу градова (предњаче Аделаид у Аустралији, Сан Франциско у САД, Стокхолм у Шведској) и на нивоу великих корпорација (Кока-кола, Субару, ДиПонт) [Zaman, Lehmann, 2013, Song et al., 2015].

Међународна асоцијација за промоцију безотпадних технологија (ZWIA) дефинисала је циљ примене ових технологија као "...етички, економски, ефикасан и визионарски водич људима ради промене њиховог начина живота и праксе за очување одрживих природних циклуса, где су сви одбачени материјали дизајнирани да постану ресурси за друге. Нулти отпад значи обликовање и управљање производима и процесима за системско смањење и елиминацију количина и токсичности отпада и материјала, чување и опоравак свих ресурса, а не сагоревање или њихово закопавање. Имплементација нултог отпада елиминисаће сва одлагања на копну, у воду или ваздух, што представља претњу за планетарно, људско, животињско или биљно здравље" [ZWIA, 2009].

Пол Корнет, један од зачетника безотпадне технологије наводи 10 корака за практичну реализацију [Connett, 2010]:

- 1) одвајање на месту настанка отпада,
- 2) скупљање отпада "од врата до врата",
- 3) компостирање,
- 4) рециклажа,
- 5) поновна употреба и поправка,
- 6) иницијативе за смањење отпада,
- 7) економски подстицаји,
- 8) сепарисање отпада и формирање истраживачког центра,
- 9) индустријска одговорност,
- 10) привремено депоновање.

▪ **поновна употреба.** Неки производи су специфично дизајнирани да буду коришћени више пута, односно у више циклуса, од стране више корисника (нпр. амбалажа, аутомобили и неки њихови делови). Поред тога, неки производи се могу прерадити за исте или сличне намене. Поновном употребом неког производа постиже се:

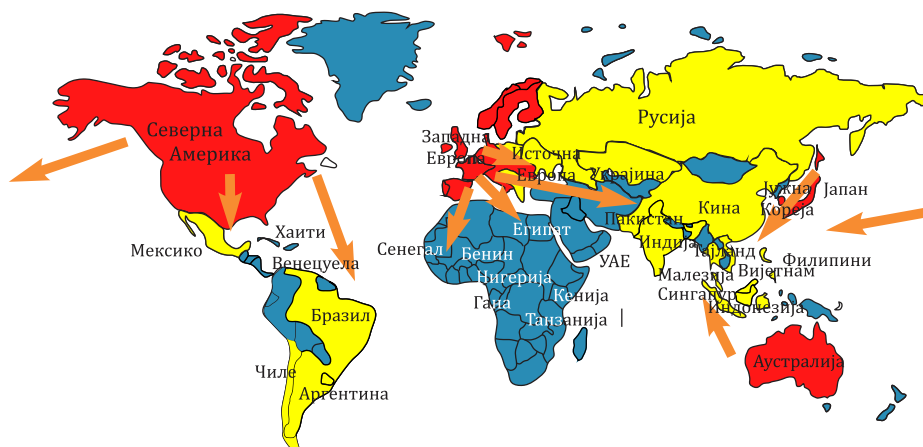
- ♦ смањење трошкова за произвођаче и потрошаче;
- ♦ уштеде у енергији и сировинама;
- ♦ смањење трошкова одлагања.

Ако се поновна употреба разматра са становишта отпада, јасно је да она само одлаже време када ће неки производ постати отпад, односно када ће се применити нека од наредних мера предвиђених хијархијом управљања отпадом.

Један од начина на који се решава отпад своди се на извоз "отписаних производа" у слабије развијене земље. Ту се ти производи још неко време користе, а потом отпад остаје њихов проблем. Са аспекта земље извознице отпад је потпуно решен

јер му је нађена друга употреба. Прекогранични путеви отписаних електронских уређаја приказани су на слици 10.2. [Song et al., 2015].

Етичка димензија овакве расподеле отпада/"отпада" између богатих и сиромашних је одувек била дискутабилна [Де Жарден, 2006, Breivik et al., 2014]



Слика 10.2. Прекогранични путеви отписаних електронских уређаја

Савремена средства комуникације, као што је интернет, значајно унапређује поновну употребу средстава за општу потрошњу. У првој декади 21. века годишњи раст продаје половних одевних предмета био је изнад 5%, а у 2006.г. промет половне робе у САД је премашио 2 милијарде долара, упркос томе да само 12-15% грађана САД посећују продавнице половне текстилне робе [Luz, 2007].

▪ **рециклажа.** Рециклажом се остварују изузетно значајни технички, еколошки и економски ефекти. Свакако најзначајнији од њих су: смањење количина индустријског и комуналног отпада, који се морају одложити на депоније, чиме се век коришћења депонија продужава и значајно успорава процес исцрпљивања природних ресурса и емисије из депонија.

Разлози за потребу повећаног искоришћавања отпада су вишеструки:

- сазнање о ограниченим природним ресурсима и потреби рационалног коришћења онога чиме се располаже;
- прописи о заштити животне средине дефинишу строже услове за одлагање отпада, па је неопходно да се рециклажом смањи обим отпада који се одлаже на депонију;
- тешкоће при обезбеђењу локација за нове депоније указују на рециклажу као једну од могућности смањивања потреба за новим депонијама.

Типичне компоненте система рециклаже отпада у циљу искоришћења материјала и издвајања корисног отпада су:

- издвајање различитих компоненти на извору настајања отпада - из домаћинства, радњи, институција, сакупљање на улици или у центрима где се сакупља рециклабилан отпад (примарна рециклажа);

- издвајање рециклабилних материјала из укупне масе отпада у постројењима за сепарацију рециклабилног отпада;
- припрема издвојених рециклабилних материјала на линијама за балирање (папир, пластика), пресовање (метал), млевење (стакло).

Ефекти рециклирања могу се видети на примеру електронског отпада и његовог садржаја који се рециклирањем враћа у наредне производне циклусе, табела 10.1 [Song et al., 2015].

Табела 10.1. Компоненте електронског отпада које се рециклирају, у % [Song et al., 2015]

	Пластика	Алуминијум	Бакар	Челик	Стакло	Остало
Рачунар (PC)	23	14	7	21	30	5
Клима уређај	11	7	17	55	0	10
Телевизор	23	2	3	10	57	5
Фрижидер	40	3	4	50	<1	3
Веш машина	36	3	4	53	<1	4

- **искоришћење**, односно **коришћење вредности отпада** (компостирање, спаљивање уз искоришћење енергије, дигестија и др.). Овај хијерархијски ранг је првенствено намењен корисној употреби органског дела отпада, док неоргански део и даље задржава све одлике отпада и треба га даље третирати.

Компостирање се дефинише као брзо, али делимично, разлагање влажне, чврсте органске материје, отпада од хране, баштенског отпада, папира, картона, помоћу аеробних микроорганизама и под контролисаним условима. Као производ добија се користан материјал, сличан хумусу, који нема непријатан мирис и који се може користити као средство за кондиционирање земљишта или као ђубриво.

Предности су следеће: крајњи производ има тржишну вредност, која треба да резултира у враћању дела уложених средстава; простор који је потребан за локацију постројења је релативно мали и цене транспорта нису тако велике. Са друге стране, оваква постројења могу захтевати и велика капитална улагања. Тржиште за добијени производ није увек осигурано, а и складиштење крајњег производа може бити проблем за себе. Квалитет компостираног производа је важан уколико за њега постоји тржиште. Искуства показују да иако се органски материјал са депоније може успешно трансформисати у компост, контаминација (посебно од честица стакла, метала и пластике) утиче да потенцијални потрошачи постају невољни да га користе. Зато се органски отпад за компостирање мора раздвајати на извору и пре одлагања на депонију.

У принципу, компостирање се спроводи у два нивоа:

- сакупљање и издвајање органских компоненти (кухињски отпад и отпад из башти) за компостирање на компостним пољима или у посебним постројењима (најчешће регионалног типа);
- промоција самосталног компостирања "у свом дворишту" кроз едукацију и успостављање малих бункера за компостирање.

С обзиром на Директиву о депонијама ЕУ и забрану одлагања биодеграбилног отпада на депоније, компостирање је добило на значају као алтернативна опција третмана биодеграбилног отпада, слика 10.3.



Слика 10.3. Постројење за компостирање отпада у Сан Франциску

Анаеробна дигестија. Разлагање органског, биоразградивог дела чврстог отпада у гасове са високим уделом метана може се остварити путем анаеробног разлагања или анаеробне ферментације у реактору. После ферментације органског отпада издвојеног на извору, остатак ферментације (дигестат) се нормално третира аеробно до компоста. На тај начин је коначни резултат ферментације отпада у већини случајева сличан аеробном компостирању. Процесом разлагања настају биогаз, компост и вода. Отпадна вода, настала процесом третмана, се пречишћава и један део може се вратити у процес.

Технологија спаљивања (инсинерације) отпада представља оксидацију запаљивих материја садржаних у отпаду. Инсинерација отпада се примарно примењује у циљу смањивања запремине отпада, а енергија која се добија из процеса спаљивања се може искористити за добијање топлотне и/или електричне енергије. Међутим, економска оправданост искоришћења енергије није увек прихватљива, јер су инвестициони и оперативни трошкови инсинератора високи, генерално много виши од трошкова одлагања отпада на санитарне депоније комуналног отпада (некад и до 6 пута већи). То значи да је инсинерација значајан и користан начин редукције отпада, и дугорочно се могу избећи проблеми који прате одлагање отпада на депоније.

Произвођачи опасног отпада могу имати сопствена постројења за инсинерацију или отпад могу слати компанији која врши инсинерацију у име произвођача отпада, уз надокнаду.

У циљу одрживог система управљања отпадом, инсинерација са искоришћењем енергије треба да буде потпуни и интегрални део локалних и регионалних решења која треба развити у следећем периоду. Инсинерација отпада са искоришћењем

енергије мора бити разматрана у контексту интегралног приступа управљању отпадом који значи редукацију, поновну употребу и рециклажу.

- **одлагање** отпада депоновањем или спаљивање без искоришћења енергије и депоновање створеног пепела, ако не постоји друго одговарајуће решење

Дакле,

- превенција стварања отпада не елиминише отпад, али га масено (понекад и квалитетно) смањује,
- поновна употреба временски одлаже стварање отпада,
- рециклирањем се (највећи) део компонената из отпада поново враћа у производни циклус, као вредна компонента, чиме се за део "отпада" одлаже време када ће се прећи у други хијерархијски ранг, а део остаје отпад који се третира према наредним корацима,
- инсинерацијом се смањује количина отпада, али се увек појављује (неоргански) отпад који се хијерархијски поново разматра,
- компостирањем се, практично, сав органски део отпада преводи у компост, који има вишеструко корисну намену (као ђубриво, као тло...), али неоргански део чини баласт са свим одликама отпада,
- одлагањем се "признаје" технолошка немоћ и проблем управљања оставља генерацијама које долазе.

Годишњи ефекти који се постижу применом наведених мера у третирању отпада на нивоу града Стокхолма дати су у табели 10.2 [Zaman, Lehmann, 2013]

Табела 10.2. Годишњи ефекти третирања отпада у граду Стокхолму [модификовано према Zaman, Lehmann, 2013]

Поступање са отпадом	Врста отпада	Произведена количина отпада, t	Супституција материјала, t	Супституција енергије, GJ/t	Смањење емисије ГСБ, CO ₂ e/t	Уштеда воде, m ³ /t
Рециклажа	Папир	36.552	0,84–1,00	6,33–10,76	0,60–3,20	2,91
	Стакло	10.083	0,90–0,99	6,07–6,85	0,18–0,62	2,30
	Метал	3.781	0,79–0,96	36,09–191,42	1,40–17,8	5,97–181,77
	Пластика	8.823	0,90–0,97	38,81–64,08	0,95–1,88	–11,37
	Мешани	66.805	0,25–0,45	5,00–15,0	1,15	2,0–10
Компостирање	Органски	4.065	0,60–0,65	0,18–0,47	0,25–0,75	0,44
Инсинерација	Мешани	239.891	0	0,972–2,995	0,12–0,55	0
Одлагање	Мешани	36.596	0	0,00–0,84	(–) 0,42–1,2	0

Дакле, у Стокхолму се највећа количина комуналног отпада сагорева (чак 59%), рециклира се 32%, компостира 1%, а одлаже само 9% произведеног отпада. Позитивни ефекти се виде на свим индикаторима који се прате, сем на уштеди воде код рециклирања пластике.

10.1.3. Принцип предострожности

Принцип предострожности, или опреза, значи да "уколико постоји могућност озбиљне или неповратне штете, недостатак пуне научне поузданости не може бити разлог за непредузимање мера за спречавање деградације животне средине" [Стратегија, 2010].

Мада је принцип предострожности садржан у српској Стратегији управљања отпадом он спада у опште принципе управљања системима животне средине и у пракси је чешће ту заступљен него код управљања отпадом.

Принцип или начело предострожности је по својој природи превентивно. Почива на идеји, да иако се одређена активност не може са сигурношћу доказати небезбедном, или штетном, то не значи да она нема негативне последице. Циљ примене овог начела је да предвиди и спречи настанак еколошке (и сваке друге) штете, или да се смање последице могуће штете. Примењује се у ситуацијама када постоји одређена научна несигурност у погледу утицаја на животну средину одређених привредних и других активности. Са економског аспекта, примена начела предострожности је проблематична, јер ствара већу одговорност за оне који стварају могуће ризике, него што је то било у прошлости [Тубић, 2014].

Овај принцип се први пут помиње у Немачкој средином седамдесетих година прошлог века. Десетак година након тога, током међународних конференција о заштити Северног мора, Немачка је представила ово начело осталим земљама [deFur, Kaszuba, 2002, Stevens, 2002, Тубић, 2014].

У међународном праву, начело превенције се први пут појавило у арбитражном спору 1933.г. везаном за топионицу Трејл (*Trail*), која се налази у Канади (Британска Колумбија), али због високог димњака сумпор-диоксид највише загађује државу Вашингтон у САД. Тада је арбитражни трибунал изрекао обавезу топионици да спречи испуштање сумпор-диоксида у ваздух на основу одређених услова и да надокнади штету. Трибунал је одредио износ накнаде коју је Канада требало да исплати Сједињеним Америчким Државама, а да притом претходно није утврдио да ли би се рад топионице могао сматрати међународним противправним актом приписивим Канади. Овај случај представља редак пример у међународној пракси да се судски орган експлицитно изјасни о одговорности државе за загађење. Трибунал је истакао да је "Канада одговорна, по међународном праву, за поступање топионице Трејл". Противправност је нађена у кршењу обавезе државе да се стара да активностима које се предузимају на њеној територији не буде причињена штета територијама других држава. Као доказ да се Трибунал кретао у координатама правила о одговорности државе за противправни акт може да послужи и чињеница да се међу последицама установљене одговорности нашла и обавеза која је наметнута топионици да се уздржи од узроковања будуће штете на територији државе Вашингтон [United Nations, 2006, van de Kerkhof, 2011, Чучковић, 2012, Алавук, Матијашевић, 2012].

У међународним конвенцијама начело превенције први пут се среће у Стокхолмској декларацији у оквиру принципа седам [Stockholm Declaration, 1972], а затим и у Рио декларацији о животној средини и развоју као петнаести принцип [Rio Declaration, 1992].

Начело 7. Оштећења океанске популације морају бити спречено.

Стокхолмска декларација, 1972

Укључивање овога начела у Рио декларацију значи и његово подизање на ниво суштинског начела код доношења међународних прописа о животној средини, па оно постаје део скоро свих каснијих еколошких декларација и споразума.

Начело 15. Да би се животна средина заштитила, земље морају, у складу са својим могућностима, у што већој мери примењивати превентивне мере. Ако постоји претња од неповратне штете, недостатак потпуне научне извесности не сме бити разлог за одлагање мера за спречавање деградације околине, при чему мере морају бити ефикасне са гледишта трошкова.

Декларација из Рио де Жанеира, 1992

Наведена начела прописана су и у члану 191. Уговора о функционисању ЕУ као основ на којем се заснива политика ЕУ у области животне средине која за циљ има обезбеђење високог степена заштите [ЕУ, 2007].

Начело превенције и предострожности садржано је и у домаћим прописима у оквиру члана 9. Закона о заштити животне средине. Наведени члан предвиђа да свака активност мора бити планирана и спроведена на начин да проузрокује најмању могућу промену у животној средини и представља најмањи ризик по животну средину и здравље људи, као и да се начело предострожности остварује проценом утицаја на животну средину и коришћењем најбољих расположивих и доступних технологија, техника и опреме. У истом члану је експлицитно наведено да непостојање пуне научне поузданости, према садашњим прописима, не може да представља разлог за непредузимање мера спречавања деградације животне средине у случају могућих или постојећих значајних утицаја на животну средину [Закон о заштити животне средине, 2004].

Закон о стратешкој процени утицаја на животну средину, под начелом предострожности подразумева, да свака активност мора бити спроведена на начин да се спрече или смање негативни утицаји одређених планова и програма на животну средину пре њиховог усвајања, обезбеди рационално коришћење природних ресурса и сведе на минимум ризик по здравље људи, животну средину и материјална добра [Закон о стратешкој процени, 2004].

Он се представља и као систем који укључује следеће елементе: **наука – етика – политика – економија**. Мада све почиње од науке, она је овде само саветодавни, за разлику од политике која је суштински елемент. Из овога произлазе многе контраверзе. Оно што га чини позитивним, односно негативним (сумњивим) дато је у табели 10.3 [Надић, 2008].

Антинаучност и могућност предузимања (увек се мисли/сумња селективних, пројекционистичких) мера и у условима када не постоји довољно сазнања да је неки процес или производ штетан по окружење увек се користи као аргуменат да се овај принцип не користи или да му се умањи значај. Но, у пракси има више примера да је управо позивање на недостатак научних сазнања или криво тумачење

тих сазнања доводило до контраверзних и проблематичних одлука [Надић, 2008]. Недостатак научних достигнућа било је оправдање да САД (осамдесетих година прошлог века) не предузимају никакве акције за спречавање производње гасова стаклене баште. Злоупотреба науке је урађена и под администрацијом Џорџа Буша (млађег) јер су увели термин "битна еквивалентност" којим су генетски модификовану храну изједначили са природно произведеном [Надић, 2008].

Табела 10.3. Позитивни и негативни елементи принципа предострожности [модификовано према Надић, 2008]

Битни позитивни елементи	Сумњиви, негативни елементи
Превентивне акције могу се предузимати и када не постоје научни докази да је нешта штетно или опасно	Потпуна примена ће зауставити развој технологија
Потенцијални ствараоци ризика морају бити суочени са теретом доказивања да неки процес није штетан	Немогуће је достићи "нулти" ризик
Доносиоци одлука имају велики број мера и акција за санирања еколошких проблема када се докаже штатни утицај неког процеса	Примена овога принципа доноси смањење профитабилности и конкурентности и поспешује протекционизам у светској трговини
	Принцип је антинаучан
Процес доношења одлука (политичких и економских) мора бити јаван и отворен	Принцип је емоционалан и ирационалан
	Одлуке државних органа могу имати манипулативни карактер

Случај болест лудих крава. Начело предострожности Европска комисија је индиректно применила када се одлучивало о забрани извоза говеђег меса из Велике Британије у којој се појавила "болест лудих крава". "Болест лудих крава" се појавила 1986., а уништавање заражене стоке, како би се спречило даље ширење, започела је 1989.г. Међутим, 1995. млади људи и фармери су почели да оболевају од болест, чији су ефекти били слични ефектима као код животиња. Специјални комитет који је формирала британска влада 1996. закључио је "најприхватљивије објашњење је ... да су људи – жртве конзумирали заражено месо "лудих крава". Сагласно овом налазу ЕК је, индиректно се позивајући на 15. принцип Рио декларације, забранила извоз меса из Велике Британије у све земље ЕУ и земље кандидате. Мањкавост да се ЕК није позвала на принцип предострожности дао је шансу Великој Британији да се жали на одлуку, али је суд прихватио све аргументе и одбацио захтеве Велике Британије [Надић, 2008]. Овде је важно приметити да се принцип предострожности примењује на нешто што није отпад (говеђе месо), али се због предострожности и бриге за људско здравље тако третира.

Уврштавањем начела предострожности у обавезујуће правне акте носи са собом и могућност његовог коришћења у судској пракси. Међутим, његова непрецизност и недореченост, уз широк опсег примене, даје различита правна решења и тумачења. Још увек не постоји консензус о његовој обавезности, садржини и ширини примене. Међународни суд у својој досадашњој пракси није прихватио начело предострожности, као обавезујуће начело међународног права.

Питање предострожности појавило се у неколико случајева пред Међународним судом [Тубић, 2014].

Случај Габчиково-Нађмарош. Тадашња Чехословачка и Мађарска су 1977. закључиле споразум о изградњи бране на Дунаву. Након поделе Чехословачке, Република Словачку је инсистирала да Мађарска испуни своје обавезе. Мађарска се позвала на неколико основа окончања уговора, а између осталог и да је забринута због последица које би пројекат имао по животну средину. У складу са тим, 1989. године, Мађарска је суспендовала радове на изградњи бране. Тврдила је да су обавезе из уговора суспендоване због стања еколошке потребе. Словачка је оспаравала да таква неопходност постоји и тврдила је да чак и ако постоји, она не би могла да послужи Мађарској као основ за окончање уговора. У свом првом поднеску Суду, Мађарска се директно позвала на начело предострожности и навела да државе треба да предузимају мере предострожности како би предвиделе, спречиле или свеле на минимум штету по њихове прекограничне ресурсе или да ублаже негативне последице. Мађарска је схватала начело предострожности као везу између начела сарадње и начела којим се успоставља одговорност држава да не изазивају прекограничне штете по животну средину. У својој пресуди, Међународни суд је нашао да еколошка потреба неби била довољан основ за окончање уговора. Она у овом случају није постојала јер није био изванредан настанак штете. На тај начин, Суд је имплицитно одбацио начело предострожности које подразумева и да је неизванредан настанак штете довољан да би се спречила одређена активност. Суд је такође, сматрао да Мађарска сноси терет доказивања.

Случај улова туна. Трибунал за право мора је начело предострожности схватао као међународно обичајно право. Он је 1999. године донео пресуду у "случајевима улова туна" и један део своје одлуке је засновао на тумачењу предострожности. Случајеви су настали из Конвенције о очувању јужних врста туна, коју су 1993. године закључили Аустралија, Јапан и Нови Зеланд. Овај уговор је предвиђао укупан дозвољени улов за ове државе. Јапан је, 1998. г., једнострано повећао улов туне, тврдећи да је то урадио само експериментално. Аустралија и Нови Зеланд су тужили Јапан Трибуналу, изричито се позивајући на начело предострожности. Трибунал је одлучио да Јапан није имао право да повећа свој укупан дозвољени улов и није прихватио аргумент те државе да је улов био само експерименталан и да стога није био подвргнут ограничењима из уговора. Трибунал, у својој одлуци, није експлицитно поменуо начело предострожности, али је очигледно да се његова одлука у великој мери базирала управо на овом начелу. Он се изричито позвао на научну несигурност у погледу мера које су требале да буду предузете како би се туне очувале. Ово је уз ризик од истребљивања ове врсте рибе и ризик наносења озбиљне штете довело до тога да је Трибунал изрекао привремене мере. Уз то, и мера забране рибарења је, сама по себи, мера предострожности.

Из претходних примера је јасно да се начело предострожности у судској пракси различито тумачи. Евидентан је проблем да ни све државе нису ово начело уврстиле у своје националне законе, упркос његовом присуству у бројним међународним уговорима, декларацијама и резолуцијама о животној средини.

По неким тумачењима и пресудама овај принцип има елементе обичајног права. Један од аргумената против тога да је постало обичајно правило јесте његова непрецизност и недореченост. Међутим, и нека друга обичајна правила нису у потпуности прецизна, као што је, на пример, право народа на самоопредељење. Начело предострожности се често критикује и на основу тога да је несигурност нешто што је инхерентно научном процесу и да није научно могуће доказати неку чињеницу са потпуном сигурношћу. Чак и када је постигнут широк консензус

научне заједнице, увек ће постојати неколицина која се не слаже са усвојеним мишљењем и одређени ниво несигурности ће увек постојати.

Као аргументе за постојање обичајног карактера овог правила може се узети широк ниво академске подршке, учесталу праксу држава и ставове Међународног суда.

Како се начело предострожности може користити у контроли (превенцији) загађења животне средине може се видети из примера рестриктивног коришћења инсектицида у ЕУ, која је, заснивајући правила на принципу предострожности, забранила употребу неоникотинских пестицида, који штете пчелама, што је изазвало оштре реакције индустрије. Експерти Организације за храну и пољопривреду (FAO) тврде да је мит да су пестициди неопходни да нахране светску популацију. Производња хране расте, али проблем је сиромаштво, неједнакост и расподела. Нови извештај [Guardian, 2017, Human Rights Council, 2017] критикује мултинационалне корпорације које производе пестициде, оптужујући их за порицање штете, агресиван и неетички маркетинг, те лобирање влада које је успорило реформе и паралисало рестрикције за употребу пестицида.

10.1.4. Принцип близине и регионалног приступа управљању отпадом

Отпад се третира или одлаже што је могуће ближе месту његовог настајања, односно у региону у којем је произведен да би се у току транспорта отпада избегле нежељене последице на животну средину. Избор локације постројења за третман или одлагање отпада врши се у зависности од локалних услова и околности, врсте отпада, његове запремине, начина транспорта и одлагања, економске оправданости, као и од могућег утицаја на животну средину. Лоцирање депоније било ког отпада је веома комплексан проблем који треба да уважи техничко-технолошке, урбанистичке, еколошке, економске и социолошке факторе [Кнежевић и др., 2014]

Код разраде принципа близине постројења где се третира и/или одлаже отпад и регионалног разматрања управљања отпадом појављује се битна разлика између "комуналног" (кућни, канцеларијски) и индустријског отпада.

Кућни и канцеларијски отпад су веома хетерогени, по свом саставу, и прикупља их посебно овлашћена комунална радна организација, која за ту активност добија, унапред прописану, накнаду од сваког "произвођача". У ту групу често залута и део отпада из других производних субјеката. Веома је велика разуђеност између места где се такав отпад (свакодневно) прикупља и транспортује на збирно место, ради третмана, одлагања или третмана, па одлагања. Транспорт тог (комадног, чврстог) отпада врши се кроз насељена места, посебно израђеним превозним средствима (камионима), па су загађења места привременог прикупљања, места утовара и путева којим се отпад транспортује сасвим могућа. Због хетерогеног састава, посебно учешћа биолошког отпада (непријатни мириси), кретање камиона кроз насељену средину треба да буде што безбедније и краће. Ово је потенцирано увођењем принципа "близине", а рационалност у поступању његовим проширењем на "регионални ниво". Регион у овом контексту не означава административну целину, већ интересно повезану групу општина које у решавању проблема управљања отпадом проналазе заједничке циљеве дугорочне сарадње.

Табела 10.4. Планирана мрежа регионалних центара за управљање комуналним отпадом [Стратегија, 2010]

Општина, носилац активности изградње регионалног центра	Остале општине које чине Регионални центар за управљање отпадом
Сомбор	Апатин, Кула, Оџаци, Бач
Суботица	Бачка Топола, Кањижа, Мали Иђош, Сента, Нови Кнежевац, Чока
Нови Сад	Бачка Паланка, Бачки Петровац, Беочин, Жабал, Врбас, Србобран, Темерин
Кикинда, Нови Бечеј	Ада, Житиште, Нова Црња, Бечеј
Панчево	Опово
Вршац	Бела Црква, Алибунар, Пландиште
Зрењанин	Сечањ, Ковачица, Тител
Инђија	Ириг, Рума, Сремски Карловци, Пећинци, Стара Пазова
Сремска Митровица	Шабац, Шид, Мали Зворник, Лозница, Богатић, Крупањ
Београд	Вождовац, Врачар, Гроцка, Звездара, Земун, Младеновац, Нови Београд, Палилула, Раковица, Савски венац, Сопот, Стари град, Сурчин, Чукарица
Ваљево	Уб, Осечина, Лајковац, Мионица, Љиг, Коцељева, Владимирци, Барајево, Лазаревац, Обреновац
Смедерево	Пожаревац, Ковин, Велико Градиште, Голубац
Петровац	Мало Црниће, Жабари, Кучево, Жагубица
Лапово	Велика Плана, Смедеревска Паланка, Рача, Деспотовац, Баточина, Свилајнац
Крагујевац	Аранђеловац, Топола, Горњи Милановац, Кнић
Јагодина	Параћин, Ђуприја
Ужице	Бајина Башта, Пожега, Ариље, Ивањица, Чајетина, Косјерић, Чачак, Лучани, Љубовија
Нова Варош	Прибој, Пријеполје, Сјеница
Зајечар	Бор, Неготин, Мајданпек, Кладово, Књажевац, Бољевац, Сокобања
Пирот	Димитровград, Бела Паланка, Бабушница
Краљево	Врњачка Бања, Нови Пазар, Рашка, Тутин
Крушевац	Трстеник, Варварин, Рековац, Ћићевац, Брус, Александровац
Ниш	Гаџин Хан, Сврљиг, Ражањ, Доњевац, Алексинац, Меровина
Прокупље	Житорађа, Куршумлија, Блаце
Врање	Прешево, Бујановац, Трговиште, Владичин Хан, Сурдулица, Босилеград
Лесковац	Лебане, Бојник, Медвеђа, Власотинце, Црна Трава

Управо базирајући се на овом принципу сачињена је мрежа од 26 регионалних центара за управљање отпадом у Србији, табела 10.4 [Стратегија, 2010]. Са аспекта заједничког управљања комуналним отпадом одређени су градови (општине) који треба да буду носиоци активности на изградњи регионалног центра за третирање и депоновање отпада и општине које гравитирају ка тим центрима.

Оваква подела не значи да ће локација центра априори бити на територији општине која је носилац активности, али ће се регионални центар свакако лоцирати на једној од општина које припадају том центру.

Када је у питању индустријски отпад он је, релативно хомоген и везан је за постројење на којем је настало. Због тога је место његовог третирања и одлагања део технолошког процеса из којег настаје, а лоцирање се врши сагласно устављеним правилима. И овде је близина места третирања отпада у односу на место настанка битна јер директно утиче на транспортне трошкове. Транспорт овога отпада је разноврстан (у технолошком смислу и у смислу избора транспортних средстава) и обично транспортне трасе иду ненасељеним или слабо насељеним подручјима.

У светској пракси, посебно када је у питању опасни отпад, који се производи у развијеним и богатим државама, овај принцип се веома флексибилно тумачи, па се као економски прихватљива опција разматра и депоновање тог отпада у сиромашним државама. Сиромашне државе, у односу на богате, имају ниже трошкове третирања и депоновања отпада, слабу легислативу и још слабију контролу примене расположивих закона. Деведесетих година се више од 20% опасног отпада (више од 9 милиона тона годишње) из богатих земаља решавало на овај начин, без примене Базелске конвенције, јер се најчешће ради о илегалном извозу [Clarr, -].

Нарушавање принципа близине није везано само за односе богатих и сиромашних земаља. Унутар Европске уније успостављено је тржиште отпада па се значајне количине отпада транспортују из једне државе у другу ради инсинерације. Највећи извозници отпада су Холандија, Ирска, Луксембург, Белгија, потом Данска и Литванија, а увозници Немачка и Шведска, следе их Белгија и Холандија. О развијености тржишта говори податак да се Белгија и Холандија налазе на оба списка [Sora 2013].

10.1.5. Принцип избора оптималне опције за животну средину

Избор оптималне опције за животну средину је систематски и консултативни процес доношења одлука који обухвата заштиту и очување животне средине. Примена избора најбоље опције за животну средину установљава, за дате циљеве и околности, опцију или комбинацију опција која даје највећу добит или најмању штету за животну средину у целини, уз прихватљиве трошкове и профитабилност, како дугорочно, тако и краткорочно.

Ово је веома стари принцип који се у Европи помиње осамдесетих година 20. века. Он укључује уравнотежење критеријума, који укључују технолошки процес, трошкове и утицај на животну средину.

Модел који предвиђа добијање енергије из отпада подводи се под овај принцип. Ирска агенција за заштиту животне средине одобрила је 2012.г. цементари у месту Каранстаун (*Carranstown, County Meath*) да годишње прерађује 120.000 тона отпадног мазута, као алтернативног горива чиме су спречили загађивање животне средине тим отпадом, омогућили јефтинији рад цементаре без загађивање животне средине.

[http://www.epa.ie/licences/lic_eDMS/090151b2805fdd84.pdf]

10.1.6. Принцип "загађивач плаћа"

Према важећим прописима [Стратегија, 2010] "загађивач мора да сноси пуне трошкове последица својих активности". Трошкови настајања, третмана и одлагања отпада морају се укључити у цену производа.

Прво помињање принципа "загађивач плаћа" (или популарна енглески акроним PPP – Polluter Pays Principle) помиње се у препорукама ОЕСД-а од 26.05.1972. Ова препорука је поновљена у препорукама од 14.11.1974., а ЕУ је овај принцип ставила у први акциони план везан за заштиту окружења. Од 1987.г. ЕУ је овај принцип увела у своја законска акта. Уврштавањем као "принцип бр. 16" у Декларацију из Рија овај принцип постаје општи и важећи за све земље које ратификују Декларацију и уврсте га у своје национално законодавство.

Принцип 16 – Интернационализација трошкова окружења. Национални органи власти треба да настоје да подстичу интернационализацију трошкова заштите животне средине и коришћење економских инструмената, имајући у виду приступ по коме загађивач треба, у начелу, да сноси трошкове загађења, поштујући интересе јавности, а без нарушавања међународне трговине и улагања.

Декларација из Рио де Жанеира, 1992.

У српском законодавству принцип "загађивач плаћа" први пут се среће у нацрту Закону о заштити животне средине 2001.г., али се овај закон дуго спремао и прихваћен је тек 2004.г. (Сл. гласник 135/2004) начело (принцип) "загађивач плаћа" дефинисано је на следећи начин:

Начело "загађивач плаћа" - загађивач плаћа накнаду за загађивање животне средине када својим активностима проузрокује или може проузроковати оптерећење животне средине, односно ако производи, користи или ставља у промет сировину, полупроизвод или производ који садржи штетне материје по животну средину. Загађивач, у складу са прописима, сноси укупне трошкове мера за спречавање и смањивање загађивања који укључују трошкове ризика по животну средину и трошкове уклањања штете нанете животnoj средини.

Закон о заштити животне средине, 2004.

После тога, ово начело се усталило у свим актима надлежног Министарства за заштиту животне средине.

Овај принцип, поред привидне јасноће, вуче најмање два практична проблема које је потребно решавати и усаглашавати. Први је правне природе, а други економске.

У правном смислу проблем потиче од дефиниције отпада, па прати даље проблеме доношења праведних и правичних одлука, док на економском пољу примена овога начела може неки индустријски сегмент да толико обесмисли и учини неисплативим да је стварна примена увек проблематична.

У правном смислу примена принципа "загађивач плаћа" условљена је са три елемента, која треба прецизно дефинисати [ЕУ, 2012, Bleeker, 2009]:

- какво је загађење (шта је загађено),
- ко је загађивач, и
- колико треба да се плати?

Прва два питања су блиско повезана, а из њиховог решавања или тумачења произлази и одговор на треће питање. Питање везано за загађење, по правилу, почиње са дефиницијом отпада. Правно се ту појављује много проблема у тумачењу.

Постоји доста контраверзи приликом тумачења овог принципа. Тренутно тумачење овог принципа је довело до тога да су еколошки проблеми, који би требало да буду изнад свега, врло често у сенци међуљудских конфликта који проистичу из угрожавања личних интереса и имовине. Коректно дефинисана примена овог принципа би требало да направи баланс између слободе, економске ефикасности и приватне својине са једне стране, и свих аспеката очувања животне средине, са друге стране [Cordato, 2001].



<http://gcaptain.com/decade-later-total-loses-mv-erika-oil-spill-battl/>



<https://officerofthewatch.com/2013/10/01/tracing-vessel-ownership-in-case-of-accidents-the-erika-case/>

Случај потонућа брода "Ерика" (Erika). Потонуо је брод напуњен мазутом у Бискајском заливу (код Француске обале), један од оптужених, позивањем на овај принцип, био је произвођач мазута "Тотал", а његови адвокати су тврдили да "Тотал" није произвео и напунио у брод отпад, већ високо вредни производ. Тиме "Тотал" није произвођач отпада нити загађивач. Детаљнијим тумачењем, као загађење је дефинисан морски седимент, а загађење представља мешавину седимента, морске воде и просутог мазута (укупно 270.000 t је чишћено). Ако се тако дефинише загађење онда загађивач постаје бродски превозник, чији брод се преврнуо. Сада се долази на правно поље које регулише морску пловидбу, ризичност и одговорност, а све то није усаглашено са принципом "загађивач плаћа" [Bleeker, 2009]. Француски суд је као криве прогласио **произвођача** мазута (не отпада), јер није довољно добро проценио ризик утоварања еколошки осетљивог производа у брод стар 25 година, **превозника (компанију и капетана брода)** јер је учествовао у накнадном стварању отпада и **компанију која је издала све сертификате о безбедности брода**, јер нису у потпуности испоштовали процедуру контроле стања брода.

[<https://officerofthewatch.com/2013/10/01/tracing-vessel-ownership-in-case-of-accidents-the-erika-case/>].

Недоумице везане за идентификовање загађивача се разликују од случаја до случаја. Када је у питању отпад, генератор отпада се сматра загађивачем, иако је обавезе према отпаду пренео на треће лице [EC Directive, 1984]. У случају неких акциденталних ситуација насталих услед нерегуларности у раду неких високоризичних постројења, OECD обавезује на одговорност оног ко управља тим постројењем [Recommendation, 1988]. Као што се може закључити, не постоје једнозначни критеријуми по којима се утврђује загађивач, већ се првенствено

одређује субјекат са којим се најлакше носити у економском и административном смислу, када дође до потребе примене овог принципа, што често нема етичку конотацију.

У случају када је јасно шта је загађено није лако дати одговор на друга два питања, ко је загадио и колико треба да плати. Пример из Енглеске то потврђује [Bleeker, 2009].

Случај енглеских фармера. Позивајући се на тзв. нитритску директиву енглеска влада је одређено подручје прогласила угроженим и као меру заштите забранила коришћење вештачких ђубрива. Овим су локални фармери били кажњени тако што ће у будућности имати ниже приходе. Они су, не спорећи да је део загађења последица примене ђубрива, тужили државу захтевајући да се утврди које су загађивачи, па да се одштета плаћа сагласно учешћу у загађењу. Наиме, нитрите су у реку убацивали и други индустријски произвођачи, које забрана није качила. Суд је закључио да су фармери у праву јер се не може кршење нитритске директиве применити само на фармерима, позивањем на овај принцип, већ се кривица мора пропорционално учешћу у загађењу распоредити на све загађиваче [Bleeker, 2009].

Из претходних примера може се видети да приступ овоме принципу укључује и разматрање ризика, од потенцијалних загађивача, као мере за смањење загађења, односно претходне добити који су корисници имали. Истовремено, "загађење" се априори не разматра као "штета" већ се мора дефинисати и правним мерама доказати. Упоредо са овим, очигледно је да принцип "загађивач плаћа" има шири еколошки досег него што је сам отпад.

Разматрање овога принципа са економског аспекта полази од тога да савремена искуства развијених и земаља у развоју у области политике заштите животне средине заснивају се на две (три) основне (доминантне) стратегије [Зековић, 2002]:

- командно - контролном приступу,
- приступу тржишно - заснованих економских инструмената, на принципу "загађивач плаћа", и
- хибридном или мешовитом приступу, који обједињује претходна два.

Командно - контролни приступ подразумева директну регулацију, примену система мониторинга, примарну употребу регулаторних механизма као што су стандарди, дозволе, одобрења и повластице, посебно у контроли коришћења вода и земљишта. Практично спровођење ових мера, са аспекта државе, је компликовано па већина држава прибегава другој стратегији "загађивач плаћа".

Изузеци од принципа могу бити примењени под посебним околностима, као на пример [ОЕСД, 1992]:

- када постоји потреба за брзом применом строгах мера превенције акцидентата, али под условом да то не доведе до значајног поремећаја међународних трговинских односа две стране,
- ако његова имплементација доводи до извесних социоекономских последица,
- идентификовање субјекта одговорног за акцидент, које је у обавези да плати трошкове загађења дефинисане од стране органа власти, нужно га не

изузимају од примене домаћих законских аката према којима мора да сноси и друге трошкове у вези са насталом акциденталном ситуацијом (нпр. обезбеђење питке воде),

- додатно, органи власти могу тражити од одговорног субјекта и неку врсту компензације за настале трошкове, ако ти трошкови нису већ регулисани од стране органа власти.

Интересантно је то да богате земље према статистици чине највише штете животној средини јер себи могу да приуште загађивање животне средине, уз свест о принципу "загађивач плаћа", пошто су новчане казне и даље ниже од профита који остварују, па такав луксуз могу себи дозволити [Ingwani et al., 2010].

У многим случајевима када је штета начињена наплата се тешко и дуго остварује. Карактеристичан је случај изливања мазута из танкера компаније Ексон (*Exxon*) у залив Принц Вилијам Саунд (Prince William Sound), на Аљасци, 24.03.1989. Компанија Ексон је проглашена кривом и пресуђено је да треба да плати директну штету у износу од 207 милиона \$ и казну од 4,8 милијарди \$. Компанија је платила чишћење и директну штету, али се жалила на досуђену казну, тврдећи да не може бити изнад 25 милиона \$ (уз трошак од 2 милијарде \$ за чишћење и 1 милијарда \$ за различите одштете). Током процеса пресуда се кретала овако:

- 1994.г. - казна 4,8 милијарди \$,
- 2002.г. - казна је смањена на 4 милијарде \$,
- 2006.г. - казна је смањена на 2,5 милијарди \$,
- 2008.г. - казна је смањена на 507,5 милиона \$
- 2009.г. – Ексон је платио казну од 507,5 милиона \$, камате и све трошкове.

[https://en.wikipedia.org/wiki/Exxon_Valdez_oil_spill]

Основни економски инструменти у овом приступу, који се углавном користе у развијеним земљама, су:

- оптерећења загађивача (управљање оптерећењима, структура и распоред
- трошкова/оптерећења по корисницима),
- тржишни (помоћ, диференцирање разних пореза/такси),
- систем повраћаја депозита,
- примена подстицаја/подршки.

Према студији ОЕЦД-а идентификовано је 5 категорија тржишно – заснованих економских инструмената [Зековић, 2002]:

1. порези/таксе и оптерећења

- разне таксе укључују опорезивање производње, дистрибуције и потрошње производа чија производња је штетна по околину. Оптерећења загађивача подразумевају порезе за емисију штетних материја у окружење;

2. депозит и накнаде/обештећења

- повраћај депозита подразумева плаћање депозита за куповину могућих еколошки неповољних производа, који се враћа када се установи да исти нема негативних учинака на окружење;

3. трговина емисијама или систем тржишних дозвола

- тржишне дозволе подразумевају авансну продају права на одређену квоту емисија загађујућих материја конкретном предузећу, које може да купи ову дозволу на тржишту хартија "квота емисије";

4. примена финансијских подстицаја

- повољним кредитима подстичу се произвођачи да унапређују систем заштите, смањују количину отпад и производе еколошки прихватљивији производ;

5. помоћ

- држава директно или индиректно стимулише произвођача да еколошки унапреди своју производњу, држава обезбеђује гаранције за комерцијалне кредите, држава отписује или стимулише кредиторе да отпишу дугове и сл.

У Србији се накнада за загађивање животне средине плаћа према одредбама Уредбе из 2005, са дорадама и изменама [Накнаде за загађење, 2005-2016].

Од земаља у окружењу, у Хрватској је нпр. имплементација овог принципа у случају тзв. "црних тачака" код којих се не може утврдити ко је одговоран за штету нанесену животной средини, дефинисана "Законом о заштити околиша 80/13" на следећи начин: *"Ако није могуће утврдити загађивача, средства за отклањање последица очистишења обезбеђују се из буџета јединице локалне, односно, регионалне самоуправе и из државног буџета"*.

Комплементарно правило из домаће законске регулативе је "начело супсидијарне одговорности" (Закон о заштити животне средине, Сл. Гласник 135/2004), које гласи да *"државни органи, у оквиру својих финансијских могућности, отклањају последице загађивања животне средине и смањења штете у случајевима када је загађивач непознат, као и када штета потиче услед загађивања животне средине из извора ван територије РС"*.

У тражењу алтернативе строгим правилима неолибералног економског концепта најпре се јавља потреба, бржег напуштања концепта линеарне економије. У тражењу нових решења све више се уважава чињеница да постоје значајна ограничења у доступности вредних материјалних ресурса те чињеница да су захтеви за заштиту околине све већи и да више није могуће потпуно их игнорисати.

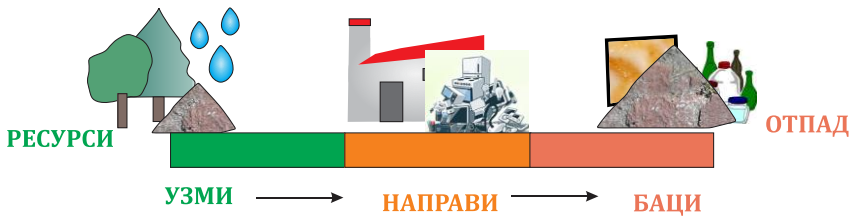
Транзиција схваћена као процес побољшавања, с једне стране, представља напуштање концепта линеарне економије, а с друге стране, није налазила одговарајуће уточиште у неком новом концепту, све до задње велике економске, али и кризе околине и климатских промена, 2008. г. Тада се почиње јасније назирати нови концепт тзв. циркуларне (кружне, цикличке) економије. Циркуларна економија не представља искључиво одговор на економску кризу већ захтева другачији поглед на сферу социјалне одговорности укључујући и одрживи развој [Дрлјаца, 2015].

Линеарна економија подразумева једносмерно кретање материјала и енергије, док циркуларна економија подразумева њихово кружно кретање, слика 10.4. [Митровић и др., 2016, Ђурета и др., 2016].

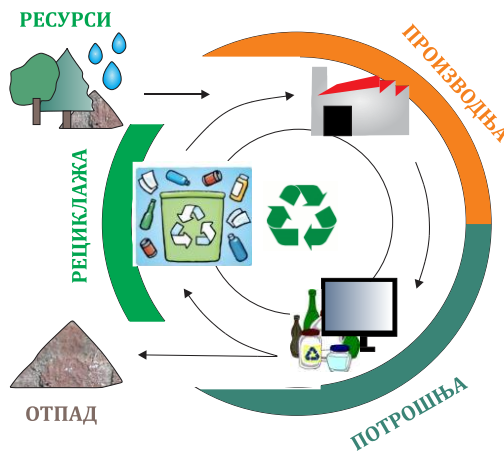
Линеарни модел "узми - направи - користи - баци" заснован је на експлоатацији и коришћењу природних ресурса који су на располагању, лако доступни и јефтини за одлагање, али се сматра да то није потпуно одрживо.

Циркуларна економија следи логику кружног кретању у природи успостављајући начело поновне употребе отпада, што укључује и успешно коришћење енергије, што значи да је циркуларна економија обновљива, и има за циљ да одржи корисност производа, компоненти и материјала и задржи њихову вредност. Смањује потребу за додатним количинама материјала и енергије и, упоредо, врши притисак на животну средину повезан са експлоатацијом ресурса, емисијама и одлагањем отпада. Овакав приступ подразумева да се природним ресурсима управља ефикасно и одрживо током њиховог животног века.

ЛИНЕАРНА ЕКОНОМИЈА



ЦИРКУЛАРНА ЕКОНОМИЈА



Слика 10.4. Упоредни приказ модела линеарне и циркуларне економије

У циркуларној економији се [Чарапина, 2016]:

- у фази обликовања производа елиминише отпад, а иновације су присутне кроз цео животно циклус производа,
- смањују количине материјала потребне за извршење одређене услуге (**смањење оптерећења**),
- продужује употребни век производа (**трајност**),
- смањује потрошња енергије и материјала у фазама производње и коришћења (**ефикасност**),
- смањује коришћење материјала који су опасни или их је тешко рециклирати (**замена**),

- ствара тржиште за секундарне (рециклиране) сировине,
- осмишљава производ једноставан за одржавање, поправљање, побољшање, прераду или рециклирање (**еколошки дизајн**),
- развија потребна услуга за потрошаче у том погледу (услуге одржавања/ поправка итд.),
- подстиче потрошач у смањењу отпада и висококвалитетном одвајању,
- изграђује систем одвајања и прикупљања отпада којима се трошкови рециклирања и поновне употребе смањују на најмању могућу меру,
- олакшава стварања индустријских кластера којима се спречава да нуспроизводи постану отпад (**индустријска симбиоза**),
- подстиче већи и бољи избор за потрошаче путем унајмљивања, позајмљивања или дељења услуга уместо куповине производа, штитећи истовремено интересе потрошача (у виду трошкова, заштите, информисања, уговорних услова, аспеката осигурања итд.)

Циркуларна економија, суштински, разликује два циклуса биолошки и технички, слика 10.5 [Ellen MacArthur Foundation, 2015].



Слика 10.5. Развој биолошког и техничког циклуса циркуларне економије

У циркуларној економији стопе рециклирања могу се посматрати и из процеса "front-end" дизајна и back-end процеса управљања отпадом.

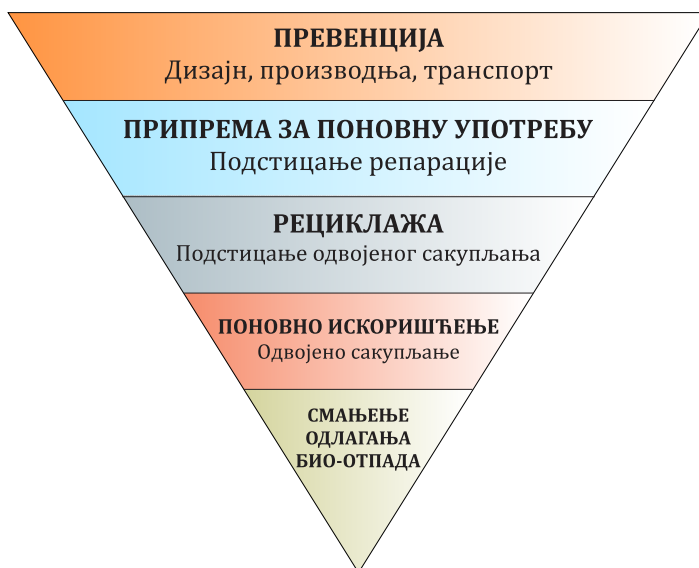
Из "front-end" перспективе, производи и услуге треба да буду дизајнирани имајући у виду "крај века", тако да материјали, вода, емисије у ваздуху и енергија могу бити обновљени, поново коришћени, да им се промени сврха или да буду рециклирани у нове производе и услуге.

Из "back-end" перспективе, циркуларни системи морају да обезбеде високе стопе раздвајања извора, вишеструке употребе за било који дати материјал, да ојачају сарадњу између произвођача отпада и корисника и организују локално/регионално коришћење материјала у циљу смањења трошкова транспорта, финансирања и гасова стаклене баште.

Циркуларна економија се може свести на следећа 3 принципа:

- 1) Очувати и побољшати природни капитал контролисањем коначних залиха и билансирањем обновљивих извора ресурса, нпр. заменити фосилна горива са обновљивим изворима енергије
- 2) Оптимизовати приносе ресурса циркулишући производе, компоненте и материјале који се највише користе, и у техничким и биолошким циклусима, нпр. продужити животни век производа давањем неком другом кориснику или вишеструким коришћењем,
- 3) Усавршавати ефикасности система откривањем и дизајнирањем, без негативних утицаја на екстерналија, као што су вода, ваздух, земљиште, бука, клима, здравље итд.

Примена циркуларне економије мења и хијерархију управљања отпадом, која и даље има 5 корака, али је њихова намена надопуњена, слика 10.6 [Шеровић, Радосављевић, 2016].



Слика 10.6. Хијерархија управљања отпадом уз уважавање циркуларне економије

Десетогодишња развојна стратегија (2010-2020) Еуропа 2020, као један од три основна приоритета развоја ЕУ, предлаже [Drljača, 2015]:

- одржив раст, односно промовисање економије која ефикасније користи ресурсе, зеленија је и конкурентнија,

- транзиција с, још увек, доминантне линеарне на циркуларну економију, економски модел који осигурава одрживо управљање материјалним ресурсима и продужавање животног века материјала и производа, и
- свести настајање отпада на најмању могућу меру и то не само отпада који настаје у производним процесима, већ систематски, током читавог животног циклуса производа и његових компоненти.

10.1.7. Принцип одговорности

Произвођачи, увозници, дистрибутери и продавци производа који утичу на пораст количине отпада одговорни су за отпад који настаје услед њихових активности. Произвођач сноси највећу одговорност јер утиче на састав и особине производа и његове амбалаже. Произвођач је обавезан да брине о смањењу настајања отпада, развоју производа који су рециклабилни, развоју тржишта за поновну употребу и рециклажу својих производа. Овај принцип, практично, представља продужетак принципа "загађивач плаћа".

Проширена одговорност произвођача (енглески: *EPR - extended producer responsibility*) је најпре примењена у Шведској (законом из 1994.г.), а потом је постала устаљена мера у развијеним земљама, којом се потенцира праћење комплексних производа до краја његовог живота (енглески: *end-of-life*) [Chandrappa, Das, 2012]. Мере које се предузимају за продужење животног века обухватају:

- прилагођавање производа да се може рециклирати или поново користити,
- смањење количине производа,
- уштеда материјала, и
- прилагођавање активности "дизајн за животну средину".

Уобичајени инструменти за постизање *EPR* су [Walls, 2006]:

- мандат повратка производа,
- циљани опсег рециклаже,
- циљани опсег рециклаже, са кредитним ризиком,
- добровољно прихватање враћања производа, узимајући у обзир циљани опсег рециклаже,
- додатне накнаде за рециклажу,
- додатне накнаде за рециклажу у комбинацији са субвенцијом за рециклажу,
- забрана депоновања,
- одређивање цене за сакупљање / одлагање отпада,
- субвенције за рециклажу,
- пореске олакшице за улагање у рециклажу.

Произвођачима неких производа, као што су компјутери и друга електроника, аутомобили и сл., проширење одговорности обухвата монтажу производа и рециклирање што је неким обезбедило већу ефикасност и профитабилнији рад. Међутим, већини је то тежак изазов, који се најчешће третира ко додатни трошак [Spicer, Johnson, 2004].

Овај принцип, дакле, промовише одговорност произвођача на целокупни животно циклус производа и његове различите делове, ради система унапређења

животне средине, а посебно промовишући поновно преузимање, рециклирање и коначно одлагања производа који је, на крају, постао отпад [Lindhqvist, 2000].

У законској регулативи ЕУ овај принцип је најпре примењен на новинском папиру, потом на отпадним гумама, амбалажи, возилима, електронској и електричној опреми итд. Принцип је широко прихваћен и у другим развијеним земљама.

Интересантан пример продужене одговорности може се наћи у српској "Уредби о врстама загађивања, критеријумима за обрачун накнаде за загађивање животне средине и обвезницима, висини и начину обрачунавања и плаћања накнаде" где се прописују накнаде за произвођаче отпада и загађиваче (посебно гасовима стаклене баште), али се ту налази и накнада коју плаћају произвођачи (дистрибутери) пластичних кеса. Дакле, пластичне кесе априори нису отпад, али принцип предострожности, принцип одговорности и принцип да загађивач плаћа, удружени, прописују накнаду која се уплаћује јер је јасно да ће те кесе веома брзо постати отпад и на тај начин угрожавати животну средину.

Члан 16а

Висина накнаде за пластичне кесе износи:

- 1) за пластичне кесе са адитивима - 1.296 динара по тони пластичних кеса стављених на тржиште Републике Србије;
- 2) за пластичне кесе без адитива - 25.914 динара по тони пластичних кеса стављених на тржиште Републике Србије.

Уредби о врстама загађивања, критеријумима за обрачун накнаде за загађивање животне средине и обвезницима, висини и начину обрачунавања и плаћања накнаде, 2016.

Накнаде за производњу отпада или потенцијалног отпада се повремено усклађују са кретањем трошков аживота и инфлацијом, па је према "Правилнику о усклађеним износима накнаде за загађивање животне средине" ("Сл. гласник РС", бр. 43/2017) прописана накнада за одлагање отпада.

Износи накнаде за произведени или одложени отпад су за:

- 1) једну тону одложеног неопасног индустријског отпада - 306 динара;
- 2) једну тону произведеног опасног отпада - 1.532 динара

Правилнику о усклађеним износима накнаде за загађивање животне средине, 2017.

Када се разматра одговорност произвођача отпада за штету која је проузрокована услед хаварије на депонији у пракси се бележе различити случајеви, али им је заједничко то да произвођачи на све начине теже да умање штету и да део одговорности пребаце на државу и/или локалну самоуправу.

Власници рудника Самарко (Samarco) у Бразилу катастрофалну несрећу услед рушења јаловишта назвали су "инцидентом", а не "катастрофом", мада је у несрећи страдало 17 људи, причињена је велика материјална штета, ефекти загађења се осећају на удаљености од преко 500 km, јер је загађење доспело до реке, која га је разнела [Szoke, 2015, Натје, 2017]. Има много дефиниција шта је то катастрофа [Costa, 2017], али су губитак људских живота, велика материјална и еколошка штета увек добар знак да се не ради о инциденту или акцеденту. Међународни црвени крст катастрофу дефинише као "изненадни, катастрофални догађај који озбиљно нарушава функционисање заједнице или друштва и узрокује људске, материјалне и економске или еколошке губитке који превазилазе способности заједнице или друштва да се сами с тим носе. Иако катастрофу често изазива природа, може бити изазвана и људским деловањем" [Costa, 2017]. Разуме се, ово поигравање изразима има дубљи смисао везан за утврђивање причињене штете и накнаду оштећеним лицима. Тако су се компанија и локални органи власти договорили да штету у износу од око 5,6 милијарди US\$ компанија плати у наредних 15 година, мада је Савезно тужилаштво штету проценило на 44,35 милијарди US\$. Индикативно је да је за претходни договор Компаније и локалних власти било потребно свега месец дана, док се на пример за договарање око штете проузроковане изливањем нафте у Мексички залив било потребно око 5 година [Tuncak, 2017].

10.1.8. Принцип самодовољности

У Закону о управљању отпадом овај принцип је образложен на следећи начин: *"Примена начела самодовољности подразумева успостављање интегрисане и одговарајуће мреже постројења за поновно искоришћење и одлагање мешаног комуналног отпада сакупљеног из домаћинства, укључујући сакупљање ове врсте отпада који настаје код других произвођача отпада, узимајући у обзир најбоље доступне технике, у складу са овим законом. Мрежа тих постројења треба да буде пројектована тако да омогући Републици Србији остваривање начела самодовољности у одлагању отпада, као и у поновном искоришћењу отпада, узимајући у обзир географске карактеристике региона и потребу за посебним постројењима за поједине врсте отпада. Ова мрежа треба да омогући одлагање или поновно искоришћење отпада у једном од најближих одговарајућих постројења, најпримеренијим методама и технологијама, како би се осигурао висок ниво заштите животне средине и јавног здравља."*

Из претходног текста је видљиво да је принцип (или начело) самодовољности приоритетно везан за комунални отпад, те да се самодовољност своди на регионални и суб-регионални ниво, при чему се и сама држава посматра као регија која треба да испуни принцип самодовољности. Међутим, овај принцип се среће и у многим другим областима (нпр. добровољно давање крви, урбанизам) и своди се на заокруживање технолошког ланца тако да одређена област или регија може сама себе да опслужује (снабдева, обезбеђује) у погледу основних животних потреба. Овде се, свакако, не мисли на себичност (сви други су непотребни!) већ на рационалност да се процес заокружи и да се њим у потпуности управља.

Преведено на поље управљања отпадом овај принцип тражи да се на нивоу регије, или координираним деловањем више просторно блиских регија, проблем управљања отпадом не запоставља већ да се увек има одговарајуће и одрживо решење. Не може се дозволити да нека регија (на нивоу ЕУ то се посматра као

држава) производи и не решава свој отпад или да друга регија трпи загађења од комшијске регија којој није стало до решавања тог проблема. Дакле, позивањем на овај принцип свака јединица (општина, регија, република, покрајина, држава, група држава) стара се да на свом нивоу и на својој територији, сама или у координацији са суседима, организује решавање отпада, сагласно хијерархији управљања отпадом, и тиме штити и себе и окружење у суседству. Са овим начелом може се повезати и тзв. Еспо-конвенција (*Espoo* – назив према граду у Финској у којем је конвенција донета), којом се дефинише потреба укључивања суседних држава у процену утицаја на животну средину, како би се спречило прекогранично загађење [Закон, 2007].

10.2. Опције управљања отпадом

Интегрално управљање отпадом подразумева сагледавање отпада од његовог настајања, минимизације, преко сакупљања, транспорта, третмана до одлагања. Уколико се жели одрживи систем управљања отпадом, неопходно је сагледати све опције третмана отпада. Одлука о избору најпогодније опције за третман се доноси кроз анализу животног циклуса отпада садржи и карактеристике средине и локације на којој отпад настаје.

Важни услови који утичу на одлуку о искоришћавању или одлагању отпада су:

- повећани захтеви за еколошки безбедним уклањањем отпада, што има за последицу веће трошкове одлагања;
- примена принципа наплате стварних трошкова одлагања отпада загађивачу, произвођачу отпада;
- развој нових производних технологија и поступака коришћења отпада, и
- испитивање тржишта за пласман рециклабилних производа.

Концепт хијерархије управљања отпадом указује да је смањење настајања отпада најефективније решење за животну средину. Међутим, тамо где даље смањење није практично применљиво, производи и материјали могу бити искоришћени поново, било за исту или другу намену. Уколико та могућност не постоји, отпад се даље може искористити кроз рециклажу или компостирање, или кроз добијање енергије. Само ако ни једна од претходних опција не даје одговарајуће решење отпад треба одложити на депонију.

Одрживи систем управљања отпадом захтева да се сагледају све опције третмана отпада. Нове технологије, уколико су поуздане и конкурентне у поређењу са осталим опцијама, такође могу заузети своје место у систему.

Планирање управљањем отпада врши се на више нивоа, почевши од нивоа владе па закључно са нивоом произвођача отпада. Према закону управљање отпадом врши се на бази следећих планских докумената:

- 1) стратегија управљања отпадом,
- 2) програми превенције стварања отпада;
- 3) регионални план управљања отпадом;
- 4) локални план управљања отпадом;
- 5) план управљања отпадом у постројењу за које се издаје интегрисана дозвола;
- 6) радни план постројења за управљање отпадом.

Правно највиши акт је Стратегија управња отпадом који има следеће делове:

- 1) анализу и оцену стања управљања отпадом;
- 2) националне циљеве управљања отпадом;
- 3) национални план управљања отпадом.

Национални план управљања отпадом садржи:

- 1) очекиване врсте, количине и порекло отпада,
- 2) постојећи систем сакупљања отпада и мрежа великих постројења за поновно искоришћење и одлагање отпада,
- 3) процену потребе за новим системом сакупљања, затварања постојећих постројења за управљање отпадом, додатном инфраструктуром постројења за управљање отпадом у складу са начелом самодовољности и близине и, по потреби, улагањима у изградњу те инфраструктуре;
- 4) план за имплементацију смањења количина биоразградивог отпада, који се одлаже на депоније,
- 5) критеријуме за одређивање локације и потребне капацитете нових постројења за поновно искоришћење и/или одлагање отпада,
- 6) организацију управљања отпадом, укључујући поделу одговорности између јавног и приватног сектора у области управљања отпадом,
- 7) изворе и висину финансијских средстава за спровођење свих мера управљања отпадом,
- 8) процену корисних ефеката и одрживости примене економских и других инструмената у управљању отпадом, уз несметано функционисање унутрашњег тржишта,
- 9) мере и смернице за спровођење Националног плана;
 - ◆ опште мере управљања отпадом;
 - ◆ мере управљања опасним отпадом;
 - ◆ мере управљања посебним токовима отпада;
 - ◆ опште смернице (политике) управљања отпадом, планиране технологије и методе управљања отпадом, укључујући отпад са специфичним проблемима управљања;
 - ◆ смернице за поновно искоришћење и одлагање отпада,
 - ◆ смернице за осигурање најповољнијих техничких, производних и других мера за постизање циљева управљања отпадом;
 - ◆ критеријуме техничке и економске изводљивости управљања опасним отпадом;
 - ◆ финансирање и мере за успостављање система управљања отпадом;
 - ◆ мере за спровођење кампања за јачање свести јавности и пружање информација намењених широј јавности или одређеној групи заинтересованих потрошача;
 - ◆ податке о депонијама контаминираним историјским отпадом и мере за њихову санацију;
 - ◆ друге мере од значаја за управљање отпадом.
- 10) начин и рокове спровођења Националног плана.

10.3. План управљања отпадом

Комплетан развој плана управљања отпадом подразумева више фаза [EU, 2003, ISWA, 2013]:

- **Фаза мобилизације**, у овој почетној фази планирања потребно је покренути (мобилисати) све актере (власнике, акционаре, стручњаке, политичаре) чије учешће је неопходно да се план постане одржив и прихватљив за све, у овој фази потребно је дефинисати следеће:
 - ♦ општа проблематика,
 - ♦ легислатива, општа и национална,
 - ♦ специфичности,
 - ♦ посебни захтеви;
- **Статусна фаза**, подразумева евалуацију стања са свих аспеката (институционалних, техничких, пропагандних) како би се план урадио што ефикасније и реалније:
 - ♦ дефинисање постојећег стање:
 - извори и токови отпада,
 - количине и типови отпада,
 - постојећи систем рада са отпадом,
 - економија и финансирање,
 - ♦ пројекције стања:
 - социо-економске пројекције,
 - пројекције везане за отпад,
 - ♦ закључна разматрања:
 - предности и мане;
- **Фаза планирања**, подразумева израду плана сагласно претходним сазнањима и законској регулативи, укључујући и процену будућих потреба и развоја:
 - ♦ претпоставке за планирање,
 - ♦ дефинисање обима плана,
 - ♦ предлагање сценарија,
 - ♦ постављање циљева и задатака,
 - ♦ акциони план;
- **Фаза имплементације**, подразумева практичну реализацију плана у сагласности са легислативом и технолошким и логистичким системима,
 - ♦ успостављање инструменте за имплементацију план управљања отпадом,
 - инструменти политике,
 - законски инструменти,
 - економски инструменти,
 - еколошки споразуми / партнерства,
 - обавештавање јавност и комуникација,
 - планирање,
 - ♦ програм имплементације;
- **Фаза контроле и мониторинга**, укључује дефинисање активности које треба надгледати и пратити преко релевантних индикатора:
 - ♦ дефинисање активности које треба надгледати:
 - дефинисање индикатора средине које треба пратити,
 - процене и преглед примењеног систем управљања.

У Србији је садржај плана управљања отпадом одређен је Законом о интегрисаном спречавању и контроли загађивања животне средине ("Сл. гласник РС" 135/04), и чл. 15 Закона о управљању отпадом ("Сл. гласник РС", бр. 36/09, 88/10, 14/16) за оператере постројења за која се издаје интегрисана дозвола, припрема и доноси план управљања отпадом. Произвођач отпада који годишње генерише више од 100 t неопасног отпада или више од 200 kg опасног отпада дужан је да уради План управљања отпадом.

План управљања отпадом ради се на основу:

- принципа управљања отпадом,
- стандарда за управљање системом заштите животне средине,
- расположиве техничке документације,
- научних и техничко-технолошких сазнања о врстама отпада који се генеришу,
- искуства на раније примењиваној пракси управљања отпадом,
- расположивих студија мониторинга основних чинилаца животне средине,
- расположивих података о карактеризацији и категоризацији отпада који се генерише, и
- увидом на лицу места.

Циљ система управљања отпадом је обезбеђење и осигурање услови за:

- развијање свести о управљању отпадом,
- праћење стања отпада,
- управљање на начин којим се не угрожава здравље људи и животна средина,
- превенцију настајања отпада,
- поновно искоришћење и рециклажу отпада,
- развој поступака третмана и поновног коришћења отпада.

За успостављања система управљања отпадом у неком предузећу потребно је:

- размотрити и разумети технолошки процес који се примењује,
- идентификовати места настанка и токове отпада, и
- анализирати постојећу праксу у управљању отпадом.

Пошто се систем управљања отпадом базира на доследној примени хијерархије у управљању, увек је потребно посао започети од анализе и разумевања технолошког процеса у којем се отпад генерише, како би се видело има ли смисла први корак – избегавање настајања отпада. Овде, по правилу, не треба очекивати спектакуларне резултате јер је власник предузећа и технолошког процеса усредсређен да произведе (количински, масено) што је могуће више производа који има стандардизовани или договорени квалитет. Тај корисни производ доноси приход и (требало би) профит па му се посвећује посебна пажња. Оно што не задовољава стандард или уговор може бити нус-производ и/или отпад. Интерес је власника да произведени нус-производ има вредност и купца, тако да интензивно ради на томе. Остатак који нема купца, нити потребни квалитет, јесте отпад, који ретко генерише приход па се власнички приступ том производу суштински своди на минимизацију трошкова.

Идентификација места настанка (извор) и токова отпада битна је ради:

- сагледавања облика у којем се отпад јавља (чврсти, муљевити, течни, гасовити),
- анализе приступа месту настанка и траси унутрашњег транспорта (ради узорковања или прихватања ради даље обраде),
- анализе угрожености радне и животне средине на месту где отпад настаје и на траси унутрашњег транспорта.

Анализа тренутног поступања отпадом је битна ради оцене потреба да се битно мења, унапређује или прихвата у непромењеном стању.

Кључне фазе у управљању отпадом на нивоу предузећа, које се дефинишу у оквиру плана управљања отпадом су:

- формирање списка и идентификација настајања свих врста отпада,
- карактеризација и категоризација отпада,
- разврставање отпада,
- привремено одлагање и складиштење отпада,
- третман отпада,
- продаја и транспорт отпада.

Врло често се прве две фазе своде на једну, јер се упоредо са формирањем списка свих отпада који се у предузећу јављају идентификује место настајања, његове карактеристике и категорија у коју се отпад сврстава. Разуме се када карактеристике нису познате није га могуће ни категорисати. У тим условима се узимају узорци на којима се утврђују битне карактеристике што чини основу за категоризацију отпада.

Пример, списка отпада који се појављују у постројењу хемијске индустрије и транспортном предузећу приказан је у табелама 10.5 и 10.6 [интерна документација].

Табела 10.5. *Списак и карактеризација отпада из транспортног предузећа*

Назив отпада	Карактер отпада	Индексни број отпада	Q листа	Y листа	C листа	H листа
Течни отпад из постројења за прераду отпадних вода	Опасан	19 08 10	Q9	Y9/ Y40	C51	H15
Отпадни оловни акумулатори	Опасан	16 06 01	Q6	Y37	C18/ C23	H8/ H10
Отпадни челични акумулатори	Опасан	16 06 02	Q6	Y37	C5/ C11/ C24	H8/ H10
Метална амбалажа контаминирана мастима и уљима	Опасан	15 01 10	Q5	Y40	C51	H15
Отпадна емулзија и муљ из радионице за одржавање вагона и локомотива	Опасан	13 08 99	Q1	Y9	C51	H15
Отпадни муљ са дна резервоара за нафту	Опасан	13 07 01	Q7	Y8	C51	H15
Отпадни филтери за гориво, уље и ваздух	Опасан	15 02 02/ 16 01 07	Q16	Y40	C51	H15
Отпадно мешано уље (моторно, мењачко, хидраулично)	Опасан	13 08 99	Q7	Y8	C51	H15

Назив отпада	Карактер отпада	Индексни број отпада	Q листа	Y листа	C листа	H листа
Отпадне крпе, пувала, радна одећа контаминирана уљима	Опасан	15 02 02	Q5	Y8	C51	H15
Отпадна метална амбалажа од масти и уља	Опасан	15 01 10	Q5	Y8	C51	H15
Отпадне флуо цеви и живине сијалице	Опасан	20 01 21	Q6	Y37	C16	H14/ H15
Отпадни дрвени железнички прагови	Опасан	17 02 04/ 20 01 37	Q16	Y40	C51	H15
Отпадна дизел локомотива серије 641	Опасан	16 01 04	Q16	Y40	C7/ C18/ C51	H15
Електронски отпад (рачунари, монитори, идр.)	Опасан	16 02 13	Q6	Y40	C18/ C51	H14
Отпадно трафо уље	Опасан	13 03 01	Q16	Y10	C32	N10/ H15
Отпадне дизел локомотиве	Опасан	16 01 04	Q16	Y40	C7/ C18/ C51	H15
Отпадне електричне локомотиве	Опасан	16 01 04	Q16	Y40	C51	H15
Отпадно моторно уље	Опасан	13 02 05	Q7	Y8	C51	H15
Отпадне дизел локомотиве серије	Опасан	16 01 04	Q16	Y40	C7/ C18/ C51	H15
Отпадни зауљени колосечни метални прибор	Опасан	16 01 04	Q16	Y40	C7/ C18/ C51	H15
Електронски и електрични отпад	Опасан	16 02 15	Q16	Y40	C18/ C51	H14
Зауљена дрвена грађа са теретних вагона	Опасан	17 02 04/ 20 01 37	Q16	Y40	C51	H15
Отпадна стаклена вуна	Опасан	17 06 01	Q16	Y40	C25	H7
Отпадне салонит плоче	Опасан	17 06 05	Q14	Y40	C25	H7
Отпадни изолатори	Опасан	16 02 15	Q16	Y40	C7/ C18	H6/ H15
Отпадне стационарне оловне батерије за напајање централа	Опасан	16 06 01	Q6	Y37	C18/ C23	H8/ H10
Отпадни дрвени железнички прагови и скретничка грађа	Опасан	17 02 04/ 20 01 37	Q16	Y40	C51	H15
Отпадни путнички вагони (отпадни метал)	Неопасан	16 01 06/ 16 01 17	Q16	-	-	-
Отпадни бакар	Неопасан	16 01 18	Q16	Нема	Нема	Нема
Отпадне гуме	Неопасан	16 01 03	Q16	Нема	Нема	Нема
Отпадни колосечни метални прибор	Неопасан	16 01 17	Q6	Нема	Нема	Нема

Табела 10.6. *Списак и карактеризација отпада из предузећа хемијске индустрије*

Назив отпада	Карактер отпада	Индексни број отпада	Q листа	Y листа	C листа	H листа
Отпадни активни угаљ из система за пречишћавање гасова	опасан	06 13 02*	-	-	-	-
Коришћени врећасти филтери	опасан	15 02 02*	-	-	-	-
Прашина из врећастих филтера	опасан	06 13 99*	-	-	-	-
Отпадни мазут	опасан	13 07 01*	Q1	Y8	C51/C4 3	H7/ H15
Отпад од чишћења резервоара мазута	-	16 07 08*	-	-	-	-
Отпад од чишћења хале	опасан	20 01 99*	Q5	Y40	C22	H15
Отпад из резервоара за хемикалије	опасан	16 07 09*	-	-	-	-

Разврставање отпада примењује се на хетерогеном отпаду. Када се отпад затекне на некој локацији његово разврставање започиње одмах по његовој карактеризацији, а отпада чије карактеристике су познате у фази настајања започиње одмах по изласку из технолошког процеса. На индустријским постројењима издваја се много разноврсног отпада па се и ту врши разврставање. Изглед привременог складишта на којем се отпад разврстава приказано је на слици 10.7, док је на слици 10.8 приказано складиште на којем разврставање индустријског отпада није вршено.

**Слика 10.7.** *Изглед привременог складишта са боксовима за разврставање отпада*

Привремено одлагање и складиштење врши се код свих врста отпада чије количине су ниске, а фреквенција издвајања неравномерна, слика 10.9.

Привремена складишта отпада треба да имају прилазне саобраћајнице (друмским и железничким) и да буду погодна за манипулацију отпадом (утовар/истовар). Прилази привременом складишту треба да су слободни и проходни, а приступ могућ искључиво радном особљу и овлашћеном лицу.



Слика 10.8. Изглед привременог складишта на којем није вршено разврставање

Опасан отпад се складишти у резервоарима, контејнерима и другим посудама у оквиру складишта, које је наменско и које мора бити покривено, ограђено ради спречавања приступа неовлашћеним лицима, физички обезбеђено, закључано и под сталним надзором, слика 10.10.



Слика 10.9. Привремено складиштење различитих врста неопасног отпада

О свим активностима у вези складиштења опасног отпада, обавезно је вођење евиденције. Локација за одлагање опасног отпада, као и само привремено складиште мора да испуњава прописе о санитарној и здравственој заштити, као и техничке и друге услове којима се обезбеђује заштита од њиховог штетног деловања на људско здравље и животну средину. Уколико је реч о опасног отпаду недовољно испитаних особина, он се до момента прибављања извештаја о испитивању, привремено складишти на безбедан начин, одвојено од осталог разврстаног опасног отпада, на тачно означеном месту у оквиру складишта. Упакован опасни отпад мора бити видљиво и јасно обележен.

Код индустријских отпада чије количине су велике (јаловина, пепео и шљака, гипсеви) и чије карактеристике су познате ретко се практикује привремено складиштење. Ако се каснија примена тог отпада не очекује привремено складиштење служи ради лакше манипулације (посебно у лошим временским условима), бољег

коришћења повратних вода и ради прилагођавања карактеристика отпада каснијем трајном складиштењу, слика 10.11.



Слика 10.10. Складиштење опасног отпада



Слика 10.11. Привремено складиштење пепела топлане "Колубара" у Медошевцу пре упућивања на трајну депонију "Поље Д"

Када такав отпад има неку каснију примену (нпр. пепели) тада се они складиште на адекватан начин (затворени силоси), слика 10.12.



Слика 10.12. Силоси за привремено складиштење пепела и шљаке на ТЕ "Никола Тесла Б"

Планом управљања треба обрадити и третирање отпада. Код разраде овога плана доследно треба отпоштовати процедуру дату у хијерархији управљања отпадом. За прихватање било које технологије и методе третирања треба имати релевантну документацију која показује да су карактеристике отпада такве да се третирањем може постићи жељени или потребни циљ.

Нетретирани отпад или остатак након третирања се депонује на за то припремљено место. Планом треба детаљно размотрити све елементе депоније и посебно могући утицај на окружење. Техничко решавање депоније обавља се техничким пројектима, а технологија се бира сагласно карактеристикама отпада и важећој легислативи. Код депоновања отпада потребно је извршити и класификацију депонија сагласно важећим законима и правилницима.

Литература

- [1] Анон, Закон о управљању отпадом, ("Сл. гласник РС", 36/2009, 88/2010 и 14/2016)
- [2] Anon, (2016), A Guide to Solid Waste Management Planning, British Columbia, Ministry of Environment, version 1.0, <https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/waste-management/garbage/swmp.pdf>
- [3] Павловић В., (2011), Одрживи развој и универзитетско образовање, поглавље у књизи, Универзитет и одрживи развој, приредио Вукашин Павловић, Факултет политичких наука Универзитета у Београду, Центар за еколошку политику и одрживи развој, Београд, 13-30
- [4] Nihart A., (2014), Lessons from a Little Island, <https://learn.uvm.edu/foodsystems/blog/2014/08/21/lessons-from-a-little-island/>
- [5] Gowdy J.M., McDaniel C.N., (1999), The Physical Destruction of Nauru: An Example of Weak Sustainability, *Land Economics*, 75 (2): 333-38
- [6] Harris J. (2000) "Basic Principles of Sustainable Development", Working Paper No. 00-04, Global Development and Environment Institute, Tufts University
- [7] Directive 2008/98/EC on waste and repealing certain Directives, *European Communities, Official Journal of the European Union*, L 312/3,
- [8] Government of Victoria, Department of natural resources and environment, (2002), Tailings storage, guidelines for Victoria, discussion paper
- [9] Non-Hazardous Waste Management Hierarchy, <http://www.epa.gov/waste/nonhaz/municipal/hierarchy.htm>
- [10] Анон, (2010), Стратегију управљања отпадом за период 2010-2019. г, Сл. Гласник 29/2010
- [11] Zaman A.U., Lehmann S., (2013), The zero waste index: a performance measurement tool for waste management systems in a 'zero waste city', *Jour. of Cleaner Production* 50, pp.123-132
- [12] Song Q., Li J., Zeng X., (2015), Minimizing the increasing solid waste through zero waste strategy, *Journal of Cleaner Production*, Volume 104, pp. 199-210
- [13] <http://zwia.org/standards/zw-definition/>

- [14] Connett P, (2010), Zero Waste: A Key Stepping Stone to Sustainability United Nations, https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/presentation_connet.pdf
- [15] Де Жарден Ц.П., (2006), Еколошка етика, Службени гласник, Београд, 2006
- [16] Breivik K, Armitage J.M., Wania F., Jone K.C., (2014), Tracking the Global Generation and Exports of e Waste. Do Existing Estimates Add up?, [dx.doi.org/10.1021/es5021313](https://doi.org/10.1021/es5021313), Environ. Sci. Technol., 48, 8735–8743
- [17] Luz C., (2007) Waste Couture: Environmental Impact of the Clothing Industry, Environ Health Perspect. 115(9): A449–A454.
- [18] Тубић Б, (2014), Начело предострожности у међународном праву животне средине и међународној судској пракси, Зборник радова Правног факултета у Новом Саду, број 2, стр. 367-384, doi:10.5937/zrpfns48-6745
- [19] deFur P. L., Kaszuba M, (2002) Implementing the precautionary principle, The Science of the Total Environment, 288, pp. 155–165
- [20] Stevens M, (2002), The Precautionary Principle in the International Arena, Sustainable Development Law & Policy, Volume 2, Issue 2 Article 7
- [21] United Nations, (2006), Reports of international arbitral awards recueil des sentences arbitrales Trail smelter case (United States, Canada) 16 April 1938 and 11 March 1941
- [22] van de Kerkhof M., (2011), The Trail Smelter Case Re-examined: Examining the Development of National Procedural Mechanisms to Resolve a Trail Smelter Type Dispute, Merkourios, Volume 27/Issue 73, Article, pp. 68-83.
- [23] Чучковић Б, (2012), Принцип "загађивач плаћа" и одговорност за еколошку штету – међународни и европски стандарди, Зборник радова Перспективе имплементације европских стандарда у правни систем Србије – књ. 2, Правни факултет, Београд, 270-284
- [24] Алавук М., Матијашевић Ј., (2012), Принципи (начела) на којима се заснива спречавање и контрола загађивања медија животне средине у законима о заштити животне средине републике Србије, Право – теорија и пракса, бр. 10–12, стр. 29–40
- [25] Stockholm Declaration, (1972), United Nations Conference on the Human Environment, Stockholm, 16 June 1972, UN doc. A/CONF.48/14, Rev. 1.
- [26] Rio Declaration on Environment and Development, (1992), Rio de Janeiro, 13 June 1992, UN doc. A/CONF.151/5/rev.1.
- [27] Treaty of Lisbon amending the Treaty on European Union and the Treaty establishing the European Community, (2007), Official Journal C 306 of 17 December 2007.
- [28] Zakon o zaštiti životn sredine
- [29] Надић Д., 2008, Принцип предострожности као базични принцип еколошке политике, Годишњак Факултета политичких наука, Београд, стр. 159-170
- [30] <https://www.theguardian.com/environment/2017/mar/07/un-experts-denounce-myth-pesticides-are-necessary-to-feed-the-world>
- [31] Human Rights Council Thirty-fourth session, (2017), Agenda item 3 Promotion and protection of all human rights, civil, political, economic, social and cultural

- rights, including the right to development Report of the Special Rapporteur on the right to food
- [32] Кнежевић Д., Торбица С., Рајковић З., Недић М., (2014), Одлагање индустријског отпада, Рударско-геолошки факултет, Београд
- [33] Clapp J., [], Seeping Through the Regulatory Cracks: The International Transfer of Toxic Waste, TIPEC Working Paper 01/1, <http://www.trentu.ca/org/tipec/clapp1.pdf>
- [34] Sora MJ, (2013), Incineration overcapacity and waste shipping in Europe: the end of the proximity principle?, Global Alliance for Incinerator Alternatives
- [35] http://www.epa.ie/licences/lic_eDMS/090151b2805fdd84.pdf
- [36] Anon, (2012), Principles of EU environmental law, The Polluter Pays Principle, Workshop on EU legislation, European Commission, European Environment Agency
- [37] Bleeker A., (2009), Does the Polluter Pay? The Polluter-Pays Principle in the Case Law of the European Court of Justice, European Energy and Environmental Law Review, pp. 289-306
- [38] Cordato, R. E. (2001). The polluter pays principle: a proper guide for environmental policy. Institute for Research on the Economics of Taxation.
- [39] EC Council Directive of 6 December 1984 on the inspection and control within the European Community of the transfrontier shipment of hazardous waste, OJEC, L 326/31
- [40] Recommendation on the Application of the Polluter-Pays Principle to Accidental Pollution, C(89)88(Final)
- [41] OECD, (1992), The polluter-pays principle OECD Analyses and Recommendations Environment directorate, Paris
- [42] Ingwani, E., Gondo, T., & Gumbo, T. (2010). The Polluter Pay Principle and the damage done: controversies for sustainable development. *Economia. Seria Management*, 13(1), 53-60.
- [43] Зековић С., (2002), Економски и тржишни инструменти у политици одрживог развоја у Србији, *Индустрија* 1 – 4, стр. 65-80
- [44] Правилник о усклађеним износима накнаде за загађивање животне средине, Сл. гласник РС 43/2017
- [45] Закон о заштити околиша, (2013), 80/13, Народне новине, Република Хрватска, Загреб
- [46] Дрлјаћа М., Концепт кружне економике, (2015), *Квалитет & изврсност*, Vol. IV, No. 9-10, Фондација за културу квалитета и изврсност, Београд, стр.18-22 и 99
- [47] Митровић С, Радосављевић И, Веселинов М, (2016?), Циркуларна економија као шанса за развој Србије, ОЕБС, Београд
- [48] Ђурета В, Мутић М, Митровић С, Богдановић М, (2016), Основи циркуларне економије, *Deutsche Gesellschaft fur Internationale Zusammenarbeit GmbH*, Београд
- [49] Чарапина С. Х., (2015?), Управљање отпадом у оквиру циркуларне економије, Амбасадори одрживог развоја и животне средине, Београд

- [50] Grupa autora, (2015), Growth within: a circular economy vision for a competitive Europe, Ellen MacArthur Foundation, SUN, McKinsey Center for Business and Environment,
- [51] Шеровић Р., Радосављевић И., (2016), Ново законодавство и управљање отпадом у контексту циркуларне економије, <https://hrabricistac.rs/images/Prezentacija%20Ivana%20Radosavljevic%20i%20Radmila%20Serovic.pdf>
- [52] Chandrappa R., Das D.B., (2012), Solid Waste Management, Principles and Practice, Springer Heidelberg New York Dordrecht London
- [53] Walls M (2006) Extended producer responsibility and product design, economic theory and selected case studies, Discussion Paper, Resource for the future, Washington, DC
- [54] Spicer A.J., Johnson M.R., (2004), Third-party demanufacturing as a solution for extended producer responsibility, Journal of Cleaner Production 12, 37–45
- [55] Lindhqvist T., (2000), Extended Producer Responsibility in Cleaner Production Policy Principle to Promote Environmental Improvements of Product Systems Doctoral Dissertation, Lund university, <https://lup.lub.lu.se/search/ws/files/4433708/1002025.pdf>
- [56] Szoke H, (2015), Brazil mine disaster exposes BHP's failures, The Sydney Morning Herald, 19.11.2015., <http://www.smh.com.au/comment/brazilian-dam-disaster-shows-bhp-falls-short-of-global-expectations-20151118-gl2i8c.html>
- [57] Hatje V, Pedreira RMA, Rezende CE, Schettini CAF, Souza GC, Marin DC, Hackspacher PC, (2017), The environmental impacts of one of the largest tailing dam failures worldwide, Scientific Reports, 7: 10706, DOI:10.1038/s41598-017-11143-x
- [58] Costa da K., (2017), Corporate accountability in the Samarco chemical sludge disaster, Disaster Prevention and Management, Vol. 26 Issue: 5, pp.540-552, <https://doi.org/10.1108/DPM-07-2017-0171>
- [59] Уредба о врстама загађивања, критеријумима за обрачун накнаде за загађивање животне средине и обвезницима, висини и начину обрачунавања и плаћања накнаде ("Службени гласник РС" 113/2005, 6/2007, 8/2010, 102/2010, 15/2012, 91/2012, 25/2015 - други пропис и 44/2016 - други пропис)
- [60] Tuncak B., (2017), Lessons from the Samarco Disaster, Business and Human Rights Journal, vol. 2, issue 01, 157-162
- [61] Закон о потврђивању конвенције о процени утицаја на животну средину у прекограничном контексту, Сл. гласник РС - Међународни уговори, 102/2007
- [62] Anon, (2003), Preparing a Waste Management Plan, A methodological guidance note, European Commission Environment DG European Topic Centre on Waste and Material Flows
- [63] Anon, (2013), Solid waste: guidelines for successful planning, ISWA – International solid waste association, ABRELPE - Brazilian Association of Public Cleaning and Waste Management Companies, Sao Paolo

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Аксентијевић С, (2015), Методе анализе загађујућих материја, Висока пословно техничка школа струковних студија, Ужице
- [2] Алавук М., Матијашевић Ј., (2012), Принципи (начела) на којима се заснива спречавање и контрола загађивања медија животне средине у законима о заштити животне средине републике Србије, Право – теорија и пракса, бр. 10–12, стр. 29–40
- [3] Andrew, S., Johnson, M., Cook, J. (1984): Cadmium in small mammals from grassland established on metalliferous mine waste, Environmental pollution, Volume 33 (2): 153-162.
- [4] Anon, (1998), Design guide for the subaqueous disposal of reactive tailings in constructed impoundments, MEND Project 2.11.9
- [5] Anon, (1999), Criteria for design of small embankment dams, Indian Standard, IS: 12169 ·1997, Bureau of Indian standards, New Delhi
- [6] Anon, (2003), Preparing a Waste Management Plan, A methodological guidance note, European Commission Environment DG European Topic Centre on Waste and Material Flows
- [7] Anon, (2007), <https://www.theguardian.com/environment/2017/mar/07/un-experts-denounce-myth-pesticides-are-necessary-to-feed-the-world>
- [8] Anon, (2009), Hazardous Waste Characteristics, A User-Friendly Reference Document, United States Environmental Protection Agency
- [9] Anon, (2013), Solid waste: guidelines for successful planning, ISWA – International solid waste association, ABRELPE - Brazilian Association of Public Cleaning and Waste Management Companies, Sao Paulo
- [10] Anon, [<http://www.gf.uns.ac.rs/fakultet/mehanikatla/7.%20Konsolidacija,%20sleganje%20tla.pdf>]
- [11] Anon, (2012), Characterization of waste – Overall guidance document for characterization of waste from the extractive industries, European committee for standardization, CEN, Brussels
- [12] Anon, (2012), Principles of EU environmental law, The Polluter Pays Principle, Workshop on EU legislation, European Commission, European Environment Agency
- [13] Anon, (2016), A Guide to Solid Waste Management Planning, British Columbia, Ministry of Environment, version 1.0, <https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/waste-management/garbage/swmp.pdf>

- [14] Анон, (2010), Стратегију управљања отпадом за период 2010-2019. године, Сл. Гласник 29/2010
- [15] Анон, (2017), Уредба о условима и поступку издавања дозволе за управљање отпадом, као и критеријумима, карактеризацији, класификацији и извештавању о рударском отпаду, Сл. гласник РС бр. 53/17
- [16] Анон, Закон о управљању отпадом, ("Сл. гласник РС", 36/2009, 88/2010 и 14/2016)
- [17] Ansah-Sam M., Binczyk T., Dobek C., Geremew A., Guo C., Mimura W., Wrrtakone S., (2015), Guidelines for Tailings Deposit Sampling and Measuring Tools, Cosia geostatistical and deposit sampling working group
- [18] Aubert J.E., Husson B., Vaquier A., (2004), Use of municipal solid waste incineration fly ash in concrete, Cement and Concrete Research 34, pp. 957 – 963
- [19] Azcue MJ, (1999), Environmental Impacts of Mining Activities, Springer
- [20] Bailie R.C, Everett J.W, Lipták B. G, Liu D.H.F, Mack Rugg F, Switzenbaum, M. S., (1999), Solid Waste, CRC Press LLC, [ftp://www.solanova.energia.bme.hu/pub/hullgazd/ Environmental%20 Engineers'%20 Handbook/Ch10.pdf](ftp://www.solanova.energia.bme.hu/pub/hullgazd/Environmental%20Engineers'%20Handbook/Ch10.pdf)
- [21] Baker, A., Brooks, R. (1989): Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metal elements - a review of their distribution, ecology and phytochemistry, Biorecovery, 1: 81-126.
- [22] Batty, L., Hallberg, K. (2010): Ecology of industrial Pollution, Cambridge University Press, New York.
- [23] Беатовић С., (2012), Утицај начина припреме хидромјешавине на карактеристике депонованог пепела на примјеру термоелектране "Гацко", Гацко, магистарска теза, Рударско-геолошки факултет, Београд
- [24] Beamish B., Theiler J., (2016), Understanding waste rock spontaneous combustion, <https://www.ausimmbulletin.com/feature/understanding-waste-rock-spontaneous-combustion/>
- [25] Berkovitz N, (1979), An Introduction to coal Technology, Academic Press, San Diego,
- [26] Best Available Techniques (BAT) Reference Document on Waste Incineration, (2017) European Union
- [27] Bjelkevik A ; Knutsson S, (2005) Swedish tailings : comparison of mechanical properties between tailings and natural geological materials, Proceedings of International Conference on Mining and the Environment, Metals and Energy Recovery, pp.117-129, Stockholm
- [28] Schüssele A, Bauer-Brandl A, (2003), Note on the measurement of flowability according to the European Pharmacopoeia, International Journal of Pharmaceutics 257, 301–304
- [29] Bleeker A., (2009), Does the Polluter Pay? The Polluter-Pays Principle in the Case Law of the European Court of Justice, European Energy and Environmental Law Review, pp. 289-306

-
- [30] Blight G., 2010, Geotechnical Engineering for Mine Waste Storage Facilities, CRC Press, Boca Raton
- [31] Бранковић Б., Кнежевић Д., Милошевић М., Јоксимовић В., Моневић Б., (1991), Могућности и услови депоновања пепела ТЕ Костолац-Б, Рударски гласник бр. 1-2, Београд, стр. 53-59,
- [32] Breivik K, Armitage J.M., Wania F., Jone K.C., (2014), Tracking the Global Generation and Exports of e Waste. Do Existing Estimates Add up?, [dx.doi.org/10.1021/es5021313](https://doi.org/10.1021/es5021313), Environ. Sci. Technol. , 48, 8735–8743
- [33] BS 10175: BSI 2001, Investigation of potentially contaminated sites. Code of practice, BSI Committee
- [34] Carr R.L., (1965), Evaluating flow properties of solids, Chem Eng 72, pp. 163-168
- [35] Čablik V., Tomanec R., Fečko P., Kušnierova M., Madrova M., Kašparkova A., Vyvažil M., 2009: Production of pigments from waste materials and their application in dyeing concrete composites. - Proceedings of 13th International Conference on Environment and Mineral Processing, VŠB-Technical University of Ostrava, Ostrava, Czech Republic. pp. 255-262. ISBN 978-80-248-2018-7
- [36] CCME (2016): Guidance Manual for Environmental Site Characterization in Support of Environmental and Human Health Risk Assessment, Volume 1 Guidance Manual, p. 1 -331.
- [37] Chandak S. P., (2010), Trends in Solid Waste Management: Issues, Challenges and Opportunities, International Consultative Meeting on Expanding Waste Management Services in Developing Countries, 18-19 March, Tokyo, Japan
- [38] Chandler A.J., Eighmy T.T., Hjelm O., Kosson, D.S. Sawell, S.E. Vehlow J., van der Sloot H.A., Hartlén J., (1997), Municipal Solid Waste Incinerator Residues, Elsevier, Amsterdam,
- [39] Chandrappa R., Das D.B., (2012), Solid Waste Management, Principles and Practice, Springer Heidelberg New York Dordrecht London
- [40] Clapp J., Seeping Through the Regulatory Cracks: The International Transfer of Toxic Waste, TIPEC Working Paper 01/1, <http://www.trentu.ca/org/tipec/clapp1.pdf>
- [41] Clayton S., Grice T. G., Boger D. V. (2002), Analysis of the slump test on-site yield stress measurement of mineral suspensions, International journal of mineral processing 1613, Elsevier, pp. 1-19
- [42] Code of practice. Environmental Risk Assessment for Unregulated Waste Disposal Sites, Environmental Protection Agency, Ireland.
- [43] Collection, Handling, and Analysis of Environmental Samples in Support of Regulatory Projects. Office of water quality, Technical memorandum No. 94.08, <https://water.usgs.gov/admin/memo/QW/qw94.08.html>
- [44] Collivignarelli C., Sorlini S, (2002), Reuse of municipal solid wastes incineration fly ashes in concrete mixtures, Waste Management Volume 22, Issue 8, pp. 909–912
- [45] Commission decision of 30 April 2009 completing the technical requirements for waste characterisation laid down by Directive 2006/21/EC of the European Parliament and of the Council on the management of waste from extractive

- industries (notified under document number C(2009) 3013) (2009/360/EC), Official Journal of the European Union 110/48,
- [46] Connett P, (2010), Zero Waste: A Key Stepping Stone to Sustainability United Nations, https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/presentation_connet.pdf
- [47] Cordato, R. E. (2001). The polluter pays principle: a proper guide for environmental policy. Institute for Research on the Economics of Taxation
- [48] Costa da K., (2017), Corporate accountability in the Samarco chemical sludge disaster, Disaster Prevention and Management, Vol. 26 Issue: 5, pp.540-552, <https://doi.org/10.1108/DPM-07-2017-0171>
- [49] Чаблик В, Томанец Р., Фечко П., 2007 Возможность утилизации красного шлама после переработки бокситов. «Цветные металлы», 10/2007. http://www.rudmet.ru/ru/products/?sid=47&journal_id=831
- [50] Чарапина С. Х., (2015?), Управљање отпадом у оквиру циркуларне економије, Амбасадори одрживог развоја и животне средине, Београд
- [51] Čarapina Stevanović H, Jovović A, Sovrlić M, Antonović D, Pavićević V, Lekić S, Čudić V, Spasić Adanski Lj, Kuburović M, Ilić M, Stanojević M, Radić D, Zdanski F., (2002), Tehnički priručnik za postupanje sa materijama загаđenim polihlorbifenilima (PCB), Ministarstvo za prirodne resurse i zaštitu životne sredine RS, Beograd
- [52] Čolović MB, Krstić DZ, Vasić VM, Bondžić AM, Ušćumlić GS, Petrović SD, (2013), Organofosfatni insekticidi: toksični efekti i bioanalitički testovi za evaluaciju toksičnosti tokom procesa degradacije, Hem. Ind. 67 (2) 217–230
- [53] Чучковић Б, (2012), Принцип "загађивач плаћа" и одговорност за еколошку штету – међународни и европски стандарди, Зборник радова Перспективе имплементације европских стандарда у правни систем Србије – књига 2, Правни факултет, Београд, 270-284
- [54] Ђирић И., (2016), Хемија органских једињења (е – издање), Висока технолошка школа струковних студија, Шабац
- [55] Далмација М., (2010), Процена потенцијала ремедијације седимента контаминираног металима применом имобилизационих агенаса, докторска дисертација, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет
- [56] Далмација М., (2011), Ланац продукције података и процена усаглашености у мониторингу отпадних вода, Школа за заштиту животне средине, Нови Сад http://www.cecra.dh.pmf.uns.ac.rs/pdfww2011/Lanac%20produkcije_MilenaD.pdf
- [57] deFur P. L., Kaszuba M, (2002) Implementing the precautionary principle, The Science of the Total Environment, 288, pp. 155–165
- [58] Де Жарден Џ.Р., (2006), Еколошка етика, Службени гласник, Београд, 2006
- [59] Димитријевић МД, Антонијевић ММ, Димитријевић ВЉ, (2002), Оксидација пирита – последице и значај, Хемијска индустрија, вол. 56, бр. 7-8, стр. 299-316

-
- [60] Directive 2006/21/EC of the European Parliament and of the Council on the management of waste from the industries
- [61] Directive 2008/98/EC on waste and repealing certain Directives
- [62] Directive 2008/98/EC on waste and repealing certain Directives, European Communities, Official Journal of the European Union, L 312/3,
- [63] Directive 2008/98/EC on waste and repealing certain Directives, European Communities, Official Journal of the European Union, L 312/3,
- [64] Directive 75/442/EEC Waste framework directive
- [65] Directive 91/689/EEC on hazardous waste
- [66] Directive 99/31/EC Landfill waste directive "Official Journal of the European Communities" L 182/1 od 16.07.1999.
- [67] Directive on waste 2006/12/EC
- [68] Dold B, (2010), Basic Concepts in Environmental Geochemistry of Sulfidic Mine-Waste Management, Waste Management, Er Sunil Kumar (Ed.), InTech, <http://www.intechopen.com/books/waste-management/basic-concepts-in-environmental-geochemistry-of-sulfidic-mine-waste-management>
- [69] Domone P., (1998), The slump test for high-workability concrete, Cement and Concrete Research, Vol. 28, No. 2, Pergamon, pp. 177-182
- [70] Драгичевић, С.К., (2006), Приручник за трајно мотрење тала Хрватске, Агенција за заштиту околиша (А30), Загреб
- [71] Drljača M., Koncept kružne ekonomije, (2015), Kvalitet & izvrsnost, Vol. IV, No. 9-10, Fondacija za kulturu kvaliteta i izvrsnost, Beograd, str.18-22 i 99
- [72] Dugan, R. (1975): Bacterial ecology of strip mine areas and its relationship to production of acidic mine drainage, Ohio Journal of Science 75:266-279.
- [73] Ђорђевић Љ., Радовановић Н., Реџић Н., 2017, Управљање отпадом у Републици Србији у периоду 2011-2016. Година, Агенција за заштиту животне средине, Београд
- [74] Ђурета В., Мутић М., Митровић С., Богдановић М., (2016), Основи циркуларне економије, Deutsche Gesellschaft fur Internationale Zusammenarbeit GmbH, Београд
- [75] Earth manual, part 1, (1998), Third Edition, Earth Sciences and Research Laboratory, Geotechnical Research, Technical Service Center, Denver, Colorado
- [76] EC Council Directive of 6 December 1984 on the inspection and control within the European Community of the transfrontier shipment of hazardous waste, OJEC, L 326/31 (13 Dec. 1984).
- [77] EN 15002-2006, Characterization of waste. Preparation of test portions from the laboratory sample.
- [78] Engels J. (ed.), (2004), Tailings management Facilities – Intervention actions for risk reduction, Report of the European RTD project TAILS SAFE, www.tailSAFE.com
- [79] Engemoen B, (2014), Reclamation, Managing Water in West, Design Standards No. 13, Embankment Dams, Chapter 8: Seepage, Phase 4 (Final), U.S. Department of Interior Bureau of Reclamation

- [80] EPA, (1996), The Volunteer Monitor's Guide to Quality Assurance Project Plans, Environmental Protection Agency, United States
- [81] European Commission, (1999), EU focus on waste management, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg
- [82] European Waste Catalogue and Hazardous Waste List, Valid from 1 January 2002, Environmental Protection Agency, Ireland
- [83] Federal Environment Agency, Recommendations for the Ecotoxicological Characterization of Wastes (eds. Wuttke, J., Walther, M), Germany, 2013.
- [84] Feenstra, S., Reades, D. W., Cherry, J. A., Chambers, D. B., Case, G. G., & Ibbotson, B. G., (1985), Uranium tailings sampling manual (No. NUTP--1E). Canada Centre for Mineral and Energy Technology.
- [85] Ferguson C., (1992), The statistical basis for spatial sampling of contaminated land, *Ground Engineering*, 25, 34-34.
- [86] Fredlund DG, Xing A, Huang S. (1994), Predicting the permeability function for unsaturated soils using the soil-water characteristic curve, *Can. Geotech. Journal*, 31. 533-546
- [87] Galka F, (2013), The gypsum market - Usage of Synthetic Gypsum in Europe, *Ashtrans Europe 2013 Copenhagen*, Denmark
- [88] Гавранчић С., Скала Д., (2000), Полихлоровани бифенили – особине, примена и технологија разградње, *Хемијска индустрија* 54 (2), стр 53-63
- [89] Geldart D., Abdullah E. C., Hassanpour A., Nwoke L. C., Wouters I., (2006), Characterization of powder flowability using measurement of angle of repose, *China particuology Vol. 4, Nos. 3-4*, 104-107
- [90] Generalić, E, (2017), "Volumetrijske metode analize." *EniG. Periodni sustav elemenata. KTF-Split*, http://www.periodni.com/enig/volumetrijske_metode_analize.html
- [91] Генералић Е., Крка С., (2012), Приручник за вежбе – Анализа реалних узорака, Хемијско-технолошки факултет у Сплиту, Сплит
- [92] Gilbert R., (1987), *Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring*, Van Nostrand Reinhold Company Inc., New York
- [93] Гојковић Н., Обрадовић Р., Чебашек В., (2008), Стабилност косина одлагалишта техногених материјала, Рударско-геолошки факултет, Београд
- [94] Gotić R., Gotić I., (2001), *Temeljenje građevina na poboljšanom tlu*, *Građevinar* 53, 2, Zagreb, 75-81
- [95] Government of Victoria, Department of natural resources and environment, (2002), *Tailings storage, guidelines for Victoria, discussion paper*
- [96] Government of Victoria, Department of natural resources and environment, (2002), *Tailings storage, guidelines for Victoria, discussion paper*
- [97] Gowdy J.M., McDaniel C.N., (1999), The Physical Destruction of Nauru: An Example of Weak Sustainability, *Land Economics*, 75 (2): 333-38
- [98] Grupa autora, 2000, *The Abandoned Mine Site Characterization and Cleanup Handbook*, EPA 910-B-00-001, EPA, Seattle, WA

-
- [99] Grupa autora, (2015), Growth within: a circular economy vision for a competitive Europe, Ellen MacArthur Foundation, SUN, McKinsey Center for Business and Environment,
- [100] Група аутора, (2007), Геотехничка и хидрогеолошка испитивања на флотацијској брани 1А "Велики Кривељ", Институт за бакар, Бор
- [101] Гржетић И., - Аналитичке грешке и статистичка анализа грешака, Хемија животне средине 2, Београд, стр. 1-40.
- [102] Гржетић И., (2001), Обезбеђење квалитета и управљање квалитетом на пројектима и задацима са аналитичком праксом, Техника - Квалитет, стандардизација и метрологија 2, Но. 2, стр. 1- 14
- [103] Greenberg, M. R., (1987), Sampling strategies for finding contaminated land, Applied Geography, 7(3), 197-202.
- [104] Guidance on choosing a sampling design for environmental data collection, U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Washington
- [105] Gupta, A., & Yan, D. S. (2006). Introduction to mineral processing design and operation, Elsevier B.V., Perth, Australia.
- [106] Gy P. M., (1976), The sampling of particulate materials—A general theory. International Journal of Mineral Processing, 3(4), 289-312.
- [107] Gy P. M., (1995), Introduction to the theory of sampling, I. Heterogeneity of a population of uncorrelated units, Trends in analytical chemistry, Vol. 14, no. 2, 1995
- [108] Hadjibiros K., D. Dermatas, C.S. Lapidou, (2011), Municipal solid waste management and landfill site selection in Greece: irrationality versus efficiency, Global NEST Jour., Vol 13, No 2, pp 150-161
- [109] Handbook for Sampling and Sample Preservation of Water and Wastewater, (1982), U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio
- [110] Harris J. (2000) "Basic Principles of Sustainable Development", Working Paper No. 00-04, Global Development and Environment Institute, Tufts University
- [111] Hatje V, Pedreira RMA, Rezende CE, Schettini CAF, Souza GC, Marin DC, Hackspacher PC, (2017), The environmental impacts of one of the largest tailing dam failures worldwide, Scientific Reports, 7: 10706, DOI:10.1038/s41598-017-11143-x
- [112] Hower J. C., et al.,: Petrology, mineralogy, and chemistry of magnetically – separated sized fly ash. – Fuel, 78, Elsevier Science Ltd, 1999.
- [113] <https://www.epa.gov/hw-sw846>
- [114] <http://zwia.org/standards/zw-definition/>
- [115] http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics
- [116] http://www.epa.ie/licences/lic_eDMS/090151b2805fdd84.pdf
- [117] Hui-Sheng S, Li-Li K, (2009), Leaching behavior of heavy metals from municipal solid wastes incineration (MSWI) fly ash used in concrete, Jour. of Hazardous Materials 164 (2009) pp. 750–754
- [118] Human Rights Council Thirty-fourth session 27 February-24 March 2017 Agenda item 3 Promotion and protection of all human rights, civil, political, economic,
-

- social and cultural rights, including the right to development Report of the Special Rapporteur on the right to food
- [119] Hutter J.W., (2012), Leaching and EU Landfill Directive, http://www.intersol.fr/pdf2012/Jaap-Willem_Hutter_Alcontrol_Laboratory_Intersol_2012.pdf
- [120] Игњатовић Д., Кнежевић Д., Колоња Б., Лилић Н., Станковић Р., (2007), Управљање квалитетом угља, Рударско-геолошки факултет, Београд
- [121] Ingwani, E., Gondo, T., & Gumbo, T. (2010). The Polluter Pay Principle and the damage done: controversies for sustainable development. *Economia. Seria Management*, 13(1), 53-60.
- [122] ISO 14000:2004 - Environmental management systems
- [123] ISO 10381-5:2005, Soil quality -- Sampling -- Part 5: Guidance on the procedure for the investigation of urban and industrial sites with regard to soil contamination
- [124] Jablanović, M., Jakšić P., Kosanović K. (2003): Uvod u ekotoksikologiju, Univerzitet u Prištini, Prirodno-matematički fakultet, Kosovska Mitrovica.
- [125] Jadhav, H., Purohit, S., (2008), Global Pollution and Environmental Monitoring, Global Media, Mumbai
- [126] Johari A., Hashim H., Mat R., Alias H., Hassim M. H., Rozainee M., (2012), Generalization, formulation and heat contents of simulated msw with high moisture content, *Journal of Engineering Science and Technology* Vol. 7, No. 6, pp. 701 – 710, School of Engineering, Taylor' s University
- [127] Јовановић М., (2001), Оцена склоности пепела мешавине угљева на прљање и зашљакивање котловских грејних површина, *Термотехника* 26, бр. 1-4, стр. 11-24
- [128] Kemeter D., Održivo gospodarenje otpadom u Republici Hrvatskoj, Zbornik radova Međimurskog veleučilišta u Čakovcu, 4(2), 2013, 75-82, <http://hrcak.srce.hr/113501/>
- [129] Kimberly L., (2017), TransCanada: More than 44,000 gallons of oil recovered from Keystone spill so far, *Washington Examiner*
- [130] Knežević D, Lilić N, Nišić D, Stanić M, Kuzmanović V., (2015), "Using previously polluted sites for waste storage, Prahovo phosphogypsum storage case study", 5th Inter. Symp. Mining and environmental protection, Vrdnik, 2015, pp. 356-365
- [131] Кнежевић Д., (1992), "Коришћење параметара флотацијских јаловишта у изградњи пепелишта термоелектране у Обреновцу", *Рударски гласник* бр.3-4, Београд, стр. 51-57,
- [132] Кнежевић Д., Дражовић Д., Милосављевић М., (1994), Инкрустација цевовода при хидрауличком транспорту пепела, *Процесна техника* бр. 3-4, Београд, стр. 15-18
- [133] Кнежевић Д., (1995), Проучавање везивних особина пепела косовских лигнита ради дефинисања технологије складиштења, докторска дисертација, Рударско-геолошки факултет, Београд
- [134] Кнежевић Д., (2011), Практикум из припрема минералних сровина, Рударско-геолошки факултет, Београд

- [135] Кнежевић Д., (2012), Припрема минералних сировина, уџбеник, 2. издање, Рударско-геолошки факултет, Београд
- [136] Кнежевић Д., Вучинић Д., Чаки Л., Тепавац Б., (2013), Елаборат о испитивању флотацијске јаловине рудника олова и цинка "Шупља стијена", Шуле, Црна гора, ради добијања подлога за израду техничког пројекта депоновања флотацијске јаловине, Рударско-геолошки факултет
- [137] Кнежевић Д., Колоња Б., Станковић Р., (1996), Хидраулички транспорт минералних сировина, Рударско-геолошки факултет, Београд
- [138] Кнежевић Д., Нишић Д., Цвјетић А., ранђеловић Д., Секулић З., (2015), Мониторинг у животној средини, Рударско-геолошки факултет, Универзитет у Београду, Београд
- [139] Кнежевић Д., Торбица С., Рајковић З., Недић М., (2014), Одлагање индустријског отпада, Рударско-геолошки факултет, Београд
- [140] Кнежевић Д., Торбица С., Рајковић З., Недић М., (2014), Одлагање индустријског отпада, Рударско-геолошки факултет, Београд
- [141] Kokusho T, (2007), Liquefaction strengths of poorly-graded and well-graded granular soils investigated by lab tests, chapter 8. in K.D. Pitilakis (ed.), Earthquake Geotechnical Engineering, 159–184., Springer.
- [142] Kolencsik-Tóth A, Gonda N, Fekete Z, Tóth M, Székely I, Zákányi B, Mócziz F, Kovács B, (2014), Physical and chemical characterization of red mud in terms of its environmental effects University of Miskolc, Geosciences and Engineering, Vol. 3, No. 5, pp. 129–137.
- [143] Konstantinović B, Konstantinović B, (2014), Herbicidi u zaštiti ratarsko – povrtarskih useva, Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad
- [144] Korać, M., Kamberović, Ž. (2007): Characterization of wastewater streams from Bor site, Metallurgical & Materials Engineering 13 (1): 41-51.
- [145] Krantz M., Zhang H., Zhu J., (2009), Characterization of powder flow: Static and dynamic testing, Powder Technology 194, 239–245
- [146] Kuiper, I., Lagendijk, E., Bloemberg, G., Lugtenberg, B. (2004): Rhizoremediation: a beneficial plant-microbe interaction. Mol Plant Microbe Interacttion, Vol. 17 (1), pp. 6–15.
- [147] Квасничка П., Домитровић Д., (2007), Механика тла, Интерна скрипта, Рударско-геолошко- нафтни факултет, Загреб
- [148] Lazić P., Deušić S., Tomanec R., Miković B. 2012: Маšине и уређаји за уситњавање минералних сировина – нови трендови (значај ослобађања минерала). Zbornik radova VIII Kolokvijum o pripremi минералних сировина, Rudarsko-geološki fakultet, Univerziteta u Beogradu, Beograd, pp. 1-29. ISBN 978-86-7352-245-6.
- [149] Lemieux, P. M., Ryan, J. V., (1993), Characterization of air pollutants emitted from a simulated scrap tire fire. Air & Waste, 43(8), 1106-1115.
- [150] Lewis, MR., Arango, I, Stokoe KH., (2013), "Liquefaction Resistance of Gravelly Soils". International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering. 30.
- [151] Lindhqvist T., (2000), Extended Producer Responsibility in Cleaner Production Policy Principle to Promote Environmental Improvements of Product Systems

- Doctoral Dissertation, Lund university,
<https://lup.lub.lu.se/search/ws/files/4433708/1002025.pdf>
- [152] Liu C., Li S., Qiao Q., Wang J., Pan Z., (1998), Management of spontaneous combustion in coal mine waste tips in China, *Water, Air, and Soil Pollution* 103: 441–444, Kluwer Academic Publishers
- [153] Loftus T., -, *Lagoon Systems in Maine, Chain of Custody*,
<http://www.lagoonsonline.com/laboratory-articles/custody.html>
- [154] Lottermoser G.B., (2010), *Mine Wastes, Characterization, Treatment, Environmental Impacts*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
- [155] Ловрић М., (2008), *Основи статистике – дескриптивна статистика*, Економски факултет, Универзитет у Крагујевцу, Крагујевац
- [156] Luz C., (2007) *Waste Couture: Environmental Impact of the Clothing Industry*, *Environ Health Perspect.* 115(9): A449–A454.
- [157] Ma, W.C., Talmage, S., (2001): *Insectivora*, In: *Ecotoxicology of wild mammals, ecotoxicological & environmental toxicology series*, eds. Shore, R., Rattner, B., John Willey and Sons, pp. 123-158.
- [158] Максимовић М., (2014), *Механика тла*, АГМ књига, Београд
- [159] Margaret Walls (2006) *Extended producer responsibility and product design, economic theory and selected case studies*, Discussion Paper, Resource for the future, Washington, DC
- [160] Marinković N, Pašalić D, Ferenčak G, Gršković B, Stavljenić Rukavina A, (2010), *Dioxins and human toxicity*, *Arh Hig Rada Toksikol*, 61:445-453
- [161] Martin W. J., Stark T.D., Thalhamer T., Gerbasi-Graf G.T., Gortner E., (2013), *Detection of Aluminum Waste Reactions and Waste Fires*, *J. Hazard. Toxic Radioact. Waste*, 17:164-174
- [162] *Microbial communities in acid mine drainage*, *Microbiology Ecology. Volume 44* (2), p. 139–152.
- [163] Minkkinen P., (2004), *Practical applications of sampling theory. Chemometrics and intelligent laboratory systems*, 74(1), 85-94.
- [164] Mitchell P., (2006), *Guidelines for Quality Assurance and Quality Control in Surface Water Quality Programs in Alberta*, W0603, Environmental Monitoring and Evaluation Branch, Environmental Assurance Division, Alberta Environment, Edmonton, Alberta
- [165] Митровић С, Радосављевић И, Веселинов М, (2016?), *Циркуларна економија као шанса за развој Србије*, OEBS, Београд
- [166] Monkul M, Etmnan E, Şenol A, (2016), *Influence of coefficient of uniformity and base sand gradation on static liquefaction of loose sands with silt*, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 89, October 2016, pp. 185–197 DOI: 10.1016/j.soildyn.2016.08.001
- [167] Moqbel S.Y., (2009), *Characterizing spontaneous fires in landfills*, PhD, Department of Civil, Environmental and Construction Engineering in the College of Engineering and Computer Science at the University of Central Florida, Orlando
- Муровљев М., (1989), *Грађевински материјали*, Научна књига, Београд

- [168] Надић Д., 2008, Принцип предострожности као базични принцип еколошке политике, Годишњак Факултета политичких наука, Београд, стр. 159-170
- [169] Нацрт документа са упутствима, Уредба о мониторингу и извештавању – Упутство о узорковању и анализи, Документ са упутствима УМИ бр. 5, коначна верзија, (2012), Европска комисија, Генерални директорат за климатске акције, http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/monitoring/index_en.html
- [170] National Ambient Air Quality Standards, (2011), U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Washington, <http://www.epa.gov/air/criteria.html>
- [171] Negrojević V. J., 2016: Uticaj mlevenja i klasiranja na karakteristike elektrofilterskog pepela i metalurške šljake za proizvodnju građevinskih materijala, Magistarska teza – Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd.
- [172] Nelson A. S., (2013), Slope Stability, Triggering Events, Mass Movement Hazards, Tulane University, http://www.tulane.edu/~sanelson/Natural_Disasters/slopestability.htm
- [173] Nihart A., (2014), Lessons from a Little Island, <https://learn.uvm.edu/foodsystemsblog/2014/08/21/lessons-from-a-little-island/Non-Hazardous-Waste-Management-Hierarchy>, <http://www.epa.gov/waste/nonhaz/municipal/hierarchy.htm>
- [174] Non-Hazardous Waste Management Hierarchy, <http://www.epa.gov/waste/nonhaz/municipal/hierarchy.htm>
- [175] Новаковић Љ., 1976, Угљена материја и њена мељивост, Рударски институт, Београд,
- [176] Обрадовић Р., Најдановић Н., (1999), Механика тла у инжењерској пракси, Рударски институт, Београд
- [177] Obradović Lj, Urošević D, Tomić G, (2010), Fizička karakterizacija pepela i šljake sa deponije u Medoševcu, Rudarski radovi 1, str. 57-68
- [178] Omari A.M, (2015), Characterization of Municipal solid waste for energy recovery. A case study of Arusha, Tanzania, Jour. of Multidiscip. Engineering Science and Technology (JMEST) Vol. 2 Iss. 1,
- [179] Operating Procedure Waste Sampling, (2007), U.S. Environmental Protection Agency, Science and Ecosystem Support Division, Athens, Georgia
- [180] Organisation for economic co-operation and development, (1992), The polluter-pays principle OECD Analyses and Recommendations Environment directorate, Paris
- [181] Palomo A., P. Krivenko P., I. Garcia-Lodeiro, E. Kavalerova, O. Maltseva, A. Fernández-Jiménez, 2014: A review on alkaline activation: new analytical perspectives. – *Materiales de Construcción*, Vol 64, No 315.
- [182] Papić S, (2015), Deterdženti, Interna skripta, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb
- [183] Parsapour Gh.A, Hossininasab M., Yahyaei M., Banisi S., (2014), Effect of settling test procedure on sizing thickeners, *Separation and Purification Technology* 122, 87-95

- [184] Павловић В., (2011), Одрживи развој и универзитетско образовање, поглавље у књизи, Универзитет и одрживи развој, приредио Вукашин Павловић, Факултет политичких наука, Центар за еколошку политику и одрживи развој, Београд, стр. 13-30
- [185] Percival, M., Clesceri, N. (2003): Waste sites as biological reactors – Characterization and Modeling, CRC Press, Boca Raton, p. 364.
- [186] Пешић В., (2013), Мерна несигурност узорковања, Нови Сад
- [187] Powell J., Pradeep J., Hwidong K., Townsend T., Reinhart D., (2006), Changes in Landfill Gas Quality as a Result of Controlled Air Injection, Environ. Sci. Technol., 40, 1029-1034
- [188] Правилник о категоријама, испитивању и класификацији отпада, Сл. Гласник, 56/2010
- [189] Правилник о усклађеним износима накнаде за загађивање животне средине, Сл. гласник РС 43/2017
- [190] Проспекти фирме Putzmeister, Aichtal, Немачка
- [191] Радосављевић Ј., Ђорђевић А., (2013), Депоније и депоновање комуналног отпада, Факултет заштите на раду, Ниш
- [192] Рајковић М., (2004), "Класификација фосфогипса као отпадног производа са аспекта животне средине", Хемијска индустрија" Вол. 58, бр. 1, стр. 26-32
- [193] Ranđelović, D. (2015): Geobotanička i biogeohemijska karakterizacija rudničke otkrivke u Boru i mogućnost primene rezultata u remedijaciji, doktorska disertacija, Univerzitetu Beograd.
- [194] Ranđelović, D., Станковић, С., Михаиловић, Н., Лештан, Д. (2015): Remediation of Cu from copper mine wastes and contaminated soils using EDDS and acidophilic bacteria, Bioremediation Journal, 19(3): 231-238.
- [195] Rankine K. S., (2002), Permeability and drainage characteristics of hydraulic fills in underground mines, James Cook University, School of engineering,
- [196] RBM, (2013), Sample Collection, Storage and Preservation, RMB Environmental Laboratories, Inc. <http://rmbel.info/wp-content/uploads/2013/05/Sample-Collection-and-Preservation-List.pdf>
- [197] RCRA Waste Sampling Draft Technical Guidance, (2002), Office of Solid Waste, U.S. Environmental Protection Agency, Washington
- [198] Recommendation on the Application of the Polluter-Pays Principle to Accidental Pollution, C(89)88(Final)
- [199] Реџић Н., Ђорђевић Љ., Дукић И., Мисајловски Н., Михаиловић Л., Каталог отпада, Упутство за одређивање индексног броја, Агенција за заштиту животне средине, Београд, 2010.
- [200] Reeves, R. (1992): Hyperaccumulation of nickel by serpentine plants, In: The vegetation of ultramafic (serpentine) soils, Baker, A., Proctor, J., Reeves, R. (eds.), Intercept, Andover UK, p. 253-277.
- [201] Reference Document on Best Available Techniques for Management of Tailings and Waste-Rock in Mining Activities, 2004, European Commission, DG, JRC, Institute for Prospective Technological Studies, Sustainability in Industry, Energy and Transport, European IPPC Bureau, Seville.

-
- [202] Resource Conservation and Recovery Act, US EPA
- [203] Ribeiro J., Suárez-Ruiz I., Flores D., (2016), Geochemistry of self-burning coal mining residues from El Bierzo Coalfield (NW Spain): Environmental implications, *Inter. Journal of Coal Geology* 159, 155–168
- [204] Rio Declaration on Environment and Development, (1992), Rio de Janeiro, 13 June 1992, UN doc. A/CONF.151/5/rev.1.
- [205] Rosengrant L, Lopez L, (1991), Treatment technology background document, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste, Washington,
- [206] Rudnik E, Burzyn´ska L, Gumowska W, (2009), Hydrometallurgical recovery of copper and cobalt from reduction-roasted copper converter slag, *Minerals Engineering* 22, pp. 88–95
- [207] Rutherford P.M., Dudas M.J., Samek R.A., (1994), Environmental impacts of phosphogypsum, Review article, *The Science of the Total Environment* 149, 1-38
- [208] Sampling Design Guidelines, NSW Environment Protection Authority, Sidney
- [209] Sarma, H. (2011): Metal hyperaccumulation in plants: A Review focusing on phytoremediation technology, *Journal of Environmental Science and Technology*, 4 (2): 118–138.
- [210] Sava R., (1994), Guide to Sampling Air, Water, Soil and Vegetation for Chemical Analysis, Environmental Protection Agency (EPA), Sacramento
- [211] Sawa H. Y., Davies C E., Paterson A.H.J., Jones J.R., (2015), Correlation between Powder Flow Properties Measured by Shear Testing and Hausner Ratio, *Procedia Engineering* 102, 218 – 225
- [212] Schulze D., (2016), Segregation of bulk solids – causes and solutions, ZKG International, No. 1-2, http://www.zkg.de/en/artikel/zkg_Segregation_of_bulk_solids_causes_and_solutions_2507366.html
- [213] Singer, P., Stumm, W. (1970): Acidic mine drainage: the rate determining step. *Science* 176: 1121–1123.
- [214] Smith K., (2013), Sampling Consideration at Mining Sites – expanded version, Sampling, Monitoring and Remediation at Mine Sites Workshop, CLU-IN Webinar Series on Hardrock Mining Geochemistry and Hydrology, U.S. Geological Survey
- [215] Smith P., (2008), An Introduction to General Sampling Principles: Reducing Bias and Variation in Bulk Sampling, *Journal of GXP Compliance*, Summer 2008 Vol. 12 No. 4
- [216] Snyder, C., Aharrah, E. (1985): The Typha community: a positive influence on mine drainage and mine restoration. *Wetlands and Water Management on Mined Lands: Proc. of a Conf. 23-24 Oct. 1985. The Pen. State University: University Park, PA*, pp: 187-188.
- [217] Sokol E. V., et al.: Ferrospheres from fly ashes of Chelyabinsk coal: chemical composition, morphology and formation conditions. – *Fuel* 81, Elsevier, 2002.
- [218] Song Q., Li J., Zeng X., (2015), Minimizing the increasing solid waste through zero waste strategy, *Journal of Cleaner Production*, Volume 104, pp. 199-210
- [219] Sora MJ, (2013), Incineration overcapacity and waste shipping in Europe: the end of the proximity principle?, *Global Alliance for Incinerator Alternatives*
-

- [220] Speight G.J., (2013), *The Chemistry and Technology of Coal*, 3rd Edition, CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton
- [221] Speight J.G., (2005), *Handbook of coal analyses*, Wiley Interscience, John Wiley and sons Inc.,
- [222] Spicer A.J., Johnson M.R., (2004), Third-party demanufacturing as a solution for extended producer responsibility, *Journal of Cleaner Production* 12, 37–45
- [223] Средојевић Ј., (2006), Рециклажа отпада, Универзитет у Зеници, Машински факултет, Зеница
- [224] СРПС, (2009), ЦЕН/ТР 15310, Карактеризација отпада-Узимање узорака отпада- Део 2: Смернице за технике узимања отпада, Институт за стандардизацију Србије, Београд
- [225] СРПС, (2013), ЦЕН/ТР 16365, Карактеризација отпада-Узимање отпада из екстрактивне индустрије, нститут за стандардизацију Србије, Београд
- [226] СРПС: ЦЕН/ТР 15310, Карактеризација отпада - Узимање узорака отпада - Део 1: Смернице за избор и примену критеријума за узимање узорака под различитим условима, Институт за стандардизацију Србије, Београд
- [227] Stanković, S., Morić, I., Pavić, A., Vasiljević, B., Johnson, B., Cvetković, V. (2014): Investigation of the microbial diversity of an extremely acidic, metal-rich water body (Lake Robule, Bor, Serbia), *Journal of Serbian Chemical Society*, 79 (6): 729–741.
- [228] Stanojlović RD., Štirbanović ZM, Sokolović JM, (2012), Novi tehnološki postupak za održivu preradu rudarskog tehnogenog otpada, *Рударски радови*, 1/2012, стр. 61-74
- [229] Stevens M, (2002), *The Precautionary Principle in the International Arena, Sustainable Development Law & Policy, Volume 2, Issue 2 Article 7*
- [230] Stockholm Declaration, (1972), United Nations Conference on the Human Environment, Stockholm, 16 June 1972, UN doc. A/CONF.48/14, Rev. 1.
- [231] Superfund program, Representative sampling guidance, Volume 4: Waste, U.S. Environmental Protection Agency, Washington: https://clu-in.org/download/char/SF_Rep_Samp_Guid_waste.pdf
- [232] Szoke H, (2015), Brazil mine disaster exposes BHP's failures, *The Sydney Morning Herald*, 19.11.2015., <http://www.smh.com.au/comment/brazilian-dam-disaster-shows-bhp-falls-short-of-global-expectations-20151118-gl2i8c.html>
- [233] Шеровић Р., Радосављевић И., (2016), Ново законодавство и управљање отпадом у контексту циркуларне економије, <https://hrabricistac.rs/images/Prezentacija%20Ivana%20Radosavljevic%20i%20Radmila%20Serovic.pdf>
- [234] The International Network for Acid Prevention, (2009), *Global Acid Rock Drainage Guide (GARD Guide)*, <http://www.gardguide.com/>
- [235] Theriault J.A., Frostiak J., Welch D., (2003), Surface disposal of past tailings at the Bulyanhulu Gold Mine, Tanzania, Mining and Environment conference, Sudbury
- [236] Tomanec R. Lazic P., 2012: Mineral composition of sulphide-oxide Pb - Zn ore from Rudnik mine (Mineralni sastav oksidno-sulfidnih ruda rudnika Rudnik – Underground Mining Engineering 21 (Podzemni radovi XXI), Faculty of Mining and Geology, University of Belgrade, Belgrade, Serbia. pp. 151-159. UDK 62;

- [237] Tomanec R., 2000: Metode ispitivanja mineralnih sirovina u pripremi mineralnih sirovina. – Rudarsko-geološki fakultet, Univerziteta u Beogradu, Beograd, pp. 315.
- [238] Tomanec R., Blagojev M., (2015), Gold minerals concentration from the Grabova Reka deposit, Ist Serbia; Proceeding of the 9th Conference on Environment and Mineral Processing (1), 2015, Ostrava, pp. 7-12.
- [239] Tomanec R., Čablik V., Simovic I., Gaćina R., (2014), Ore Microscopy Characterization as a Mineral Processing Control. - Journal Of The Polish Mineral Engineering Society, Volumin XV, NO. 2(34), july-december. pp.101-106
- [240] Tomanec R., Čablik V., Simovic I., Gaćina R., (2014), Liberation of Minerals From The Bor-Cerovo Cooper-Bearing Ores, Serbia. - Proceedings of The 18th International Conference on Environment and Mineral Processing, VSB, Faculty of mining and geology. Ostrava, pp. 7-12.
- [241] Tomanec R., Fečko P., Čablik V., Lukić S., (2006), Red mud from bauxite processing in zvonik as pigment for bricks production. - PEMT 06, 5th Pan-European conference on planning for minerals and transport infrastructure. Sarajevo.
- [242] Tomanec R., Lazic P., Bajic S., Gacina R. 2012: Characteristics and the possibility of concentration of low grade oxide Pb - Zn ore from Rudnik mine. - Proceedings of XVI International Conference on WASTE RECYCLING. VŠB, Technicka Univerzita Ostrava, Ostrava. Češka. pp. 179-185. ISBN 978-80-248-2888-6.
- [243] Tomanec R., Tanić S., (2004), Fly Ashes As A Building Material. - Proceedings of XXIII International Mineral Processing Congress. Cesme, Turkey. pp. 787-794.
- [244] Tomanec R., Tanić S., Vakanjac B., (2003), Characterization of lignitic fly ash byproducts from TPP Obrenovac, Serbia. – 7th International Conference on Environmental and Mineral Processing VSB – Technical University of Ostrava, pp. 249-260.
- [245] Tomanec R., Vakanjac B., (2015), Rudne parageneze sa metodama ispitivanja i atlasom karakterističnih primera. – Univerzitet Singidunum, Fakultet za primenjenu ekologiju Futura. Beograd, pp. 357.
- [246] Томанец Р., (2000), Методе испитивања минералних сировина у припреми минералних сировина, Рударско-геолошки факултет, Београд
- [247] Тренкић, Ј., (2010), Утицај избора методе узорковања на поузданост ревизијских доказа, Економски факултет, Суботица
- [248] Treaty of Lisbon amending the Treaty on European Union and the Treaty establishing the European Community, (2007), Official Journal C 306 of 17 December 2007.
- [249] Тубић Б., (2014), Начело предострожности у међународном праву животне средине и међународној судској пракси, Зборник радова Правног факултета у Новом Саду, број 2, стр. 367-384, doi:10.5937/zrpfns48-6745
- [250] Tuncak B., (2017), Lessons from the Samarco Disaster, Business and Human Rights Journal, vol. 2, issue 01, 157-162
- [251] United Nations, 2006, Reports of international arbitral awards recueil des sentences arbitrales Trail smelter case (United States, Canada) 16 April 1938 and 11 March 1941

- [252] Упутство за узорковање отпада, Издање 6, (2014), Градски завод за јавно здравље, Београд
- [253] Уредба о врстама загађивања, критеријумима за обрачун накнаде за загађивање животне средине и обвезницима, висини и начину обрачунавања и плаћања накнаде ("Службени гласник РС" 113/2005, 6/2007, 8/2010, 102/2010 (погледај и чл. 11), 15/2012, 91/2012, 25/2015 - други пропис и 44/2016 - други пропис)
- [254] Уредба о условима и поступку издавања дозволе за управљање отпадом, као и критеријумима, карактеризацији, класификацији и извештавању о рударском отпаду, Сл. гласник РС, 53/2017
- [255] Уредбу о одлагању отпада на депонију, Сл. гласник РС 92/2010
- [256] US Army Corps of Engineers, (1986), *Seepage Analysis and Control for Dams*, Engineer Manual No. 1110-2-1901, Washington, D.C.
- [257] Valdés, J., Pedroso, I., Quatrini, R., Dodson, R., Tettelin, H., Blake, R., Eisen, J., Holmes, D. (2008): *Acidithiobacillus ferrooxidans* metabolism: from genome sequence to industrial applications, BMC Genomics, 9:597.
- [258] van de Kerkhof M., (2011), *The Trail Smelter Case Re-examined: Examining the Development of National Procedural Mechanisms to Resolve a Trail Smelter Type Dispute*, Merkourios, Volume 27/Issue 73, Article, pp. 68-83.
- [259] Vanapalli SK, Lobbezoo JP, (2002), *A Normalized function for prediction the coefficient permeability of unsaturated soils*, Third International Conference on Unsaturated Soils, Recife, Brazil, ed. J.F.T. Juca et al., Balkema Publishers, pp. 839-844.
- [260] Verstraeten G, Poesen AJ, (2001), *Variability of dry sediment bulk density between and within retention ponds and its impact on the calculation of sediment yields*, Earth Surface Processes and Landforms, Earth Surf. Process. Landforms 26, 375–394
- [261] Vrbek, B., (2005), *Lysimetric pedology as a method of quality researches of soil solution in forest soils of Croatia*. Šumarski list, 129(7-8), 397-407.
- [262] Вујић Г., Мартинов М., Станисављевић Н., Убавин Д., Штрбац Д., Батинић Б., Дворнић А., Веселинов Б., (2008), *Студија могућности коришћења комуналног отпада у енергетске сврхе на територији АП Војводина Р Србије*, Факултет техничких наука, Нови сад
- [263] Закон о заштити животне средине, Сл. гласник РС 135/04, 135/2004, 36/2009, 36/2009, 72/2009, 43/2011
- [264] Закон о управљању отпадом, Сл. гласник РС', 36/09 и 88/10
- [265] Закону о поступању са отпадним материјалима, Сл. гласник РС 25/96, 26/96, 101/2005
- [266] Закон о заштити околиша, (2013), Нар. Новине 80/13, Република Хрватска,
- [267] Закон о потврђивању конвенције о процени утицаја на животну средину у прекограничном контексту, Сл. гласник РС - Међународни уговори, 102/2007

- [268] Zaman A.U., Lehmann S., (2013), The zero waste index: a performance measurement tool for waste management systems in a 'zero waste city', *Journal of Cleaner Production* 50, pp.123-132
- [269] Зековић С., (2002), Економски и тржишни инструменти у политици одрживог развоја у Србији, *Индустрија* 1 – 4, стр. 65-80
- [270] Жижих М., Ловрић М., Павличић Д., (2007), *Методи статистичке анализе*, Економски факултет Универзитета у Београду, Београд
- [271] Wahlström M, Laine-Ylijoki J, Kaartinen T, Hjelm O, Bendz D, (2009), Acid neutralization capacity of waste – specification of requirement stated in landfill regulations, *TemaNord* 2009:580, Copenhagen
- [272] Walker CH, Sibly RM, Hopkin SP, Peakall DB, (2012), *Principles of ecotoxicology*, 4th ed., CRC Press, Taylor-Francis Group, Boca Raton, London, New York
- [273] Walker, L. (1999): *Ecosystem of disturbed ground*, Elsevier, New York
- [274] *Waste Sampling and Testing for Disposal to Landfill*, (2013), Environment Agency, Bristol, https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/321207/Sampling_and_testing_of_waste_for_landfill.pdf
- [275] Wilson D. L., (1972), Prediction of Heat of Combustion of Solid Wastes from Ultimate Analysis, *Environmental Science & Technology*, Volume 6, Number 13, 1119-1121
- [276] Witt K.J., Wudtke R.B., editors, (2005), "Implementation and Improvement of design and authorisation procedures for proposed tailing facilities", A European Research and Technological Development Project, www.tailsafe.com
- [277] Witt, K.J., Schönhardt, M. (Eds.), (2004): *Tailings Management Facilities – Risks and Reliability*. Report of the European RTD project TAILS SAFE, <http://www.tailsafe.com/>
- [278] Yang J, Wang S, Lu Z, Yang J, Lou S, (2009), Converter slag–coal cinder columns for the removal of phosphorous and other pollutants, *Journal of Hazardous Materials*, Volume 168, Issue 1, Pages 331–337

СПИСАК И ИЗВОРИ СЛИКА

Слика 2.1. *Шема процеса карактеризације отпада*

[Anon, 2012, Characterization of waste – Overall guidance document for characterization of waste from the extractive industries, European committee for standardization, CEN, Brussels]

Слика 2.2. *Разврставање отпада насталог термичким процесима, према*

[European Waste Catalogue and Hazardous Waste List, <http://www.environment-agency.gov.uk/static/documents/GEHO1105BJS-e-e.pdf>]

Слика 2.3. *Разврставање отпада насталог термичким процесима, према*

[Реџић Н., Ђорђевић Љ., Дукић И., Мисајловски Н., Михаиловић Ј., Каталог отпада, Упутство за одређивање индексног броја, Агенција за заштиту животне средине, Београд, 2010.]

Слика 3.1. *Пример индустријског отпада различитог агрегатног стања*

[прилагођено према Minkinen, Practical applications of sampling theory. Chemo-metrics and intelligent laboratory systems, 74(1), 85-94 2004]

Слика 3.2. *Однос популације и узорка*

Слика 3.3. *Дефинисање идејног модела на примеру депоније као извора загађења*

[EPA, Code of practice. Environmental Risk Assessment for Unregulated Waste Disposal Sites, Environmental Protection Agency, Ireland 2007]

Слика 3.4. *Врсте узорака*

Слика 3.5. *Класификација грешака према Pierre Gy*

[The sampling of particulate materials—A general theory. International Journal of Mineral Processing, 3(4), 289-312 1976]

Слика 3.6. *Процес анализе неког анализата*

[Пешић, Мерна несигурност узорковања 2013]

Слика 3.7. *Прецизност и тачност резултата*

Слика 3.8. *Једноставно случајно узорковање*

Слика 3.9. *Стратиграфско случајно узорковање*

Слика 3.10. *Врсте мреже узорковања*

Слика 3.11. *Дводимензионално просторно систематско узорковање*

Слика 3.12. *Периодично систематско узорковање*

Слика 3.13. *Пресечно систематско узорковање*

Слика 3.14. *Пример делимично пробабилитског и непробабилитског узорковања*

Слика 3.15. *Фактори који утичу на повећање потребне количине узорка*

[Smith, Sampling Consideration at Mining Sites – expanded version, Sampling, Monitoring and Remediation at Mine Sites Workshop, CLU-IN Webinar Series on Hard rock Mining Geochemistry and Hydrology, U.S. Geological Survey 2013]

Слика 3.16. Процес узорковања композитног узорка отпада

Слика 3.17. Одређивање минималног броја узорака воде на основу захтеване прецизности

Слика 3.18. Зоне узорковања на депонији

Слика 3.19. Пример вруће тачке услед изливања нафте из нафтовода на пољопривредно земљиште

[<http://www.washingtonexaminer.com/transcanada-more-than-44000-gallons-of-oil-recovered-from-keystone-spill-so-far/article/2641660>]

Слика 3.20. Цевисти узоркивач "COLIWASA"

[<http://mantisenvironmental.com/latest-news/industry-processes/representative-sampling/>,
http://www.benmeadows.com/coliwasa-waste-samplers_36816425/]

Слика 3.21. Стаклена пипета

[<http://bascouisa.com/drum-and-pail-accessories/gauges-rules-samplers/samplers/page-3/>]

Слика 3.22. Бајлер

Слика 3.23. "Bacon Bomb" узоркивач

[<https://www.humboldtmg.com/bacon-bomb-samplers.html>]

Слика 3.24. Усисни лизиметар

[<http://www.hannainstruments.rs/portfolio-items/hi83900/>]

Слика 3.25. Перисталтичка пумпа

Слика 3.26. Екманов хватач

Слика 3.27. Базенски узоркивач

[Путство за узорковање отпада, Издање 6, Градски завод за јавно здравље, 2014]

Слика 3.28. Лопатица (лево) и ашов за узорковање отпада (десно)

Слика 3.29. Опрема за узорковање површинских узорака ситнозрног чврстог отпада

[Кнежевић и др., Мониторинг у животној средини, Рударско-геолошки факултет, Универзитет у Београду, Београд, 2015, <http://www.sepa.gov.rs/>,
<http://www.directindustry.com/prod/buerkle/product-63760-710099.html>]

Слика 3.30. Опрема за узорковање дубинских узорака ситнозрног чврстог отпада

[<http://troxlergeologic.com/page4.html>, <http://foundationeng.blogspot.rs/2015/07/241-soil-and-rock-samplers.html>, <http://atlas-geo.com/documents/sampling-piston.pdf>,
<http://www.myvsg.com/en/services/enhanced-geotechnical-exploration/>]

Слика 4.1. Пикнометар

[<http://www.tlos.hr/lab/odmjerno-posudje/piknometar-po-gay-lussacu-s-koso-brusenom-kapilarom-nebazdaren-2/anugrahniagamandiri.itrademarket.com>
<http://tokolaboratorium.blogspot.rs/2015/03/piknometer.html>]

Слика 4.2. Хидростатичка вага

[<http://www.zlatarna.com/kamenje/gustoca-dragog-kamenja>]

Слика 4.3. Уређај за одређивање насипне густине (месе)

[<http://www.labulk.com/wp-content/uploads/2014/07/labulk-0324-sodium-perborates-bulk-density-tester1.gif>]

Слика 4.4. Уређаји за одређивање запреминске густине (масе)

[<http://www.slideshare.net/gradjmaterijali/odredjivanje-zapreminske-i-specificne-mase>
www.indonet.net%2Fnakatamascientific%2F540377%2Fag-800-bulk-density-test-set-astm-c-29-aashto-t-19.htm&psig=AFQjCNEKZ3U5-BOXZc6Kliwv_H03yL-t0Q&ust=1455362903167243
<http://www.labulk.com/powder-density-testers-bulk-and-tapped-testing-equipment%E2%80%8E/>
<http://www.erweka.com/products/physical-testers/tapped-density/item/svm-tapped-density-tester.html>]

Слика 4.5. Апаратура за дређивање хидрауличке збијености

Слика 4.6. Неки типови просевних површина

Слика 4.7. Механички уређај за просејавање

Слика 4.8. Графички приказ гранулометријског састава

Слика 4.9. Дијаграм гранулометријског састава специфичан за грађевинску струку

Слика 4.10. Гранулометријски састав песка и шљунка

Слика 4.11. Гранулометријски састав фосфогипса

[Кнежевић Д., Вучинић Д., Чаки Л., Тепавац Б., (2013), Елаборат о испитивању флотацијске јаловине рудника олова и цинка "Шупља стијена", Шуле, Црна гора, ради добијања подлога за израду техничког пројекта депоновања флотацијске јаловине, Рударско-геолошки факултет]

Слика 4.12. Сегрегација материјала по крупноћи на одлагалишту

Слика 4.13. Сегрегација флотацијске јаловине и промене карактеристика у функцији сегрегације материјала

[Witt, K.] & Schönhardt, M. (Eds., 2004): Tailings Management Facilities – Risks and Reliability. Report of the European RTD project TAILSAFE, <http://www.tailsafe.com/>]

Слика 4.14. Сегрегација материјала одложеног у сувом стању

[Schulze D., (2016), Segregation of bulk solids – causes and solutions, ZKG International, No. 1-2, http://www.zkg.de/en/artikel/zkg_Segregation_of_bulk_solids_causes_and_solutions_2507366.html]

Слика 4.15. Угао наспања

Слика 4.16. Формирање угла наспања у зависности од величине и облика зрна и влажности материјала

[Nelson A. S., (2013), Slope Stability, Triggering Events, Mass Movement Hazards, Tulane University, http://www.tulane.edu/~sanelson/Natural_Disasters/slopestability.htm
<http://geologylearn.blogspot.rs/2015/12/why-do-mass-movements-occur.html>]

Слика 4.17. Апаратуре, различите изведбе, за одређивање угла наспања

[<http://www.burnsautomation.com/products/powder-testing/powder-flowability/angle-of-repose>
https://www.alibaba.com/product-detail/Repose-Angle-Testing-Machine-Angle-of_60458431429.html?spm=a2700.7724857.main07.1.6173fb57SfoelA]

Слика 4.18. Таложјење зрна из суспензије у стакленом суду

Слика 4.19. Дијаграм таложјења зрна из суспензије

Слика 4.20. Брзина таложјења класа +0,074 mm и -0,074 mm

Слика 5.1. Модел тла

Слика 5.2. Структура невезаног тла

[Обрадовић Р., Најдановић Н., (1999), Механика тла у инжењерској пракси, Рударски институт, Београд]

Слика 5.3. Структура везаног тла

[Обрадовић Р., Најдановић Н., (1999), Механика тла у инжењерској пракси, Рударски институт, Београд]

Слика 5.4. Порозност у зависности од крупноће и начина паковања зрна

Слика 5.5. Капиларне силе и распоред порних притисака

[Максимовић М., (2014), Механика тла, АГМ књига, Београд
<http://environment.uwe.ac.uk/geocal/SoilMech/water/water.htm>]

Слика 5.6. Шема апаратуре за извођење Прокторовог опита и изглед добијеног дијаграма

[<http://struna.ihj.hr/naziv/proctorov-postupak/17747/>]

Слика 5.7. Механички модел консолидације тла испод депоније

[<http://www.gf.uns.ac.rs/fakultet/mehanikatla/7.%20Konsolidacija,%20sleganje%20tla.pdf>]

Слика 5.8. Дијаграм деформација тла у зависности од оптерећења

[Обрадовић Р., Најдановић Н., (1999), Механика тла у инжењерској пракси, Рударски институт, Београд]

Слика 5.9. Шема едометра

Слика 5.10. Дијаграми директног смицања и читавање кохезије и угла унутрашњег трења

Слика 5.11. Однос кохезије и угла унутрашњег трења

Слика 5.12. Зависност угла унутрашњег трења од средње крупноће зрна и порозности материјала

[Гојковић Н., Обрадовић Р., Чебашек В., (2008), Стабилност косина одлагалишта техногених материјала, Рударско-геолошки факултет, Београд]

Слика 5.13. Фазе "сламп-теста"

Слика 5.14. Изглед купе на крају опита

[<http://www.igh.ba/images/Ostale%20fotografije/Picture%20351.jpg>]

Слика 5.15. Зависност напона смицања од масене концентрације чврстог у пасти

[Clayton S., Grice T. G., Boger D. V. (2002), Analysis of the slump test on-site yield stress measurement of mineral suspensions, International journal of mineral processing 1613, Elsevier, pp. 1-19]

Слика 5.16. Границе конзистенције у зависности од влажности

Слика 6.1. Шема активације неутроном

Слика 6.2. Шема рендгенске флуоресцентне спектрометрије

[<http://www.horiba.com/scientific/products/x-ray-fluorescence-analysis/tutorial/xrf-spectroscopy/>]

Слика 6.3. Шема атомске апсорпционе спектрофотометрије

[<https://www.chem.bg.ac.rs/.../ТЕМА%209г-АТОМСКА%20АПСОРПЦИОНА%20СПЕ...>]

Слика 6.4. Егзотермна реакција СаО на депонији пепела ТЕ "Гацко"

[С. Беатовић]

Слика 6.5. Зависност растворљивости од рН вредности

[van der Sloot et al 2008]

Слика 6.6. Отицање киселе дренажне воде,

[Д. Кнежевић]

Слика 6.7. Фиклинов дијаграм геохемијске класификације воде у функцији pH вредности и учешћу растворљивих јона метала

[Lottermoser G.B., (2010), Mine Wastes, Characterization, Treatment, Environmental Impacts, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg]

Слика 6.8. Киселински и неутрализациони потенцијал базиран на учешћу пирита и карбоната

[Azcue MJ], (1999), Environmental Impacts of Mining Activities, Springer]

Слика 7.1. Савремене зум стерео бинокуларне лупе са илуминатором, дигиталном камером и СМО (Common Main Objektiv)

[www.amscope.com http://www.amscope.com/8x-80x-cmo-trinocular-zoom-stereo-microscope-with-adustable-head.html]

Слика 7.2. Типови оптичких микроскопа за рад у одбијеној светлости са дигиталном камером

[www.amscope.com http://www.amscope.com/8x-80x-cmo-trinocular-zoom-stereo-microscope-with-adustable-head.html]

Слика 7.3. Различити морфолошки облици зрна из отпада под бинокуларним микроскопом

[Tomanec R., Tanić S., Vakanjac B., 2003: Characterization of lignitic fly ash byproducts from TPP Obrenovac, Serbia. - 7th Inter. Conf. on Environmental and Mineral Processing VSB - Technical University of Ostrava, pp. 249-260,

Tomanec R., Vakanjac B., 2015: Rudne parageneze sa metodama ispitivanja i atlasom karakterističnih primera. - Univerzitet Singidunum, Fakultet za primenjenu ekologiju Futura. Beograd,

Tomanec R., Tanić S., 2004: Fly Ashes As A Building Material. - Proceedings of XXIII International Mineral Processing Congress. Cesme, Turkey. pp. 787-794 22]

Слика 7.4. Скенирајући електронски микроскоп

[http://www.rgf.bg.ac.rs/semlab]

Слика 7.5. Силикатне шупље микросфере ЕФП снимљене електронским микроскопом

[Tomanec R., Fečko P., Čablik V., Lukić S., 2006: Red mud from bauxite processing in zvonik as pigment for bricks production. - PEMT 06, 5th Pan-European Conference On Planning For Minerals And Transport Infrastructure. Sarajevo]

Слика 7.6. Морфолошки облици микросфера (љуски) електрофилтерског пепела.

[Palomoa A., P. Krivenkob P., I. Garcia-Lodeiroa, E. Kavaleroab, O. Maltsevaa, A. Fernández-Jiméneza , 2014: A review on alkaline activation: new analytical perspectives. - Materiales de Construccion, Vol 64, No 315,

Hower J. C., et al.,: Petrology, mineralogy, and chemistry of magnetically - separated sized fly ash. - Fuel, 78, Elsevier Science Ltd, 1999,

Sokol E. V., et al.,: Ferrospheres from fly ashes of Chelyabinsk coal: chemical composition, morphology and formation conditions. Fuel 81, Elsevier Science Ltd, 2002]

Слика 7.7. Рудно микроскопска испитивања – компактних металних феросфера магнетичне фракције ЕФП насталих код сагоревања лигнита

[Tomanec R., Vakanjac B., 2015: Rudne parageneze sa metodama ispitivanja i atlasom karakterističnih primera. - Univerzitet Singidunum, Fakultet za primenjenu ekologiju Futura. Beograd,

Tomanec R., Tanić S., 2004: Fly Ashes As A Building Material. - Proceedings of XXIII International Mineral Processing Congress. Cesme, Turkey. pp. 787-794]

Слика 7.8. Рендген дифракциона анализа праха узорка црвеног муља из Босанске Крупе, БиХ.

[Čablik V., Tomanec R., Fečko P., Kušnierova M., Madrova M., Kašparkova A., Vyvažil M., 2009: Production of pigments from waste materials and their application in dyeing concrete composites. - Proceedings of 13th Inter. Conf. on Environment and Mineral Processing, VŠB-Technical University of Ostrava, pp. 255-262,

Tomanec R, Fečko P, Čablik V, Lukić S, 2006: Red mud from bauxite processing in zbornik as pigment for bricks production. - PEMT 06, 5th Pan-European Conference on planning for minerals and transport infrastructure. Sarajevo,

Tomanec R, Tanić S, 2004: Fly Ashes As A Building Material. - Proceedings of XXIII International Mineral Processing Congress. Cesme, Turkey. pp. 787-794]

Слика 7.9. Рендген дифракциона анализа праха узорка боксита из Босанске Крупе, БиХ, коју се прерађује Бајеровим процесом.

[Čablik V, Tomanec R, Fečko P, Kušnierova M., Madrova M., Kašparkova A., Vyvažil M., 2009: Production of pigments from waste materials and their application in dyeing concrete composites. - Proceedings of 13th Inter. Conf. on Environment and Mineral Processing, VŠB-Technical University of Ostrava, pp. 255-262,

Tomanec R, Fečko P, Čablik V, Lukić S, 2006: Red mud from bauxite processing in zbornik as pigment for bricks production. - PEMT 06, 5th Pan-European Conference on planning for minerals and transport infrastructure. Sarajevo,

Чаблик В, Томанек Р, Фечко П, 2007, Возможность утилизации красного шлама после переработки бокситов. «Цветные металлы» [Tsvetnyne Metally] 10/2007]

Слика 7.10. Пресек кроз флотациско јаловиште, јаловина из процеса концентрације сулфидних минерала

Слика 7.11. Илустрација оксидације на флотациском јаловишту прерађене порфирске руде бакра

Слика 7.12. Црвенкасто мрка боја воде услед присуства оксида и хидроксида гвозђа

[<http://www.peterscreek.org/PetersCreekWatershed/pcwaAMD1.html>,

<http://www.mining.com/south-africa-has-failed-to-protect-locals-from-gold-mine-pollution-harvard-report/>,

https://microbewiki.kenyon.edu/index.php/Acid_mine_drainage]

Слика 7.13. Процедна вода са јаловишта руде бакра (зелена боја због јона бакра)

[<http://www.mininglegacies.org/mines/northern-territory/redbank/>,

<http://www.mininglegacies.org/mines/queensland-2/mount-oxide/>]

Слика 7.14. Илустрација оксидације заосталих сулфида (не ослобођених сраслих зрна) у одложеној старој јаловини

[Tomanec R, Čablik V, Simovic I, Gaćina R, 2014: Ore Microscopy Characterization as a Mineral Processing Control. - Journal Of The Polish Mineral Engineering Society, Volumin XV, NO. 2(34), pp.101-106,

Tomanec R, Čablik V, Simovic I, Gaćina R, 2014: Liberation of Minerals From The Bor-Cerovo Cooper-Bearing Ores, Serbia. - Proceedings of The 18th Inter. Conf. on Environment and Mineral Processing, VSB - Technical University of Ostrava, Faculty of mining and geology, pp. 7-12,

Tomanec R, Lazić P 2012: Mineral composition of sulphide-oxide Pb - Zn ore from Rudnik mine (Mineralni sastav oksidno-sulfidnih ruda rudnika Rudnik – Underground Mining Engineering 21 (Podzemni radovi XXI), Faculty of Mining and Geology, University of Belgrade, pp. 151-159]

Слика 7.15. Микрофотографијама је илустровано неколико сраслих зрна "јаловине", силикатних минерала са заосталим сулфидима

[Tomanec R, Čablik V, Simovic I, Gaćina R, 2014: Ore Microscopy Characterization as a Mineral Processing Control. - Journal Of The Polish Mineral Engineering Society, Volumin XV, NO. 2(34), july-december. pp.101-106,

Tomanec R, Lazić P, Bajić S, Gaćina R 2012: Characteristics and the possibility of concentration of low grade oxide Pb - Zn ore from Rudnik mine. - Proceedings of XVI Intern. Conf. on waste recycling, VŠB, Technická Univerzita Ostrava, pp. 179-185]

Слика 7.16. Типови појединих структура прорастања минерала

[Tomanec R, Vakanjac B, 2015: Rudne parageneze sa metodama ispitivanja i atlasom karakterističnih primera. – Univerzitet Singidunum, Fakultet za primenjenu ekologiju Futura. Beograd]

Слика 7.17. Структуре издвајања

[Tomanec R, Vakanjac B, 2015: Rudne parageneze sa metodama ispitivanja i atlasom karakterističnih primera. – Univerzitet Singidunum, Fakultet za primenjenu ekologiju Futura. Beograd]

Слика 7.18. Структуре замењивања

[Tomanec R, Vakanjac B, 2015: Rudne parageneze sa metodama ispitivanja i atlasom karakterističnih primera. – Univerzitet Singidunum, Fakultet za primenjenu ekologiju Futura. Beograd]

Слика 7.19. Примери текстура руда

[Tomanec R, Vakanjac B, 2015: Rudne parageneze sa metodama ispitivanja i atlasom karakterističnih primera. – Univerzitet Singidunum, Fakultet za primenjenu ekologiju Futura. Beograd]

Слика 8.1. Биолошко узорковање

[http://www.gardguide.com/index.php?title=Chapter_8]

Слика 8.2. Бактерије *Acidithiobacillus ferrooxidans* на површини минерала пирита

[<http://www.biologie.uni-regensburg.de/Mikrobio/Thomm/Arbeitsgebiete/pyrit.html>]

Слика 8.3. Процедно кисело језеро Робуле на јаловишту рудника бакра Бор

[Stanković, S.]

Слика 8.4 лево- *Paprat Pteris vitatta*, десно – хиперакумулација арсена у листу *Pteris vitatta*

[<http://pruned.blogspot.rs/2006/01/pteris-vittata.html>,
<http://susa.stonedahl.com/images/arsenicfern.jpg>]

Слика 8.5. Селективн ообрастање литолошких група на одлагалишту откривке рудника бакра у Бору

[Randelović, D.]

Слика 8.6. Јединка *Daphnia magna*

[<http://carnivoraforum.com/topic/10057534/1/>]

Слика 8.7. Примерци *Daphnia magna* у испитној посуду

[https://article.wn.com/view/2015/09/03/Uncovering_Cryptic_Asexuality_in_Daphnia_magna_by_RAD_Sequen/]

Слика 8.8. Пребројавање потомака *Daphnia magna* у петри-посудама за утврђивање хроничне токсичности

[<https://www.envirosienceinc.com/services/laboratory-analysis/special-toxicity-tests/>]

Слика 8.9. Родитељска јединка и потомци *Daphnia magna*

[<http://uwm.edu/field-station/daphnia-2/>]

Слика 8.10 Културе слатководних зелених алги за испитивање екотоксичности растворљивих материја

[<http://www.hydrotox.de/en/services/laboratory-services/ecotoxicity/algae/algal-toxicity-according-to-isp-8692.html>]

Слика 8.11. Тестирање раста сочивице на дејство супстанци из елуата отпада

[<http://www.hydrotox.de/en/services/laboratory-services/ecotoxicity/aquatic-plants/duckweed-lemna-minor.html>]

Слика 8.12. Уму-тест на различитим концентрацијама испитиваних супстанци

[<https://www.biotoxicity.com/index.php/ebpi-toxicity-tests/sos-genotoxicity-tests/umu-chromotest>]

Слика 8.13. *Salmonella typhimurium* под микроскопом

[<http://www.image-net.org/api/text/imagenet.synset.geturls?wnid=n01369358>]

Слика 8.14. Кишна глиста *Eisenia fetida*

[<https://solanacompost.wordpress.com/tag/eisenia-fetida/>]

Слика 8.15. Реципијенти за спровођење теста са контаминираним и неконтаминираним секцијом узорка подељеном граничником

[Römbke, J., Jansch, S.: Ehfahrungen mit ökotoxikologischen Testsystemen bei der Beurteilung kontaminiert Standorte, ECT Ötoxikologie GmbH, Flörsheim]

Слика 8.16. Тест утврђивања дејства загађивача на раст *Brassica rapa*

[Stanković, S.]

Слика 8.17. Примерци бактерије *Arthrobacter globiformis*

[<http://www.creative-diagnostics.com/tag-arthrobacter-globiformis-antigens-4.htm>]

Слика 8.18. Утврђивање морталитета кишних глиста у контаминираним узорку

[<http://www.fauenos.com/soil-contamination-and-its-risks-imposed/>]

Слика 8.19. Узорци отпада и земљишног супстрата за тестирање ефекта на репродукцију *Folsomia candida*

[<http://www.ecotoxcentre.ch/projects/soil-ecotoxicology/ecotoxicological-tests-for-soil-protection/>]

Слика 8.20. Примерци *Folsomia candida*

[<http://enfo.agt.bme.hu/drupal/node/11344>]

Слика 9.1. Општи састав материја које горе

Слика 9.2. Изглед извештаја о обављеној техничког анализи угља лабораторије из Србије

Слика 9.3. Ван-Кревеленов дијаграм

[<http://www.handbook.ifrf.net/handbook/cf.html?id=23>]

Слика 9.4. Понашања пепела на плочи у зависности од температуре

[https://cskaiyuan.en.alibaba.com/product/2023026724-801756508/ash_determination_by_ash_cone_deformation_temperatures.html]

Слика 9.5. Ефекат оцака код samozапалења отпада на гомили

[<https://www.ausimmbulletin.com/feature/understanding-waste-rock-spontaneous-combustion/>]

Слика 9.6. Фазе у процесу samozапалења сулфида метала

[<https://www.ausimmbulletin.com/feature/understanding-waste-rock-spontaneous-combustion/>]

Слика 9.7. Самоупала угља и новонастали пепео

[Б. Стокић]

Слика 9.7. Визуелна манифестација samozапалење биолошког отпада

[<http://www.kshb.com/weather/weather-news/fire-expert-perfect-conditions-for-spontaneous-combustion>]

Слика 10.1. Графички приказ хијерахије управљања отпадом

Слика 10.2. Прекогранични путеви отписаних електронских уређаја

[Song Q., Li J., Zeng X., (2015), Minimizing the increasing solid waste through zero waste strategy, Journal of Cleaner Production, Volume 104, pp. 199-210]

Слика 10.3. Постројење за компостирање у Сан Франциску

[Connett P, (2010), Zero Waste: A Key Stepping Stone to Sustainability United Nations, https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/presentation_connet.pdf]

Слика 10.4. Упоредни приказ модела линеарне и циркуларне економије

[Ђурета и др., 2016]

Слика 10.5. Развој техничког и биолошког циклуса циркуларне економије

[Ellen MacArthur Foundation, 2015]

Слика 10.6. Хијерархија управљања отпадом уз уважавање циркуларне економије

[Шеровић, Радосављевић, 2016]

Слика 10.7. Изглед привременог складишта са боксовима за разврставање отпада

[http://www.rtv.rs/sr_lat/ekonomija/potrebno-postrojenje-za-opasan-otpad_466703.html]

Слика 10.8. Изглед привременог складишта на којем није вршено разврставање

[Д. Кнежевић]

Слика 10.9. Привремено складиштење различитих врста отпада

[М. Момчиловић]

Слика 10.10. Складиштење опасног отпада

[http://www.setcar-braila.ro/en/hazardous-waste-temporary-storage_2_242_1.htm,
<http://www.castigliasrl.it/en/servizi/raccolta-rifiuti/>]

Слика 10.11. Привремено складиштење пепела топлане "Колубара" у Медошевицу пре упућивања на трајну депонију "Поље Д"

[М. Момчиловић]

Слика 10.12. Силоси за привремено складиштење пепела и шљаке на ТЕ "Никола Тесла Б",

[Д. Кнежевић]

ИНДЕКС ПОЈМОВА

- Анизотропија 140, 204
Биљни свет 216-219, 230
Биолошке карактеристике 18, 211
Брзина таложења 105, 112-117, 155
Влажност 94, 95, 109-111, 122, 124, 127, 128, 130, 131, 133, 142, 147, 148, 153, 240, 244, 245
Водопропустљивост 107, 109, 121, 124, 133, 135, 137, 139, 214
Волуметрија 154
Врућа тачка 43, 51, 54, 79-81,
Гравиметрија 154
Границе конзистенције
 Скупљања 122, 147
 Пластичности 122, 147, 148
Течења 122, 147, 148
Гранулометријски састав 13, 45, 63, 67, 68, 78, 100, 101, 103-108, 124, 128, 137, 140, 144, 187, 190, 240
Грешке узорковања 43, 44, 46 – 50
Грешке припреме 46, 47
Густина
 Релативна 91, 93, 132
 Запреминска 91, 93-100, 110, 124-126, 131, 133
 Насипна 91- 98, 124, 126
Едометар 136
Елементи унутрашњег отпора 142
Животињски свет 219,
Запаљивост 4, 5, 37, 67, 239, 241, 243-246
Збијеност 13, 99, 100, 121, 123, 124, 131-133, 136
Изотропија 140, 205
Индекс
 Пластичности 122, 147, 148
 Течења 122, 148
 Конзистенције 148
Инсинерација 9, 19, 33, 256, 259, 260
Инструменталне методе истраживања 155
Капиларно пењање 129
Киселе дренажне воде 158, 167, 168, 171, 173, 174
Киселински потенцијал 169-171
Коефицијент
 порозности 121, 125-127, 132, 138
 релативне збијености 132
 филтрације 133, 137-140
 закривљености 106-108
Конзистенција 122, 124, 145-48, 230
Консолидација 121, 132-136, 140, 142
Коригована брзина таложења 115, 116
Кохезија 112, 124, 141-145
Металофите 216-218,
Микроорганизми 4, 30, 168, 211, 213-215, 216, 226, 240, 255, 258
Микроскоп
 Стереобинокуларни 183, 184, 190
 Поларизациони 182, 184, 185
 Петрографски поларизациони 182, 185
 Рудни поларизациони 182, 185
Микроскопска испитивања 182, 189, 191
Минерални састав 128, 142, 182, 195-197, 200, 201, 207, 239
Модул стишљивости 136, 137, 145
Модел тла 122
Непристрасност 49, 212,
Неутрализација 6, 154, 172, 173
Неутрализациони потенцијал 169-174
Одлагање 7, 9, 16, 18, 20, 32, 34, 94, 100, 110, 121, 145, 146, 191, 219, 240, 245, 255, 257, 259, 260, 265, 272, 273, 276-278, 280, 283, 285, 286,
Оксидација 168, 173, 183, 191, 193, 198, 201, 202, 239,
Оптимална влажност 130, 131, 133
Органски загађивачи 8, 164
Отпад
 Дефиниција 2, 3, 7
 Рударски 8, 22, 76, 106, 182, 229
 Комерцијални 4, 5, 22
 Кућни 4, 8, 22, 124, 232
 Опасни 3, 5, 6, 8, 35, 76, 221, 267,
 Неопасни 5, 6, 221
 Инертни 5, 7, 174

- Каталог 3, 14, 15, 21, 23, 24, 26
Листе 24, 35
Токови 35, 281
- Пепео 7, 9, 18, 19, 24, 34, 93, 96, 100, 109,
122, 124, 159, 160-162, 182, 186, 188, 190,
229, 230-232, 235-238, 242, 243, 245, 256,
260, 286, 287
- План управљања отпадом 14, 15, 249, 251,
279-283
- Поновна употреба 18, 158, 256, 260
- Популација 2, 42, 43-46, 48, 50-54, 56, 57, 59,
60, 65, 67, 69, 70, 78, 152, 211, 212, 214,
217, 220, 262, 265
- Порни притисак 129, 133, 134, 141, 142
- Порозност 95, 96, 109, 110, 121, 123-127,
132, 142, 144, 155, 191, 231, 239-241, 244
- Превенција 18, 253, 255, 260
- Прецизност 46, 49, 50, 56, 58, 59, 71, 72, 77,
156, 263, 264
- Принципи
одрживог развоја 251, 253
хијерархије у управљању отпадом 251,
254
предострожности 251, 253, 261, 263,
265, 277
близине и регионални приступ
управљању отпадом 251, 265
избора оптималне опције за животну
средину 251, 267
загађивач плаћа 251, 253, 268-271, 276,
277
одговорности произвођача 251,
- Радиоактивност 17, 191
- Реактивност 5, 13, 67, 173
- Редокс методе 154, 155
- Рециклажа 18, 254, 256, 257, 260
- Самозапаљивост 239, 241, 243-246
- Сатурисаност 127-131
- Сегрегација 76, 109-111, 241
- Степен неравномерности 106, 108, 142
- Стишљивост 121, 124, 135-137, 145
- Структуре минерала 201, 204, 205
- Таложeње 62, 105, 109, 112-117, 123, 155,
164
- Тачност 49, 50, 58, 59, 152, 182
- Тестови излуживања 28, 67, 174, 175, 177
- Технике
- Пробабалистичке 51, 55, 56, 68, 69, 74,
75
- Непробабалистичке 51, 55, 56, 75
- Техничка анализа 230-232
- Тешки метали 9, 17, 161, 163, 214, 217, 218,
230
- Тло
Везано 123, 124
Невезано 123
Органског порекла 123
- Токсичност 5, 17, 67, 213, 220-226, 254, 256
- Топливост пепела 235, 237
- Топлотна моћ 230-233, 235-237
- Угао
насипања 111, 112, 145
унутрашњег трења 121, 141-144
- Узорак
Појединачни 44, 45, 56, 57, 66, 70, 77, 78,
Композитни 45, 56, 57, 69, 70, 81
Просторни 45
Вертикални 45
Проточни 45
Временски 45
Непоремећени 45, 76, 77, 84-86, 97, 98,
124, 133, 138
Поремећени 45, 76, 77, 84, 85, 124, 138
Минимална количина 41, 42, 44, 56, 57,
66-69
Минимални број 41, 42, 56, 57, 66, 69, 71,
74, 80
- Узоркивачи 45, 67-69, 74-76, 81, 82-86, 97
- Узорковање 14-17, 24, 41-46, 48, 50-71, 74-
82, 84-86, 91, 110, 124, 127, 151, 152, 212-
214, 283,
Једноставно случајно 51, 52, 79
Стратиграфско случајно 51, 52, 57
Систематско 51-54, 79, 183,
Експертско 51, 52, 54, 55, 183, 212
План 14, 55, 56, 78
Контрола 57
Надзор спровођења процедура 59
- Управљање отпадом 2, 14-20, 106, 239, 249-
256, 259, 261, 265, 266, 274, 275, 278-283,
288
- Фосфогипс 3, 96, 100, 108, 182
- Хемијске анализе 27, 151-153, 184, 187, 190,
191
- Хидрауличка збијеност 99, 100



ISBN 978-86-7352-303-3



9 788673 523033