

Методологија интегралне анализе сценарија енергетског развоја

Александар Маџаревић



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Методологија интегралне анализе сценарија енергетског развоја | Александар Маџаревић | | 2019 | |

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0004899>

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
РУДАРСКО-ГЕОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ

Александар Р. Маџаревић

**МЕТОДОЛОГИЈА ИНТЕГРАЛНЕ АНАЛИЗЕ
СЦЕНАРИЈА ЕНЕРГЕТСКОГ РАЗВОЈА**

Докторска дисертација

Београд, 2019

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF MINING AND GEOLOGY

Aleksandar R. Madžarević

**THE INTEGRAL ANALYSIS METHODOLOGY OF
ENERGY SCENARIO DEVELOPMENT**

Doctoral Disertation

Belgrade, 2019

Комисија за преглед и одбрану

Ментор:

др Дејан Ивезић,
редовни професор
Универзитет у Београду,
Рударско-геолошки факултет
Изборна научна област:
Елементи машинских и
енергетских система

Чланови комисије:

др Марија Живковић,
ванредни професор
Универзитет у Београду,
Рударско-геолошки факултет
Изборна научна област:
Елементи машинских и
енергетских система

др Милош Танасијевић,
редовни професор
Универзитет у Београду,
Рударско-геолошки факултет
Изборна научна област:
Елементи машинских и
енергетских система

др Душан Даниловић,
ванредни професор
Универзитет у Београду,
Рударско-геолошки факултет
Изборна научна област:
Инжењерство нафте и гаса

др Александар Миливојевић,
доцент
Универзитет у Београду,
Машински факултет
Изборна научна област:
Технологија материјала –
погонски материјали и
сагоревање

Датум одбране:

ЗАХВАЛНИЦА

Ова докторска дисертација је настала као резултат рада на испитивањима релевантности процене енергетског развоја, кроз методологију анализе и оцене енергетске безбедности у оквиру сценарија енергетског развоја, као показатеља од вишеструког значаја.

Овом приликом изражавам своју најискренију захвалности ментору проф. др Дејану Ивезићу, који је својим великим знањем и несебичним личним залагањем, препорукама и сугестијама значајно унапредио овај рад. Захвалан сам за изузетан и трајни допринос квалитету овог рада, поверењу и посвећености која ми је пружена.

Израда методологије интегралне анализе је вршена под руководством проф. др Дејана Ивезића уз дарежљиву и драгоцену помоћ проф. др Милоша Танасијевића, коме сам захвалан за корисне савете везане за развој и афирмацију самог модела.

Проф. др Марији Живковић се захваљујем на немерљивој помоћи у области развоја енергетских сценарија. Без њених савета, ангажовања и уложеног труда овој рад би умногоме изгубио на научној тежини и квалитету.

Мирославу Црногорцу дугујем захвалност за дане проведене уз мене на развоју самог модела, својим саветима чинећи рад једноставнијим и мање напорним уз велику помоћ на унапређењу саме дисертације.

Својој породици се посебно захваљујем на пруженој несебичној подршци, разумевању, стрпљењу и искреном поверењу током свих година школовања. Надам се да сам их учинио поносним.

На крају, изражавам најважнију и неизмерну захвалност Драгани Пејић Маџаревић која је свих ових година искрено веровала у мене и помагала да останем на правом путу, чинећи живот лепшим, а рад на самој дисертацији лакшим и смисленијим. Хвала на указаној љубави, пажњи и стрпљењу.

Наслов докторске дисертације:

Методологија интегралне анализе сценарија енергетског развоја

Сажетак:

Енергетика данашњице је носилац друштвено-економског развоја људског друштва. Управљање енергетским развојем на националном и глобалном нивоу уз сагледавање дугорочних промена и пројекција могућег развоја енергетског сектора је веома важно. Потражња за финалном енергијом је од индустријске револуције, као последица брзог технолошког напретка и изузетне демографске транзиције порасла за чак 30 пута. Стратешко енергетско планирање је од виталног значаја за одрживи развој како држава, региона, локалних самоуправа, тако и привредних и других организација. Стратешко енергетско планирање предвиђа разматрање различитих сценарија енергетског развоја, као и њихову критичку анализу у контексту општег друштвено-економског развоја.

Предмет дисертације представља проналажење оцене енергетске безбедности сценарија енергетског развоја. Енергетска безбедност представља синтезу геополитичког и енергетског аспекта доступности енергије у различитим облицима и довољним количинама по повољним ценама.

Основни циљ докторске дисертације је креирање методологије за анализу енергетске безбедности сценарија енергетског развоја која је заснована на теорији фази скупова и закључивања анализом енергетских, економских, еколошких и друштвених критеријума. Дисертација је допринела превазилажењу недоследности у оцени сценарија енергетског развоја, које су проистицале из парцијалног сагледавања интеракције енергетског развоја са економским, еколошким, друштвеним и технолошким аспектом развоја. Применом методологије на студију случаја оцене енергетске безбедности сектора природног гаса, на основу сценарија развоја, генерисано је више оцена енергетске безбедности које олакшавају и оптимизују избор адекватног решења.

Кључне речи: енергетска безбедност, сценарио развоја, фази логика, фази скупови, сигурност снабдевања, доступност, расположивост, природни гас

Научна област: Рударско инжењерство

Ужа научна област: Елементи машинских и енергетских система

УДК број: 005.3:330.34:355.02
519.245:620.9
622:662.767.2:681.3
(043.3)

Dissertation title:

The integral analysis methodology of energy scenarios development

Abstract:

The energy of today is the leader of the socio-economic development of human society. Managing energy development at the national and global level, accompanied with long-term changes and projections of possible developments in the energy sector is very important. The demand for final energy is from the industrial revolution increased by as much as 30 times, as a result of rapid technological progress and intensive demographic transition. Strategic energy planning is vital for the sustainable development of the state, the region, local self-governments, and economic and other organizations. Strategic energy planning covers consideration of various scenarios of energy development and their critical analysis in the context of general socio-economic development.

The subject of the dissertation is to find an assessment of the energy security of the energy development scenarios. Energy security is a synthesis of the geopolitical and energy aspects of the availability of energy in various forms and enough quantities at favourable prices.

The main goal of the doctoral dissertation is to create a methodology for analysing the energy security of the energy development scenarios. This methodology is based on the theory of the fuzzy logic and the fuzzy conclusion considering energy, economic, ecological and social criteria. The dissertation contributed to overcoming the inconsistencies in the assessment of the energy development scenarios, which resulted from the partial review of the interaction of energy development with the economic, ecological, social and institutional aspect of development. By applying the methodology to the case study of the energy safety assessment of the natural gas sector, based on the development scenarios, several energy safety assessments are generated that facilitate and optimize the choice of an adequate solution.

Key words: energy security, development scenario, fuzzy logic, fuzzy set, security of supply, affordability, availability, natural gas

Scientific field: Mining engineering

Scientific subfield: Elements of mechanical and energy systems

UDC: 005.3:330.34:355.02
519.245:620.9
622:662.767.2:681.3
(043.3)

САДРЖАЈ

1	УВОДНА РАЗМАТРАЊА.....	1
1.1	Увод.....	1
1.2	Основне претпоставке	3
1.3	Допринос дисертације.....	4
1.4	Структура докторске дисертације.....	5
2	ЕНЕРГЕТСКА БЕЗБЕДНОСТ.....	9
2.1	Општи појмови.....	9
2.2	Енергетска безбедност и ЕУ	12
2.3	Познате методе	13
2.4	Сценарији развоја	21
3	ТЕОРИЈА ФАЗИ ЛОГИКЕ И ПРИМЕНА НА МОДЕЛ ИНТЕГРАЛНЕ АНАЛИЗЕ СЦЕНАРИЈА ЕНЕРГЕТСКОГ РАЗВОЈА.....	26
3.1	Теорија фази скупа.....	26
3.1.1	Фази број	28
3.1.2	α -пресек.....	29
3.1.3	Лингвистичке промењиве.....	30
3.1.4	Фази пропозиција и фазификација.....	30
3.1.5	Фази релације	31
3.1.6	Фази композиција.....	33
4	ИНДИКАТОРСКА СТРУКТУРА И ПАРЦИЈАЛНИ ИНДИКАТОРИ	35
4.1	Дефинисање индикаторске структуре.....	36
4.1.1	Индикатор друштвено-економске примењивости	37
4.1.2	Синтезни индикатор Сигурности снабдевања	45
4.1.3	Синтезни индикатор еколошке прихватљивости	52
4.2	Интеракција синтезних и парцијалних индикатора.....	65
5	МОДЕЛ ИНТЕГРАЛНЕ АНАЛИЗЕ СЦЕНАРИЈА ЕНЕРГЕТСКОГ РАЗВОЈА	66
6	ПРИМЕНА МЕТОДОЛОГИЈЕ НА СТУДИЈИ СЛУЧАЈА – ЕВАЛУАЦИЈА СЦЕНАРИЈА РАЗВОЈА ГАСНОГ СЕКТОРА РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ.....	87
6.1	Република Србија и природни гас.....	87
6.1.1	Преглед тренутног стања	88
6.1.2	Енергетска политика у сектору природног гаса	96

6.2	Могући извори снабдевања природним гасом – гасни коридори и ТНГ терминали.....	99
6.3	Сценарији развоја инфраструктуре природног гаса до 2025 године 103	
6.4	Сценарији потрошње природног гаса.....	106
6.5	Комбиновани сценарији развоја сектора природног гаса	107
6.6	Модел интегралне анализе сценарија развоја сектора природног гаса 108	
6.6.1	Анализа парцијалних индикатора.....	108
6.6.2	Рангирање исхода применом АХП методе	145
6.6.3	Анализа резултата математичког моделирања оцене енергетске безбедности за сектор природног гаса	147
7	ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА.....	166
8	ЛИТЕРАТУРА.....	171

1 УВОДНА РАЗМАТРАЊА

1.1 Увод

Још од индустријске револуције социо-економски развој једног друштвеног система је уско повезан са енергетиком. Такав развој је готово увек значио и повећање потрошње енергије и у апсолутном и у релативном смислу. Енергетика данашњице је носилац поменутог развоја, сходно томе, управљање енергетским развојем је један од најважнијих задатака, како на националном, тако и на глобалном нивоу. Често, ово управљање захтева сагледавање дугорочних промена и пројекција могућег развоја енергетског сектора. Потражња за финалном енергијом у последњих 120 година је порасла више од 30 пута, као последица брзог технолошког напретка и демографске транзиције која се одликује готово експоненцијалним растом светске популације, посебно у другој половини XX века. Ипак, мора се приметити и да постојећи обрасци доминантне употребе фосилних горива као носиоце енергије за развој света, поред развоја људског друштва са собом доносе и ризик опстанка света каквог данас познајемо. Иако се већ пар деценија пуно ради на развоју софистицираних технологија које би требало да умање значај природних ресурса у енергетици, стиче се утисак да је, на крају друге декаде XXI века, утицај енергетике на економију и друштво најизраженији икада.

Имајући у виду основне одлике енергетике данашњице, њену улогу за сваку заједницу, као и њен утицај у другим областима са којима и није у директној вези, приметно је да је неопходно дефинисати правац енергетског развоја и то кроз стратешко планирање. Стратешким планирањем се утврђује природа и карактер посматраног енергетског сектора, енергетског ентитета или енергетског система. На основу тога се врши управљање развојем енергетског система у будућности, кроз одређивање циљева и стратегија, уз дефинисање мера за успешно остварење циљева. Према ([УНДП, 2010](#)), стратешки план представља интегрисани скуп стратешких и оперативних

циљева и активности, који су потребни како би се у будућности остварио жељени резултат. Стратешко планирање се у великој мери ослања на резултате анализе тренутног стања у оквиру посматраног проблема. Ово планирање пружа различите могућности пројектовања и постизање континуитета и конзистентности у разноврсним временским оквирима. Стратешко планирање је динамичан процес кроз који је неопходно да се прилагођавање плана новим условима у окружењу обавља непрекидно (УНДП, 2010).

Све горе наведено, доводи до тога да је проблем стратешког енергетског планирања, начелно предмет ове докторске дисертације, од виталног значаја за одрживи развој како држава, региона, локалних самоуправа, тако и привредних и других организација. Стратешко енергетско планирање предвиђа разматрање различитих сценарија енергетског развоја, њихову критичку анализу у контексту општег друштвено економског развоја и доношење одлука о развоју појединих енергетских секора који обезбеђују остварење оптималног сценарија. Дакле, стратешко енергетско планирање дефинише однос разматране заједнице, како према према традиционалним енергетским ресурсима, тј. фосилним горивима, тако и према коришћењу обновљивих извора енергије и примени мера енергетске ефикасности. Оно узима у обзир потребу што је могуће мањег утицаја на животну средину и климатске промене, могућност позитивног утицаја на економски и друштвени развој, друштвену прихваљивост, као и поштовање међународних обавеза.

Конкретније, предмет рада и основни циљ ове докторске дисертације је дефинисање методологије интегралне анализе сценарија енергетског развоја, на основу које се на оптималан начин може оценити одређени сценарио.

1.2 Основне претпоставке

Основна хипотеза предложене тезе је инхерентност енергетског и друштвено-економског развоја једне друштвене заједнице. При томе за разлику од претходног периода када је друштвено-економски развој, несумњиво значио и апсолутно и релативно повећање потрошње енергије, парадигма одрживог развоја енергетике данашњице је окретање обновљивим изворима енергије, повећање енергетске ефикасности и коришћења обновљивих извора енергије.

Индикатори енергетског развоја су, у оквиру традиционалних методологија (*Wang, J.J. et al., 2009*), уобичајено релативне или апсолутне бројчане вредности које повезују парцијалне индикаторе енергетског развоја са економским, еколошким, друштвеним и другим индикаторима везаним за тај развој (потрошња/производња енергије по становнику, по јединици бруто домаћег производа, по количини емитованих полутаната, итд.). Међутим неки од битних индикатора који описују енергетски развој, попут сигурности снабдевања, енергетске безбедности, расположивости, друштвено-економске прихватљивости и сл., нису тако једноставни за квантификацију, јер не постоји конвенционалан начин њиховог дефинисања, вредновања и мерења.

Због тога се за анализу енергетског развоја може користити теорија фази скупова и примењивати правила фази логике. Математички апарат заснован на теорији фази скупова даје могућност истраживања и доношења одлука на основу непотпуних информација, тј. процеса који се могу описати као неодређени, субјективни, неизвесни и вишезначни. Помоћу теорије фази скупова се могу приказати индикатори који нису једноставни за вредновање, дефинисање и квантификацију. Добра страна примене теорије фази скупова јесте могућност моделирања употребом нумеричких података, али и експертских искустава, као и што се може комбинивати са уобичајним техникама обраде података употребом уобичајених математичких операција.

Коришћењем фази скупова за опис индикатора ће се, са једне стране добити равномерност, која ће, са друге стране донети све погодности лингвистичког описа индикатора. Добијена оцена ће бити у континуалној форми (фази структури), што није случај са класичним методама више-критеријумске анализе са више-атрибутивном оценом. Овакав приступ даће синергетски ефекат у синтези критеријума, доприносећи бољој диференцираности коначне оцене у датом систему вредновања. Међусобан утицај индикатора и утицај елемената са нижег на виши хијерархијски ниво, биће дефинисани усвојеним композицијама. Метода на бази примене фази скупова, може се окарактерисати и као уређенија, са стриктнијом композицијом, где утицај аналитичара није изражен на сам процес евалуације.

1.3 Допринос дисертације

Основно достигнуће предложене докторске дисертације је дефинисање методологије за анализу сценарија енергетског развоја која је заснована на теорији фази скупова и фази закључивања. Ова методологија интегрално сагледава сценарије развоја са енергетског, економског, еколошког и друштвеног становишта. Дисертација доприноси превазилажењу недоследности у оцени сценарија енергетског развоја, које су проистицале из парцијалног сагледавања интеракције енергетског развоја са економским, еколошким, друштвеним и институционалним развојем заједнице, чији је енергетски систем разматран. Конкретни кораци којима се истиче допринос самог рада су следећи:

- Дефинисање скупа индикатора сценарија енергетског развоја који на равномеран начин описују карактеристике енергетског развоја и стављају их у релацију са одговарајућим парцијалним индикаторима еколошког, економског, технолошког и друштвеног развоја.
- Формирање алгоритма за оцену сценарија енергетског развоја. Коришћењем одговарајуће фази композиција интегрисане су оцене

сценарија уз потпуну интеракција енергетског и општег друштвено-економског развоја;

- Верификација предложене методологије (дефинисаног скупа критеријума и алгоритма за оцену сценарија) на примеру једног енергетског сектора. Извршене су анализе различитих сценарија развоја енергетског система на нивоу развоја сектора природног гаса Републике Србије.

Примена развијене методологије омогућава истовремено разматрање великог броја сценарија развоја, њихово поређење и оцењивање, што може олакшати одабир оптималног решења, тј. адекватног сценарија на брз и ефикасан начин. Развијени модел интегралне анализе који је, кроз дисертацију, примењен на један енергетски сектор, може бити дефинисан и за друге енергетске секторе. Да би методологија била применљива на различите енергетске системе (енергетска компанија, субјект, општина, регион, држава) за које су формиран сценарији развоја, дефинисан је униформни скуп квантитативних и квалитативних критеријума који интегрално посматрано дају репрезентативан опис одређеног сценарија и чија интегрална оцена даје могућност вредновања сценарија.

1.4 Структура докторске дисертације

У оквиру Уводних разматрања приказан је увод и проблем проучавања, основне претпоставке, циљеви и допринос дисертације, као и сама организациона структура.

Општи појмови о енергетској безбедности, преглед истраживања и познате методологије у примени, као и разумевање енергетске безбедности у земљама ЕУ су презентовани у другом поглављу. Уводним делом овог поглавља је дефинисано схватање појма енергетске безбедности кроз преглед литературе, тј. активности научне заједнице, доносиоца одлука,

компанија и институција у овом пољу. Даље је кроз поглавље дат профил енергетске безбедности и правци енергетске политике у ЕУ.

У оквиру другог поглавља су дефинисани и побројани различити приступи мерења енергетске безбедности, уз анализу методологија које се баве овом тематиком. Кроз поглавље је дат и део који се бави енергетским сценаријима, тј. поделом, врстама и начином израде пројекција развоја. Последњи део другог поглавља се бави оправданошћу креирања нове методологије оцене енергетске безбедности на бази примене фази скупова, тј. објашњења свих аспеката по којима се врши анализа – друштвено-економска примењивост (утицај на конкурентност привреде, економска ефективност, утицај на запошљавање, развој осталих привредних грана, капацитети институција, испуњења домаћих и међународних норматива и препорука), енергетска сигурност (сигурно, поуздано и квалитетно снабдевање енергијом, развој инфраструктуре, примена мера енергетске ефикасности и сл.) и еколошка прихватљивост (заштита животне средине, смањење емисије ГХГ и полутаната).

Основна теоретска разматрања о моделу интегралне анализе заснованом на фази логици су дата у оквиру трећег поглавља. Кроз први део овог поглавља су дате кратке основе о фундаменталним појмовима који описују фази логику, као и различитости у односу на класичну (бивалентну) логику. Затим су, у оквиру трећег поглавља, дати и примери најчешћих математичких формулација фази логике и фази скупова у вези са моделовањем енергетских система. На крају поглавља је појашњена и веза фази логике са интуитивном цртом људског резонувања, као и њена толерантност на непрецизне податке и флексибилност подручја примене.

Четврто поглавље је резервисано за успостављање индикаторске структуре самог модела уз анализу парцијалних индикатора који ближе дефинишу синтезне индикаторе. У оквиру овог поглавља су описани сви индикатори и њихова веза са енергетском безбедношћу. Изведена је анализа парцијалних индикатора, дата њихова дефиниција и улога, као и изглед фази скупа са функцијама припадности којима се парцијални индикатор дефинише.

Истовремено, анализом парцијалних индикатора је описан и начин квантификовања поменутог индикатора ако је то могуће, односно приказана дефинисаност лингвистичким промењивама уколико нумерички приказ није примењив. Крај поглавља описује интеракцију синтезних и парцијалних индикатора, уз дефинисање међусобног односа парцијалних индикатора и њиховог неједнаког утицаја на синтезне индикаторе.

Пето поглавље приказује опис алгоритма извођења методологије интегралне анализе сценарија енергетског развоја. Овим поглављем су детаљно описани сви поступци у различитим фазама израде модела за оцену енергетске безбедности. Синтезни поступак се обавља коришћењем одговарајуће фази композиције са ранжираним исходом и састоји се из пет корака – пропозиција, фазификација, рангирање, композиција и идентификација. Сваки корак је детаљно описан. Примена методологије интегралне анализе обезбеђује графичко и нумеричко решење изражавања квантитативне оцене енергетске безбедности, што и јесте крајњи циљ методе интегралне анализе. На тај начин се успоставља мерљивост и упоредивост појма енергетске безбедности у оквиру различитих сценарија енергетског развоја.

Примена методологије на студији случаја кроз евалуацију оцене енергетске безбедности сценарија развоја гасног сектора Републике Србије је предмет шестог поглавља ове дисертације. Кроз њега се дефинише тренутно стање сектора природног гаса, анализом домаће производње, стања гасне инфраструктуре, дистрибутивног, транспортног и складишног система у земљи, као и потражње за гасом. Даље се анализира правац развоја сектора природног гаса, политички и правни оквир, постојећа и недостајућа легислатива. Могући извори снабдевања природним гасом уз процену могућности гасног система Србије да реагује на неочекиване прекиде снабдевања представља следећу описану целину у оквиру шестог поглавља. Затим се кроз поглавље дају стратешки циљеви Србије у сектору природног гаса кроз сценарије развоја инфраструктуре природног гаса до 2025. године, као и пројекције потрошње природног гаса за исти период. Кроз студију случаја је изведена анализа критеријума и параметара уз АХП модификацију

утицаја параметара. Потом је примењена фазификација и композиција у оквиру модела интегралне анализе сценарија развоја сектора природног гаса. Коначно, за сваки разматрани сценарио који је настао као комбинација сценарија потрошње и сценарија инфраструктурног развоја приказана је оцена енергетске безбедности у графичкој и нумеричкој форми.

У седмом поглављу је дат тест осетљивости изведене методологије, где се кроз анализу и проверу доследности свих корака методологије доказује функционалност и примењивост модела за оцену енергетске безбедности сценарија енергетског развоја.

Закључна разматрања, дискусија и приказ праваца даљег истраживања уз анализу потенцијалних недостатака развијене методологије приказана су у оквиру осмог поглавља.

2 ЕНЕРГЕТСКА БЕЗБЕДНОСТ

2.1 Општи појмови

Енергетска безбедност је један од најважнијих параметара приликом утврђивања тренутне енергетско-економске ситуације и оријентације будућег развоја свих земаља и региона. Имајући у виду да потражња за енергијом расте, а да су извори снабдевања све ограниченији и неравномерно распоређени, јасно се закључује да појам енергетске безбедности итекако постаје битна ставка за праћење за сваку земљу која се суочава са великим енергетским променама. Енергетска безбедност је приоритетно питање највише за земље које се брзо развијају и којима, у енергетском смислу, интензивно расту потребе за расположивом енергијом (*Kruyt, B. et al., 2010*). Генерално, енергетска безбедност је нераскидиво повезана са националном безбедношћу неке земље и као таква, може бити разматрана и у контексту опште безбедности, али и независно (*Downs, E.S., 2014*). Према (*Dyer, H., Trombetta, M.J., 2013*) енергетска безбедност је одређена као континуирана доступност енергије у различитим облицима, по повољним ценама и у довољним количинама.

Са друге стране, енергетска безбедност је битно геополитичко питање. Уколико енергетску безбедност посматрамо у нераскидивој вези са економским анализама и могућим појавама нових економских криза, очекује се да ће управо енергетска безбедност бити једна од одредница трајања и интензитета поменутих криза (*Geels, F.V., 2013*). Питање енергетске безбедности је актуализиовано појавом земаља које се интензивно развијају (превасходно Индија и Кина), а што је допринело и променама на геополитичкој сцени (*Bradshaw, M.J., 2009*). Потражња за енергентима је одлика земаља који добијају индустријски замаха, што утиче на укупне енергетске потребе које треба задовољити. То, са друге стране ремети већ устаљене енергетске токове, па се јавља потреба за обезбеђивање већих количина енергента на светском тржишту. Све ово доводи до значајних промена у макроекономској политици и финансијској стабилности, посебно у

земљама и регијама које су велики потрошачи енергије (*Ismailescu, I., Kazemi, H., 2010*).

(*Wizner, 2012*) је анализирао 36 различитих дефиниција енергетске безбедности на основу којих је дао сопствену дефиницију енергетске безбедности као континуитет испоруке енергије у односу на потражњу.

Према ИЕА постоје два различита правца посматрања индикатора енергетске безбедности – краткорочни и дугорочни приступ. Краткорочни приступом енергетска безбедност се посматра као спремност система да испуни енергетске потребе одређене земље, потпуно се фокусирајући на сигурност снабдевања (*Sovacool, B.K. et al., 2011; M. Kanellakis et al., 2013*). Дугорочни приступ појму енергетске безбедности дефинише енергетску безбедност као прекинуту доступност извора енергије по приступачној цени (*eng. "an interrupted availability of energy sources at an affordable price"*) (*Radovanovic, M. et al., 2017*). Истовремено, кроз оба приступа се огледа и потреба за разматрање енергетске безбедности и кроз друштвени и еколошки аспект (*Augustis, J. et al., 2012, Simpson, A., 2007*). У последњих 50 година проблем енергетске безбедности се променио са аспекта који је директно посматрао само сигурност снабдевања (глобално угрожене током нафтне кризе 70-их година прошлог века), до данас врло комплекснијих појмова климатских промена, митигације, адаптације, сигурности снабдевања, као и недостатка енергетских ресурса, који суделују у креирању безбедности у енергетском смислу (*Weber, K., Martinsen, D. 2013*).

Према (*Radovanovic, M. et al., 2017*) на енергетску безбедност утиче много фактора, па није могуће дефинисати јединствену методологију за њено одређивање. Наиме, свака земља доноси у разматрање неке специфичности и сопствени приступ енергетском развоју, тако да је дефинисање методолошког приступа за одређивање енергетске безбедности неке земље могуће једино уколико се у обзир узму геополитички моменат, климатски услови, издашност и доступност енергетских ресурса, као и коришћење истих по врсти и интензитету, економски раст, демографски показатељи, политички приоритети и енергетски сценарији (*Golušin, M. et al., 2014*;

Umbach, F., 2010; Vivoda, V., 2010). Такође, имајући у виду различите историјске, политичке и друштвене специфичности, свака земља развија сопствене планове за будућност и дефинише различите приоритете. Промена стратешких приоритета доноси потребу за променом методологије анализе енергетске безбедности, тј. методологија мерења енергетске безбедности је примењива искључиво у датом тренутку (*McCarthy, R.W. et al., 2007*). Пракса је показала и да тржишни аспект је још један неизбежни фактор који се мора разматрати. Његов утицај на енергетску безбедност се огледа кроз повећање потрошње енергије. Наиме, готово по правилу раст цена енергента не доноси радикално смањену потрошњу, а смањењем цене значајно се повећава потрошња енергије (*Checchi, A. et al., 2009*).

Може се приметити да студије у области дефинисања методологије за мерење енергетске безбедности мењају свој фокус од строго научне до практичне примене (*Jansen, J.C., Seebregts, A.J., 2010*).

И поред немогућности проналажења заједничке методологије, теоретски оквир у коме се одвија процес анализе и оцене енергетске безбедности је униформан. У пракси је побољшање енергетске безбедности праћено спровођењем мера енергетске ефикасности, подизањем нивоа стабилности и ликвидности енергетских субјеката и система у целости, повећањем нивоа самодовољности, а смањењем нивоа угрожености (јачање тржишта, реновирање и унапређење система, повећање складишних капацитета, интензивирање истраживања итд.) (*Gnansounou, E., 2008; Molyneaux, L. et al., 2012*). Према (*Cherp, A., Jewell, J., 2011*). Уз енергетску безбедност у смислу сигурног снабдевања енергентима, битни су и економски и еколошки трошкови, као и процењење уштеде кроз подизање енергетске безбедности. Такође треба узети у обзир да је енергетска безбедност динамична категорија која прати глобалне промене. Неопходно је континуирано посматрати енергетску безбедност у функцији глобалних техно-економских и еколошких промена. Само праћењем енергетске безбедности током дужег временског периода могу се утврдити одређене промене и извести одређени закључци.

Само дефинисање појма енергетске безбедности повезано је са низом изазова, тако да су промене и исправке у области дефинисања методологије за мерење енергетске безбедности константне и у потпуности очекиване и у будућности (*Vivoda, V., 2010*).

2.2 Енергетска безбедност и ЕУ

Посматрајући Европску унију као природно географско и историјско одредиште наше земље, може се приметити карактеристичан енергетски профил. Тај профил је описан великом потрошњом енергије и бројним проблемима у вези са унутрашњом организацијом и приоритетима 28 држава чланица (ЕУ-28). Конкретније речено, иако постоји заједничка енергетска политика, општи је утисак да је имплементација и даље на нижем нивоу (*Radovanovic, M. et al., 2018*). Енергетска безбедност ЕУ угрожена је унутрашњим изазовом: микс националног мини тржишта и недостатак политичке кохезије и солидарности (*Radovanovic, M. et al., 2018*). Поред тога, енергетске стратегије ЕУ се у великој мери ослањају на промене у области електричне енергије, с обзиром да ЕУ може произвести довољно електричне енергије за сопствене потребе, али и да тежи производњи уз коришћење чистије енергије и декарбонизацију у сектору производње електричне енергије (*Radovanovic, M. et al., 2018*). ЕУ увози више од половине укупне енергије коју користи (*Hedberg, A., 2015*). Зависност од увоза је нарочито велика за сирово нафту (више од 90%) и природни гас (66%). Укупан увозни финансијски издатак износи више од милијарду евра дневно (*European Commission, 2014*). Постоји потпуни консензус о томе да висока увозна енергетска зависност директно угрожава енергетску безбедност, као и уопште безбедност сваке земље чланице као и целе ЕУ (*Patlitzianas, K.D. et al., 2008*). Економски развој сваке земље може се успорити у случају било каквог поремећаја на глобалном тржишту енергије (*Loschel, A. et al., 2010*). За сада се енергетска зависност може сматрати најважнијим индикатором енергетске безбедности земаља чланица ЕУ (*Greene, D.L., 2010*).

Као приоритети своје енергетске политике ЕУ предвиђа смањење енергетског интензитета и емисије гасова са ефектом стаклене баште. Подаци показују постепено, али континуирано смањење интензитета енергије у свим земљама, што доводи до смањења увоза енергије и има позитиван утицај на енергетску безбедност на дуги рок (*Radovanović, M. et al., 2017*). Емисије гасова са ефектом стаклене баште су такође смањене у свим земљама ЕУ, иако је смањење неједнаких у различитим државама чланицама. Иако постоји консензус о потреби смањења загађења, однос између економског раста, енергетике и политике заштите животне средине у ЕУ и даље је главно питање будућег развоја ЕУ-28 (*Filipović, S. et al., 2015*).

2.3 Познате методе

Услед постојања проблема у самом приступу и разумевању енергетске безбедности, дефиниција начина управљања енергетском безбедношћу је и даље предмет изучавања, како научне заједнице тако и доносиоца одлука, регулаторних тела, корпорација и компанија. Комплексност лежи у самим енергетским изворима чија доступност зависи од сложеног система глобалних тржишта, великих прекограничних инфраструктурних мрежа, мале групе добављача примарне енергије и међусобне зависности са финансијским тржиштима и примењеним технологијама (*Chang, M.C., 2014*). Заправо, на енергетску безбедност утичу многи фактори чији је утицај често немогуће прецизно мерити. Штавише, постоје одређени односи између фактора који утичу на енергетску безбедност, а такви односи су понекад двосмислени, променљиви у њиховом правцу и интензитету и различито се манифестују у различитим земљама, регијама и периодима (*Radovanović, M. et al., 2018*). Због свега наведеног, дефинисање нивоа енергетске безбедности и даље представља посебан изазов. Према (*Costa-Campi, M.T. et al., 2017*) неопходно је фокусирати се на "три различите перспективе енергетске безбедности: перспективу "суверенитета" са својим коренима у политичким наукама; перспективу "робустности" са својим коренима у природним

наукама и инжењерству; и перспективу "еластичности" са коренима у економији и сложеним системским анализама.

Годинама уназад су за сврху изражавању енергетске безбедности развијени различити приступи мерењу енергетске безбедности. Методе коришћене за мерење енергетске безбедности се могу поделити на две главне групе: мерење засновано на сигурности снабдевања и мерења засновано на агрегацији различитих критеријума (*Radovanović, M. et al., 2017*). Сваки од ових приступа има своје предности и недостатке, што га чини мање или више погодним за коришћење. Међутим, с обзиром на актуелне трендове, неопходно је усвојити став да се методе мерења морају стално разматрати и модификовати у складу са специфичностима у променама геополитичких односа. Овај процес промена је далеко динамичнији него у прошлости (*Muller-Kraenner, S., 2015*). Стога је детаљно праћење свих фактора који утичу на промене у овој области од примарне важности, као и укључивање доносиоца одлука, компанија и корпорација, војних, еколошких, обавештајних и правних агенција у много већој мери него раније (*Esakova, N., 2013*).

Методологије које се најчешће користе могу у својој основи бити базиране на стандардним методама које се могу сматрати одговарајућим за овакву врсту истраживања, или на новим методологијама развијеним специфично за ту сврху. Методологије се углавном своде на формирање индекса који ће изражавати степен ризика или ниво безбедности неког енергетског система. Анализом актуелне литературе произилази да су следеће методологије у активној и најчешћој употреби: Herfindahl - Hirschmann индекс, S/D индекс, Индекс угрожености снабдевања нафтом, Индекс ризика, Ризик увозног енергетског снабдевања, Техно-економско-друштвени ризик, Индекс ризика енергетске сигурности САД, MOSES - модел ИЕА краткорочног сагледавања енергетске безбедности, Индекс енергетске безбедности развијен од стране ЕУ Центра за заједничка истраживања у Италији и Индекс перформанси глобалне енергетске архитектуре, који је предложио Светски економски форум (*Mansson, A, et al., 2014*).

Herfindahl - Hirschmann Indeks одређује степен зависности одређене земље од одређеног добављача (*Cherp, A. et al., 2012*) и може се користити као индикатор који индиректно указује на енергетску безбедност једне земље. Индекс је предвиђен за детаљнију анализа отворености тржишта. Овај индекс представља збир квадрата тржишних удела земаља увоза (процентуалног учешћа - p_i):

$$HHI = \sum_{i=1}^n p_i^2 \quad (2.1)$$

Што је вредност индекса мања, то је већа конкуренција на тржишту, тј. минимална вредност индекса ($HHI=1/n$) се добија када су процентуална учешћа свих компанија једнака међусобно ($1/n$).

Индекс снабдевања/потражње (С/Д Индекс) је сложени индикатор који обухвата 30 индивидуалних индикатора и узима у обзир карактеристике потражње, снабдевања и транспорта (*Scheepers, M. et al., 2007*). Индекс се преваходно употребљава за преглед и процену енергетске безбедности снабдевања у средњорочном и дугорочном периоду, па стога обухвата три целине енергетског система: финална потрошња енергије, примарни енергетски извори и трансформација и транспорт енергије.

У оквиру финалне потрошње енергије, посматра се фактор енергетског интензитета, као параметар који указује на неопходне потребе за енергијом. Енергетски интензитет је најчешће изражен кроз количину енергије по јединици БДП-а. То је показатељ повећања енергетске ефикасности и сматра се индикатором ефекта континуираних програма за ефикасно коришћење енергије.

За област примарних енергетских извора се посматра неколико битних параметара:

- Сопствена примарна производња енергије у односу на увоз из других држава чланица ЕУ;
- Увоз из ЕУ у односу на увоз изван ЕУ;
- Увоз изван ЕУ на основу дугорочних уговора у односу на увоз изван ЕУ на основу краткорочних уговора.

Део трансформације и транспорта енергије је тумачен употребом неколико различитих фактора:

- поузданост и ефикасност у производњи електричне енергије,
- адекватност унутрашње електроенергетске мреже,
- поузданост електроенергетске мреже,
- ефикасност производње и транспорта топлотне енергије,
- ефикасност експлоатације и транспорта природног гаса,
- поузданост рада рафинерије,
- ефикасност транспорта горива,
- ефикасност и адекватност складиштења гаса.

Индекс угрожености снабдевања нафтом (OVI) је композитни индекс који узима у обзир одређене економске индикаторе, зависност увоза и политичку стабилност (*Gupta, E., 2008*). Кроз овај индекс је квантификована и процењена релативна угроженост снабдевања нафтом путем анализе четири тржишна индикатори (однос вредности увоза нафте и БДП; потрошња нафте по јединици БДП, БДП по глави становника и удио нафте у укупној потрошњи енергије) и три индикатора сигурности снабдевања (однос потрошње нафте и домаћих геолошких резерви, увозна зависност, и ликвидност тржишта). Индекс угрожености снабдевања нафтом се израчунава као пондерисани просек вредности појединачних показатеље употребом мултиваријабилне методе анализе главних компоненти.

$$OVI_k = \beta_1 X_{1k} + \beta_2 X_{2k} + \beta_3 X_{3k} + \beta_4 X_{4k} + \beta_5 X_{5k} + \beta_6 X_{6k} + \beta_7 X_{7k} \quad (2.2)$$

Где је OVI_k индекс угрожености снабдевања нафтом за земљу k , а вредности X_{1k}, \dots, X_{7k} су предложени индикатори за исту земљу (*Gupta E., 2008*).

Енергетски интензитет, увозна зависност, емисија угљеника из енергетских процеса у односу на укупну емисију и несигурност снабдевања електричном енергијом су различити показатеље који су разматрани кроз Индекс ризика. Опсег вредности овог индекса је од 1 до 100 (*Von Hippel, D. et al., 2013*). Као димензије кроз које се ризик сигурности снабдевања посматра издвајају се:

- снабдевање енергијом (диверсификација по врстама горива и снабдевачима, удео примарне енергије који се увози итд.);
- економска (укупни пратећи трошкови у енергетском сектору, укупна цена горива, цена увоза горива, економски утицај пораста цене горива);
- технолошка (индекси диверсификације за индустрију по типу технологије, издаци за истраживања и развој, технолошка прилагодљивост, удео ослањања на доказане технологије);
- еколошка (емисија ГХГ и полутаната, продукција отпада - нуклеарног, чврстог и комуналног, изложеност ризику);
- социјално-културолошка (изложеност ризику социјалног и културног конфликта у оквиру енергетских система);
- безбедносна (изложеност безбедносном ризику, релативни ниво улагања у аранжмане везане за енергетску сигурност).

Ризик увозног енергетског снабдевања је индекс у потпуности оријентисан на снабдевање, јер разматра искључиво ниво диверсификације, са посебним нагласком на процени сигурности транспорта енергената (*Blyth, W., Lefevre, N., 2004*). Специфична студија о овом показатељу која укључује сирову нафту, природни гас и угаљ за земље Европске уније (*Le Coq, C., Paltseva, E., 2011*). Ризик увозног снабдевања зависи пуно од врсте енергента који се анализира, геополитичког положаја земље и улоге тог енергента у посматраном енергетском систему. Аутори су у обзир узели и ценовну компоненту сигурности снабдевања (*IEA, 2007*). Ризик увозног енергетског снабдевања се изражава као:

$$ESI = \sum_f [ESMC_f \cdot \frac{c_f}{TPES}] \quad (2.3)$$

где су $ESMC_f$ концентрација енергетске безбедности на међународном тржишту енергента f , а $\frac{c_f}{TPES}$ удео горива у укупном снабдевању примарном енергијом (*IEA, 2007*). За свако фосилно гориво f , концентрација енергетске безбедности на међународном тржишту енергента ($ESMC$) дефинисана као:

$$ESMC = \sum_i S_{if}^2 \quad (2.4)$$

где је S_{if} удео сваког добављача i на тржишту енергента f који је дефинисан као нето извозни потенцијал (има вредности од 0 до 100%). Вредности концентрација енергетске безбедности на међународном тржишту енергента (ESMC) варирају између 0, што означава савршено конкурентно тржиште и 10.000 за изразито монополистичко тржиште. Више вредности ESCM, стога, имплицирају мању енергетску безбедност на међународном тржишту енергента.

Техно-економско-друштвени ризик је сложени индекс који разматра следеће индикаторе: диверсификацију извора енергије, доступност енергетских извора, енергетски интензитет, транспорт енергије, увозну зависност, политичку стабилност, тржишну ликвидност и БДП (*Summary Report, 2011*). Индекс је развијен у оквиру пројекта „Ризик доступности енергије: заједнички коридори за сигурност снабдевања Европе“, којим су се превасходно истраживали различити коридори кроз које се енергија може испоручити земљама ЕУ. Пројектом су разматрана и техничка, економска и еколошка питања у вези са тренутним и будућим енергетским коридорима. Ове карактеристике су унете у базу података која је повезана са географским информационим системом. Просторна дистрибуција ових енергетских коридора је описана и повезана са главним индикаторима коришћења земљишта за процену њиховог утицаја. Ови енергетски коридори и њихови атрибути су улазни подаци за мулти-регионалне алате за моделирање, описујући енергетски систем и трговину енергијом у европским и другим земљама. Овај алат детаљно представља могуће будуће развоје система енергетских коридора који доводи енергију од добављача до потрошача. У поређењу са најчешће коришћеним комерцијалним индексима, овај индекс, поред технолошких, економских и еколошких, садржи и вреднује просторне карактеристике праваца транспорта енергије.

Сложени индекс развијен од стране Америчке привредне коморе узима у обзир 83 појединачна индикатора који процењују геополитичке показатеље, економски развој, еколошке проблеме и поузданост енергетских система (*US*

Chamber of commerce, 2011). Назив ове методологије је Индекс ризика енергетске сигурности САД-а. Сам индекс се састоји од 37 метричких параметара које су распоређене у 9 метричких категорија (Глобални енергенти, Увоз горива, Енергетска експанзија, Нестабилност тржишта и цена, Интензитет употребе енергије, Сектор производње електричне енергије, Сектор транспорта, Животна средина и Развој и истраживање) (*Global Energy Institute, 2017*). Ове категорије су смештене у четири субиндекса:

- Геополитички чији је улазни удео у креирању самог индекса пондерисан на 30%,
- Економски чији је утицај на сам индекс 30%,
- Еколошки који је пондерисан са 20% и
- Субиндекс Поузданости чији је утицај на индекс 20% (*Global Energy Institute, 2017*).

Надоградњом претходног индекса је настао Међународни индекс ризика енергетске сигурности који посматра глобалне изворе горива, увоз горива, трошкови енергије, цене енергије и нестабилност тржишта, енергетски интензитет, транспорт енергије и еколошке параметре као најважније параметре (*US Chamber of commerce, 2015*).

Међународна агенција за енергетику је развила Модел краткорочне енергетске сигурности (MOSES) заснован на примени 35 различитих индикатора који су оријентисани на понуду, робусност (адекватност и поузданост енергетских ресурса и инфраструктуре), независност (самодовољност и осетљивост на екстерне промене) и отпорност (способност управљања и реаговања на различите поремећаје) енергетских субјеката (*Jewell, J., 2011*).

Одређивање енергетске безбедности применом Композитних индикатора сигурности снабдевања спровео је Заједнички истраживачки центар ЕУ у Испри, Италија (*Badea, A.C. et al., 2011*). Композитни индикатори су драгоцени инструменти за праћење перформанси и временских трендова посматраних

система и објекта (нпр. земаља, региона, економских сектора, универзитета, итд.) у неколико различитих области (нпр. технолошке иновације, одрживост окружења, конкурентност, управљање итд.). Избор правила агрегације за индикаторе компоненти и избор пондера су, између осталог, важне тачке у развоју композитних индикатора. Развијен је композитни индикатор за мерење сигурности снабдевања енергијом за европске земље. Композитни индикатор је обухватио различите димензије енергетске сигурности, као што су потражња, понуда и аспекти животне средине.

У обзир је узето шест основних индикатора (енергетски интензитет, емисија ГХГ, зависност од увоза нафте, гаса и угља, производња примарне енергије), као и два индикатора утврђена применом Шанон-Виенер¹ индекса (капацитет производње електричне енергије и потражња енергије у транспорту). Принцип рада при одређивању енергетске безбедности је примена пондерисаног просека када су утицајни коефицијенти ближе максималним вредностима за опимистичке сценарије или ближе минималним вредностима у рангу за песимистичке сценарије ([Badea, A.C. et al., 2011](#)).

Светски савет за енергију је од 2009. године развио неколико верзија методологије за мерење енергетске безбедности под називом Индекс процене, који је сложени индекс који се састоји од 46 индикатора који су нормализовани на опсег од 0-10, а затим су пондерисани са циљем генерисања укупног Индекса процене ([World Economic Forum, 2015](#)). Овај индекс није стриктно индекс енергетске безбедности, већ покушај мерења ефикасности и способности националне енергетске политике да се избори са ванредним ситуацијама. Национална енергетска политика анализирана је са четири аспекта: економског, друштвеног, институционалног и аспекта животне средине.

¹ *eng.* the Shannon–Wiener index - Индекс разноликости је квантитативна мера која одражава колико различитих типова постоји у скупу података (заједница), а истовремено узима у обзир колико се равномерно дистрибуирају основни ентитети међу тим типовима ([Rosenzweig, M. L., 1995](#)).

Индекс енергетске архитектуре (ЕАПИ) са фокусом на енергетску и климатску политику је развио Светски савет за енергију 2010. године. Током 2011. године овај индекс је модификован у Индекс енергетске одрживости, док методологија и приступ остају непромењени (*World Economic Forum, 2015*). Током година до 2015. године овај индекс је незнатно модификован у броју индикатора, док је општи оквир остао истоветан. Последњи ЕАПИ је композитни индекс заснован на скупу индикатора подељених у три основне категорије (енергетска сигурност, доступност и праведност расподеле енергије и одрживост животне средине), тзв. Индекс енергетске трилеме (*World Economic Forum, 2015*).

2.4 Сценарији развоја

Разматрање енергетског развоја и анализа енергетске безбедности се врши постављањем различитих сценарија енергетског развоја и њиховом анализом. Сценарији представљају приказе могућих будућности за једну или више компоненти система. Различите врсте сценарија могу играти важну улогу у постављању маргина деловања у оквиру одређених програма, креирању политике развоја, имплементацију мера, као и усмеравања развоја у жељеном правцу. Развој и анализа сценарија се користе са циљем изградње снажнијих пројекција у контексту неизвесних будућних услова и анализирања ефекта пројекција у будућности (*Börjeson, L. et al., 2006*). Сложеност анализе дугорочних развоја и одређивање путања кроз које се пролази се разматра развојем различитих сценарија.

Сценарији се разликују на основу улоге временског оквира. Често се деле на ланчане и сценарије "скица". Ланчани сценарији описују низ догађаја који воде ка одређеном стању у будућности. Сценарији "скица" описују крајње стање, без много фокусирања на развој између садашњег момента и жељеног будућег стања (*Van Notten et al., 2003*).

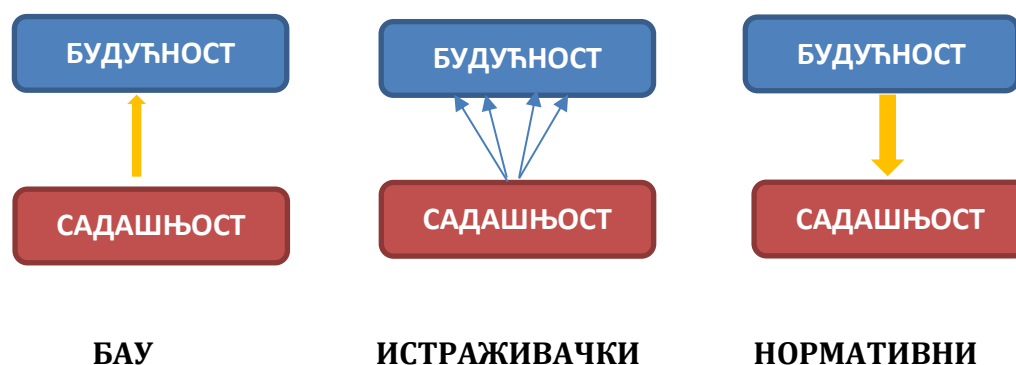
Сличном типологијом се прави разлика између:

- сценарија заснованих на партиципацији заинтересованих страна и

- сценарија чије су основе пројекције развоја везане за математичке алате и моделе који се користе у процесу израде сценарија (*Van Notten et al., 2003*). Приступу засновани на моделима су јако драгоцене и могу обезбедити податке неопходне за процесе доношења одлука.

Сценарији развоја који се користе у случају планирања се могу поделити у три класе (Слика 2.1):

- ВАУ сценарији или сценарији уобичајног понашања,
- Истраживачки (стратегијски) сценарији или предиктивни сценарији и
- „Backcasting” или нормативни сценарији.



Слика 2.1 Три класе сценарија

БАУ² сценарији се пројектују уз претпоставку да ће се друштво и технологије развијати по устаљеној путањи, тј. да њихов развој може бити приказан кроз екстраполацију тренда (*Carlsson-Kanyama, A. et al., 2008*). Ови сценарији се развијају уз одговор на питање „Шта ће се догодити у будућности?“, при чему не узимају у обзир ни неизвесности ни комплексности који су саставни део и друштвених промена и будућности уопште. Имајући у виду одлике данашњег друштва, висок степен технолошког развоја, потрошачки и материјалистички манир, те значајан утицај на животно окружење мало је вероватно да ће се пројекција развоја поклопити са реалним развојем (*Vergragt, P., Quist, J., 2006; Quist, J., 2007*). БАУ сценарији своју релевантну примену проналазе у краткорочним планирањима везаним за стабилне и добро анализирани системи.

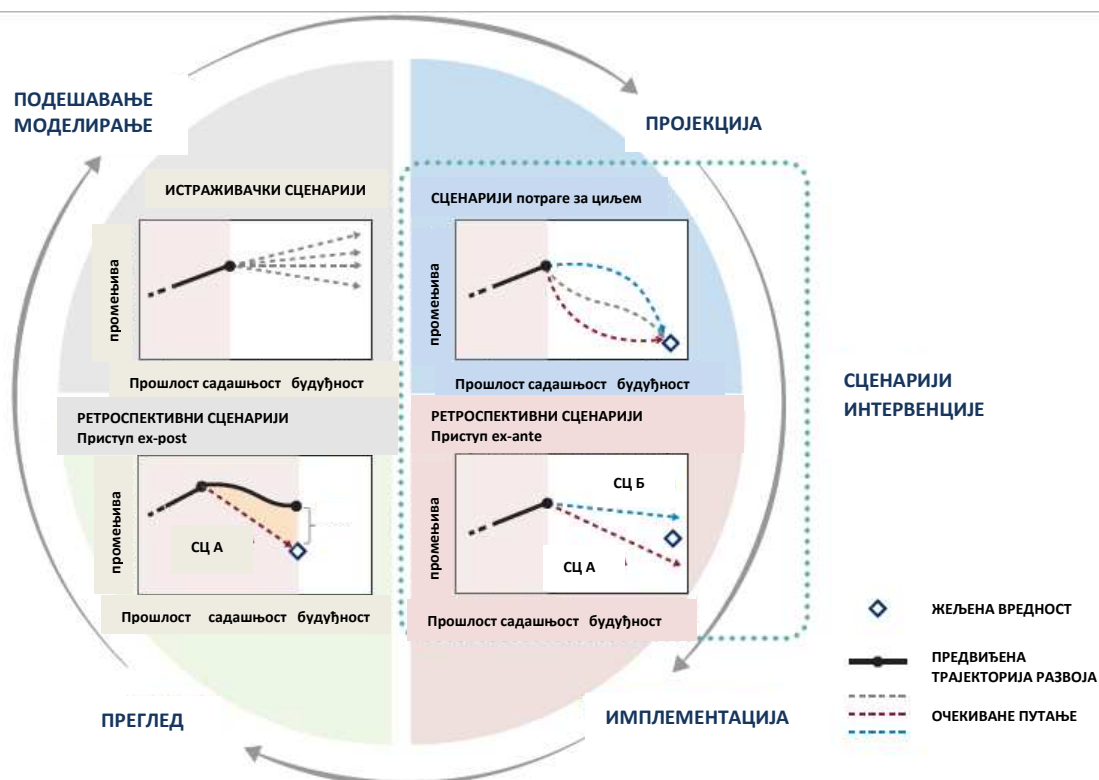
² ВАУ – енг. "Business as Usual"

Истраживачки сценарији се одликују анализом која истражује читав низ могућих будућности, заснованим на потенцијалним путањама основних елемената сценарија. Они су засновани на питању „Шта би се могло догодити?“, тј. на предвиђању и дефинисању догађаја који ће се очекивано десити узимајући у обзир одређене факторе, трендове, мере и културолошке промене (Quist, J., 2007). Овакви сценарији могу значајно допринети идентификација проблема на тренутном нивоу. Истраживачки сценарији представљају одлично решење за пројекције са израженом непредвидљивошћу, а самим тим и неизвесношћу, које су инхерентно повезане са будућом путањом развоја многих чинилаца разматраних у оквиру сценарија што их чини погодним за стратешка планирања (IPBES, 2019).

Ретроспективни сценарији развоја представљају специфичну групу истраживачких сценарија развоја. То су сценарији евакуације развоја који се користе у проценама у којој мери резултати који се стварно постижу спроведеним мерама подударају са онима које су очекиване на темељу моделираних пројекција (IPBES, 2019). На тај начин се врши праћење исправности примене мера у оквиру одређеног сценарија развоја.

Сценарији интервенције су директна последица Ретроспективних сценарија. Они се одликују се одликују алтернативним опцијама развоја сценарија кроз које се често врши циљање жељене области развоја у будућности и корекција мера које ће довести до пројектованог циља (IPBES, 2019). И ови сценарији су значајно коришћени у процесима доношења одлука и креирања политика.

Веза различитих сценарија у оквиру групе истраживачких сценарија је приказана на слици 2.2.



Слика 2.2 Истраживачки сценарији (IPBES, 2019)

”Backcasting” представља приступ за дугорочно стратешко планирање за одрживост транзиције друштвених и техно-економских система који укључује развој пожељне визије будућности и пут ка тој визији. Први пут осмишљен у енергетским студијама 1970-их и 1980-их (Robinson, J., 1982; Lovins, A.B., 1977), овај приступ је погодан за примену у областима као што су транспорт, енергетика, корпоративно управљање и др. (Holmberg, J., Robèrt, K.H., 2000; Zivkovic, M et al., 2016). Улазни подаци неопходни за развој сценарија заснованих на партиципацији могу бити и квалитативне и квантитативне природе (Van Notten et al., 2003). Ови сценарији дају одговор на питање „ Како постићи жељену будућност?” и често се називају и нормативни сценарији (Carlsson-Kanyama, A. et al., 2008; Quist, J., 2007). Недавни напредак у ”Backcasting” методологији пројекција развоја предвиђа унапређење кроз укључивање заинтересованих страна у различитим фазама овог приступа (Quist, J., Vergragt, P., 2006). За ове сценарије је карактеристичан партиципативни начин развоја сценарија. Сада се методологија назива партиципативни ”Backcasting”. Очекивани ефекти

учешћа заинтересованих страна у процесима јавне расправе укључују узајамно учење, изградњу консензуса, власништво и посвећеност спровођењу договорених одлука (*Kerkhof, M., 2005; Patel, M. et al., 2007*). Стога се ПБ сматра погодним приступом за партиципативно стратешко планирање различитих друштвено, техно-економских система (*Robinson, J., 2003; Quist, J., Vergragt, P., 2006*). Када се примењују сценарији унутар оквира ПБ, сценарији "скица" су прикладнији, јер одређују визију будућности, док се пут ка испуњењу визије развија у каснијој фази процеса ПБ користећи размишљање уназад (*Quist, J., Vergragt, P., 2006; Zivkovic, M et al., 2016*)

За потребе проучавања енергетске безбедности у дисертацији су развијени истраживачки ланчани сценарији развоја сектора природног гаса. Коришћене су пројекције потрошње природног гаса из сценарија развоја који су део Стратегије енергетског развоја Републике Србије, а које су настале употребом софтверског пакета LEAP (The Long-range Energy Alternatives Planning System). LEAP представља дугорочни енергетски алтернативни систем планирања, тј. софтверски алат којим се анализира енергетска политика и врши процена начина за ублажавање климатских промена. LEAP је намењен креирању енергетских биланса и планирању развоја како појединих енергетских сектора тако и енергетике у целини. Може се применити на енергетске субјекте различите величине (од локалних самоуправа, енергетских компанија, па до држава и региона). За моделирање истраживачких сценарија енергетског развоја у оквиру дисертације коришћени су резултати LEAP софтверског алата.

3 ТЕОРИЈА ФАЗИ ЛОГИКЕ И ПРИМЕНА НА МОДЕЛ ИНТЕГРАЛНЕ АНАЛИЗЕ СЦЕНАРИЈА ЕНЕРГЕТСКОГ РАЗВОЈА

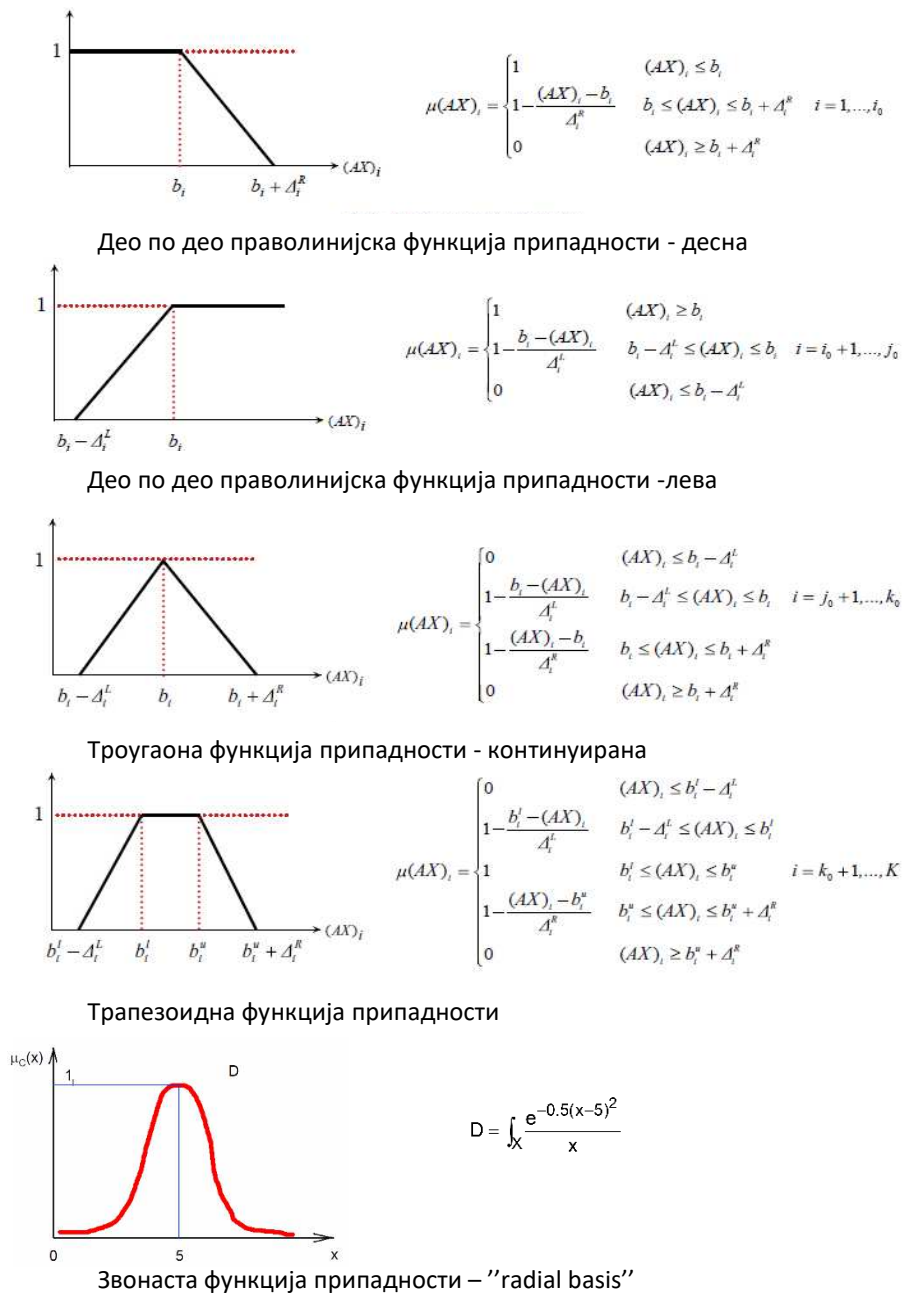
Фази логика представља основу фази система и даје могућност истраживања и доношења одлука на основу непотпуних информација. За сложене системе је карактеристично да је тешко утврдити и изразити међусобне зависности између промењивих које су чиниоци система применом уобичајених метода заснованих на теоријама статистике и вероватноће. Фази логика управо проналази своју намену у анализама и моделирању сложених система, и то полазећи од идеје да се комплексни проблеми могу решити ако се уместо ка ригорозности и што већој прецизности описа одређених појава, уради управо супротно чинећи те описе непрецизнима (*Zadeh, L., 1965*). У класичној (бивалентној) логици сваки исказ може бити само тачан или нетачан, односно вредност исказа по истинитости може бити само 0, уколико је исказ нетачан и 1 уколико је тачан. У људском говору постоји пуно исказа који немају вредност строго тачно, односно строго нетачно. Фази логика представља концепт вредности истинитости који се креће од појма потпуно тачно до појма потпуно нетачно (0-1) (*Suganthi, L. et al., 2015*). Фази логика, као и пратећа теорија фази скупова, је толерантна на непрецизне податке и флексибилна на подручје примене и представља интуитивну црту људског резонувања (*Zadeh, L., 1975*).

3.1 Теорија фази скупа

Теорију фази скупа је, према многим ауторима, први извео Lotfi A. Zadeh (*Zadeh, L., 1965*) и то кроз први рад посвећен теорији фази скупова. Фази скуп (расути или расплинути скуп) представља скуп елемената са сличним својствима, тј. сваки елемент фази скупа припада скупу у извесном степену. У класичној логици постоји дискретан или класичан скуп кога чине елементи са истим својствима. Фази скуп нема јасне границе. Теоријом фази скупова се

третирају појмови који нису довољно јасни и прецизни, и као такви се не могу анализирати кроз теорију вероватноће и употребом интервалне математике. Теорија фази скупова се заснива на припадности, док теорија вероватноће користи концепт субјективне вероватноће (*Buckley, J.J., 1984*). Теорија фази скупова је математички апарат за моделирање процеса у којима доминира неодређеност, субјективност, неизвесност и вишезначност. Генерално, када неодређеност потиче од непрецизности и несавршености коју изазива међуљудска комуникација (нпр. висока влажност, јак ветар, слаба продаја, ниски људи итд.), моделирање се врши теоријом фази скупова. Теоријом фази скупа може моделирати нелинеарну функцију произвољне комплексности, али и бити изграђена на основу искустава експерата. Базирана је на природном језику и може се комбиновати са уобичајним техникама контроле и обраде. Основна предност лежи у моделовању двосмислених и нејасних информација (*Haans M., 2005*).

Фази скуп FS се дефинише као скуп уређених парова $\{X, \mu_{FS}(x)\}$. X представља коначан скуп са унијом елемената x_i који га чине - $X=x_1+x_2+\dots+x_n$, док је $\mu_{FS}(x)$ функција припадности (*Zadeh, L., 1965*). За неки елемент x у оквиру скупа X вредност $\mu(x)$ се назива степеном припадности елемента x у фази скупу FS . Функција припадности $\mu(x)$ квантификује ниво припадности одређеног елемента x фази скупу FS . Вредност 0 значи да x није члан фази скупа, док вредност 1 значи да x у потпуности припада фази скупу FS (*Petrovic, D. et al., 2014; Zadeh, L., 1965*). Користе се веома различити типови функција којима се дефинише припадност у оквиру фази логике, најчешће су 'Л' троугаона, 'П' трапезна, а мало ређа је употреба облика тзв. Звона. Поред поменутих користи се функција: 'L' припадност, 'Г' припадност, 'S' припадност, Гаусов фази скуп итд. (Слика 3.1). Све ове функције могу се користити у моделовању енергетских система (*Suganthi, L. et al., 2015*). Поређењем фази скупова са традиционалном групом објеката (*Reveiz, A., Leon, C., 2009*), приметна је разлика у функцији припадности која није дискретна али је континуирана (*Petrovic, D. et al., 2014*).



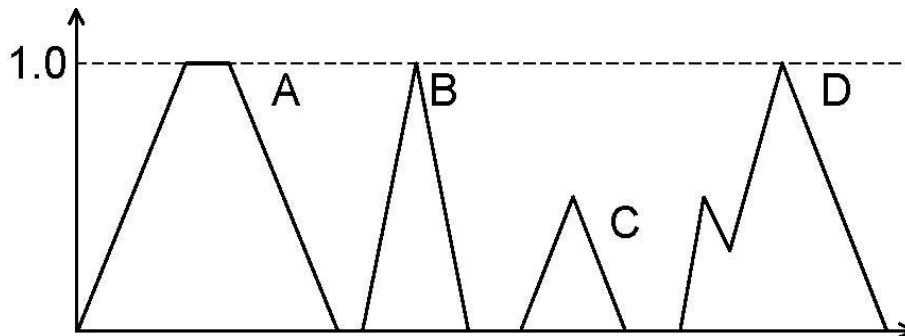
Слика 3.1 Различити облици фази функција припадности (Hocine, A. et al, 2018)

3.1.1 Фази број

Фази број A је фази скуп који има јасне границе и представљен је функцијом припадности $\mu_A(x)$. Функција припадности $\mu_A(x)$ је дефинисана фази

надскупом или универзалним скупом, конвексна је и нормална, као и, бар по деловима, непрекидна функција (*Haans M., 2005; Klir, G, 1997*).

Различити примери фази бројева су приказани на слици 3.2.

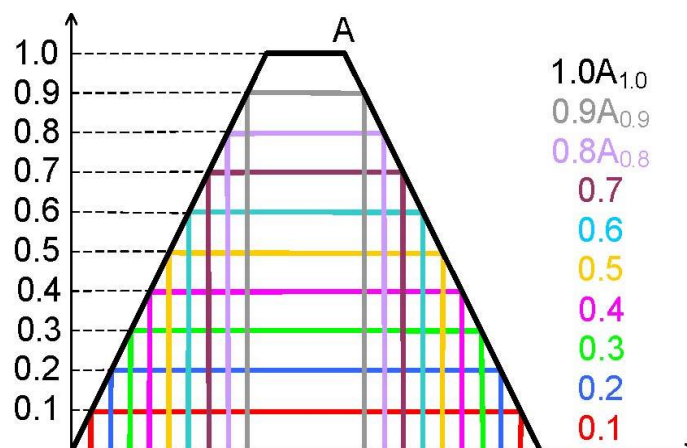


Слика 3.2 Различити фази скупови (*Klir, G, 1997*)

Фази број мора бити нормализован, што значи да бар један члан тог фази скупа мора имати функцију припадности једнаку 1. Фази број A на слици представља, тзв. „раван“ фази број и то ако постоји више од једне вредности за које је $\mu_A(x)=1$. На слици 3.2 фази скупови C и D нису фази бројеви.

3.1.2 α -пресек

Сваки фази скуп се може разложити на више α -пресека који представљају дискретне скупове. Унија ових дискретних скупова представља фази скуп. На слици 3.3 је приказан пример фази скупа A и α -пресека.



Слика 3.3 Фази скуп A и његови α -пресеци (*Haans, M., 2005*)

α -пресек фази скупа A представља све елементе надскупа или универзалног скупа чија је карактеристика да у оригиналном фази скупу имају вредности степена припадности веће од α .

3.1.3 Лингвистичке промењиве

Лингвистичке промењиве (*engl.* "linguistic variables" - LV) представљају оне промењиве чије су вредности уствари реч или речи природног језика као основе споразумевања људи. Лингвистичке промењиве се увек састоје из основних лингвистичких вредности. Додавањем лингвистичких модификатора (мање, више, веома, врло и сл.), као и везника (и, или, не) могу се добити сложени лингвистички изрази. Лингвистичким промењивама се могу доделити једна или више лингвистичких вредности које се повезују са нумеричким вредностима кроз функције припадности и класе ([Buckley, J.J., 1984](#)).

На пример, ако промењива "СНАГА" може имати вредности *слаб, јак, врло јак, није слаб, веома слаб* и сл., онда је снага лингвистичка промењива. Тада су *јак, слаб, није слаб...* вредности лингвистичке промењиве или лингвистичке вредности. У том случају су *веома* и *врло* лингвистички модификатори.

3.1.4 Фази пропозиција и фазификација

Фази пропозиција се користи за представљање тврђења која садрже лингвистичке вредности. Главна разлика између фази пропозиције и класичне пропозиције је у опсегу њихових истинитих вредности. Вредност истинитости или тачности у случају класичне пропозиције је двострука – или је истинита (тачна) или није. У случају фази пропозиције опсег вредности истинитости или тачности није ограничен на две апсолутно супротне вредности. Он варира од 2 до n вредности у приказу истинитости одређене тврдње и/или појаве. Приликом употребе фази пропозиције вредност тачности или истинитости такође зависи и од степена тачности што се нумерички приказује опсегом 0 до 1 ([Belohlavek, R., 2002](#)). На примеру појма

"БРЗИНА", фази пропозиција предвиђа вредности које се описују изразима *брза, веома брза, изузетно брза, умерена, спора, веома спора* и сл.

Фазификација представља поступак пресликавања скаларних улазних података у интервал 0-1 проналажењем одговарајуће фази вредности употребом одређене погодне функције припадности. Суштински, фазификацијом се описује поступак представљања елемената дискретног скупа у облике примењиве у теорији фази скупова. Поступак фазификације се често назива и фази кодирање.

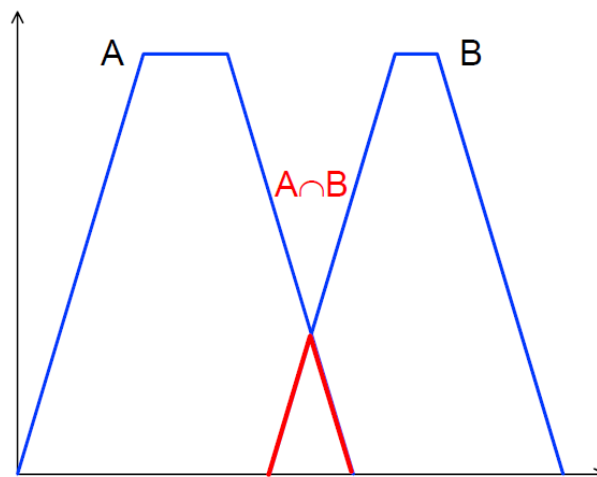
3.1.5 Фази релације

Операције које се најчешће обављају над фази скуповима су: пресек, унија и Декартов производ фази скупова.

Пресек фази скупова А и В представља највећи заједнички фази скуп који се истовремено садржи и у А и В фази скупу. Изражава се помоћу функције припадности као:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \} = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) \quad (3.1)$$

Функције припадности скупова А и В и њихов пресек су приказане на слици 3.4.

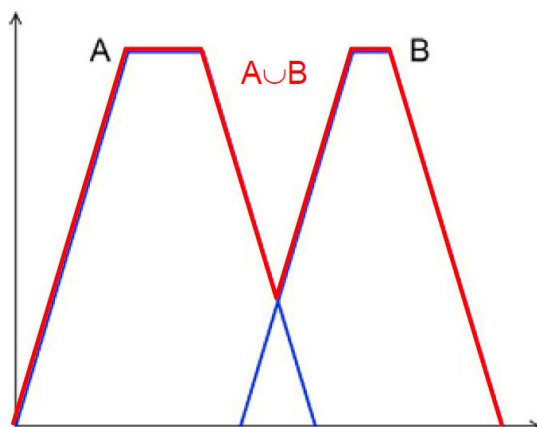


Слика 3.4 Функција припадности скупова А и В и њихов пресек ([Haans M., 2005](#))

Унија фази скупова А и В је најмањи фази скуп који истовремено садржи и А и В фази скуп. Представља се помоћу функције припадности као:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} = \mu_A(x) \vee \mu_B(x) \quad (3.2)$$

Функције припадности скупова А и В и њихова унија су приказане на слици 3.5.



Слика 3.5 Функција припадности скупова А и В и њихова унија (*Buckley, J.J et al., 2002*)

Декартов производ фази скупова FS_1, FS_2, \dots, FS_n дефинисаних на скуповима X_1, X_2, \dots, X_n се може означити као $FS_1 * FS_2 * \dots * FS_n$ (*Haans M., 2005*). У том случају се функција припадности дефинише као:

$$\mu_{FS_1 * FS_2 * \dots * FS_n}(x_1, x_2, \dots, x_n) = \mu_{FS_1}(x_1) \wedge \mu_{FS_2}(x_2) \wedge \dots \wedge \mu_{FS_n}(x_n) \quad (3.3)$$

Уколико су у оквиру фази скупа $A \times B$ дефинисани уређени парови (a, b) који су саставни елементи скупова А и В, тада њихова припадност фази релацији са извесним степеном који се налази у опсегу од 0 до 1, представља фази релацију између скупова А и В (*Buckley, J.J et al., 2002; Haans M., 2005*). Фази релација на А је свако пресликавање из $A \times B$, тј. сваки фази подскуп од фази скупа $A \times B$ (*Pap, E., 1999*). Операције уније, пресека и уређења фази релација су истоветне као и за фази скупове. Уколико се посматрају две фази релације R_1 и R_2 , може се дефинисати њихова композиција као фази релација:

$$R_1 \cdot R_2(r_1, r_2) = R(r_1, a) \otimes F(r_2, b) \quad (3.4)$$

за свако $r_1, r_2 \in A \times B$

3.1.6 Фази композиција

Фази композиција представља корак у моделирању употребом теорије фази скупова у коме се врши поступак интеграције и синтезе парцијалних утицаја на синтезни ниво. Поступак слагања фази релација се може обављати на различите начине. У литератури се спомиње више модела фази композиције, а најчешћу примену имају следеће:

- *"if-then"* фази правило закључивања које се још назива и фази импликација. Најчешће се пише као "АКО а је X, ОНДА b је Y", при чему су X и Y лингвистичке вредности дефинисане над универзалним скуповима A и B. Премиса или претпоставка "a је X" је претходник или антецедент, док је претпоставка "b је Y" конклузија (закључак) или консеквенца (последича). Израз се може написати и кроз математички оператор $X \rightarrow Y$ и значи "АКО X, ОНДА Y" (Pap, E., 1999). Приликом употребе "if-then" правила код фази закључивања изражава се степен сагласности између претпоставке и правила. На пример:

Премиса 1 (претпоставка) - a је X'

Премиса 2 (правило) – АКО a је X, ОНДА је b је Y

Закључак (последича) - b је Y'

У овом случају A' је блиско A, a је B' блиско са B. Процедура објашњена у примеру се назива апроксимативно или фази закључивање, као и генерализовани "modus ponens" (GMP) (Buckley, J.J., 1984);

- *Max-min композиција* представља један од најчешће коришћених модела фази композиције. Назива се још и песимистичном композицијом услед поступка којим се изводи – представљање синтезне оцене употребом репрезентативне парцијалне оцене која се дефинише као најбоља могућа међу најлошијим очекиваним појединачним оценама.

Нека су R₁ и R₂ фази релације дефинисане фази скуповима AxB и BxC, респективно. Max-min композиција фази релација R₁ и R₂ је фази сет приказан као:

$$R_1 \cdot R_2 = \max/\min(\mu_{R_1}(a,b), \mu_{R_2}(b,c)), \quad a \in A; b \in B; c \in C \quad (3.5)$$

или:

$$\mu_{R_1 \cdot R_2}(a,c) = \max/\min(\mu_{R_1}(a,b), \mu_{R_2}(b,c)) = V_b[\mu_{R_1}(a,b) \wedge \mu_{R_2}(b,c)]_b \quad (3.6)$$

где су оператори $V = \max$ и $\wedge = \min$ ([Pap, E., 1999](#)).

Мах-мин композиција се често назива и мах-мин производ који има особине асоцијативности, дистрибутивности у односу на унију, слабе дистрибутивности у односу на пресек и монотоности;

- *Мах-производ композиција* се дефинише применом истог поступка као за мах-мин композицију. Нека су R_1 и R_2 фази релације дефинисане фази скуповима $A \times B$ и $B \times C$, респективно. Мах-производ композиција фази релација R_1 и R_2 је фази сет приказан као ([Bortolan, G., Degani, R., 1985](#)):

$$\mu_{R_1 \cdot R_2}(a,c) = \max[\mu_{R_1}(a,b), \mu_{R_2}(b,c)]_b \quad (3.7)$$

- *Min-мах композиција* представља модел фази композиције која се декларише као оптимистична композиција, јер кроз њу се синтетна оцена приказује кроз репрезентативну парцијалну оцелу која је најлошија међу најбољим очекиваним парцијалним оценама ([Buckley, J.J., 1984](#)).

4 ИНДИКАТОРСКА СТРУКТУРА И ПАРЦИЈАЛНИ ИНДИКАТОРИ

Примена вишекритеријумске анализе на решавању бројних проблема у области енергетике, превасходно у избору оптималних решења праваца развоја је све чешћа. Број модела који се бави овом проблематиком, а самим тим и индикатора који се појављују у поменутиим моделима није мали.

Ако је циљ модела доношење одлуке о оцени сценарија који би показао рационалан, одржив и енергетски безбедан план развоја најчешће су коришћени технички или енергетски, политичко-економски и еколошки индикатори. У неким истраживањима се јављају и друштвени индикатори (*Wang, J.J. et al., 2009*).

Индикатори техничког и/или енергетског аспекта могу бити сигурно снабдевање, доступност енергената (различити извори и правци снабдевања), производња енергије, стабилност и висина цене енергије, као и техничка расположивост система. Друштвено-економски индикатори садрже парцијалне индикаторе оправданости инвестиционих улагања, финансијске и административне изводљивости, институцијалних капацитета, могућности уштеда, економског раста, развоја тржишта и локалне економије, и сл. Еколошки индикатори су стандардизовани и обухватају парцијалне индикаторе емисија штетних материја и гасова са ефектом стаклене баште..

За појам енергетске безбедности традиционално најважнији показатељ је индикатор сигурног снабдевања, док је општа тежња за „чистијом енергијом“ допринела да емисија CO₂ и штетних материја, уз инвестиционе трошкове представља незаобилазне парцијалне индикаторе посматрања. Аспект социјалних индикатора, са парцијалним индикаторима друштвене прихватљивости и пружања комфора, се све чешће користи у евалуацији енергетског сценарија (*Konidari, P., Mavrakis, D., 2007*).

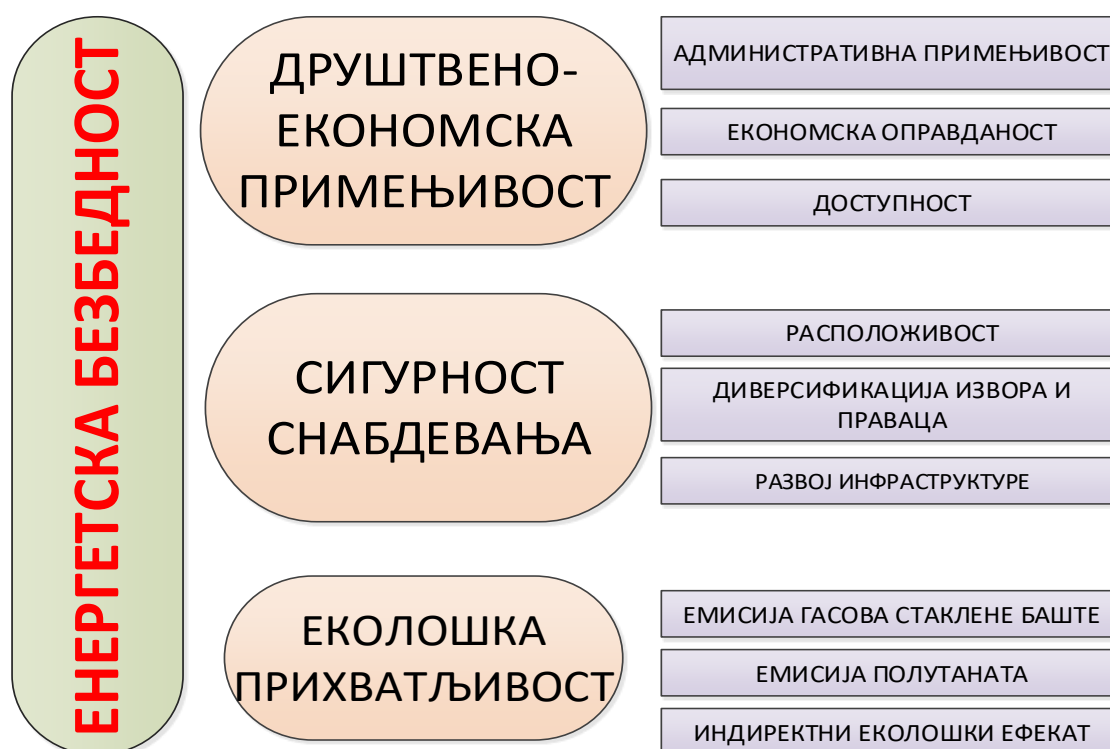
На основу најчешће употребљиваних индикатора и раније спровођених метода, закључује се да је за доношење одлука у смислу евалуације

енергетских сценарија са аспекта енергетске безбедности потребно сагледати проблем са техничког (енергетског), друштвено-економског и еколошког аспекта.

4.1 Дефинисање индикаторске структуре

Енергетска безбедност представља синтезу геополитичког и енергетског аспекта доступности енергије у различитим облицима у довољним количинама и по повољним ценама.

Успостављање индикаторске структуре представља иницијални корак у моделирању интегралне анализе оцене енергетске безбедности сценарија енергетског развоја. На слици 4.1 је приказана индикаторска структура, са синтензним индикаторима и групама парцијалних индикатора који их прате.



Слика 4.1 Индикаторска структура

Поменута структура се користи да се у два нивоа анализе, за одређени енергетски сценарио, дефинише ниво енергетске безбедности. Синтезни индикатори који се разматрају су друштвено-економска применљивост, енергетска сигурност и еколошка прихватљивост. Сваки од побројаних индикатора се састоји од групе парцијалних индикатора чије интеракције доприносе укупном утицају на доношење оцене енергетске безбедности у целисти. Индикатор друштвено-економске примењивости разматра парцијалне индикаторе административне примењивости, економске оправданости и доступности, док индикатор енергетске сигурности преваходно сагледава функцију снабдевања и посматра три парцијална индикатора: расположивост енергената, диверсификацију извора и праваца и развој инфраструктуре. Индикатор еколошке прихватљивости је ближе дефинисан групом парцијалних индикатора који чине: емисија ГХГ, емисија полутаната и индиректни еколошки ефекат.

4.1.1 Индикатор друштвено-економске примењивости

Индикатор друштвено-економске примењивости представља синтезни индикатор којим се објашњавају административни, институционални и легислативни капацитети енергетског сектора, сагледава економска оправданост, тј. економски раст или назадовање са аспекта енергетских компанија или инвеститора, као и приуштивост енергије са аспекта крајњих потрошача.

Правац друштвене примењивости је дефинисан кроз однос свих релевантних ентитета који су укључени у процес реализације активности везаних за применљивост одређеног сценарија. Директно је повезан са националним структурама (институције и људски ресурси) (*Konidari, P., Mavrakis, D., 2007*), као и правним оквиром који прати одговарајућу проблематику. Економичнија производња енергије, уз повећан ниво доступности енергента конзуму, који је у могућности да исту плати на развијеном и монополистичком тржишту доприноси подизању енергетске безбедности.

Истовремено, административна спремност стварања услова за примене мера енергетске ефикасности, а самим тим и за смањену употребу финалне енергије за обављање исте делатности, позитивно утиче на енергетску безбедност посматраног енергетског сектора. Индикатор друштвено-економске примењивости изблиза прецизније дефинише група парцијалних индикатора:

- a) Административна примењивост се може дефинисати као постојање, спремност и оперативност државне администрације и других институција да креирају, подрже, унапреде и осигурају извођење одређених операција које ће омогућити реализацију енергетског сценарија. Административна примењивост се односи на људске ресурсе, али и на постојање одговарајућег законодавног и регулаторног оквира. Недостатак адекватног особља се може испољити као препрека спровођењу мера које предвиђају одређени сценарији енергетског развоја. Квалитетна административна примењивост је заснована је на уиграном и професионалном особљу, поседовању неопходних техничких помагала и транспарентношћу резултата обављеног посла (*Konidari, P., Mavrakis, D., 2007*). Административна применљивост се такође може дефинисати и као способност запослених у надлежним институцијама да спроводе мере које се тичу неког енергетског сценарија. Овај парцијални индикатор дефинише и координацију како више различитих сектора, тако и различите нивое управљања и одлучивања у оквиру више институција, доделе обавеза одређеним јавним ентитетима, благовремено и адекватно укључивање свих релевантних чинилаца и сл. Значаја администрације у смислу примењивости у економском и друштвеном смислу је, између осталог, у поједностављењу поступака административне и правне природе неопходних за реализацију процеса који су предвиђени енергетским сценаријима. Административна примењивост има немерљив значај на енергетску безбедност у случају критичних ситуација (екстремне потребе за

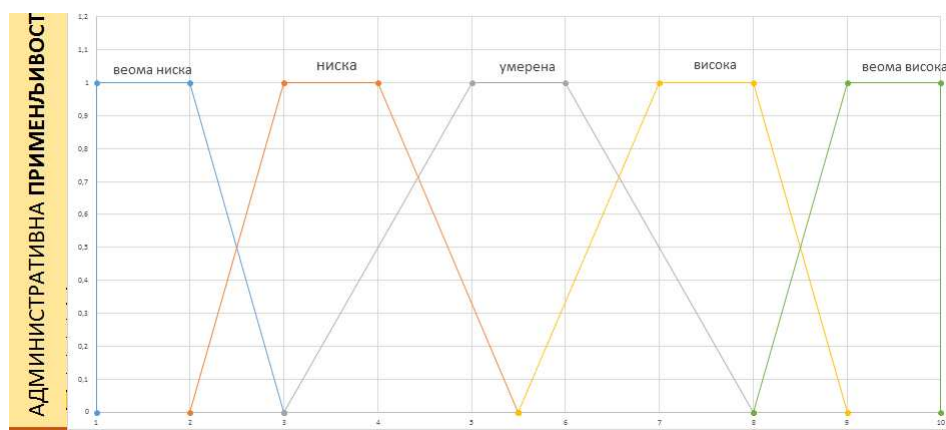
енергентом, недостатак енергента из увоза, хаварије производних система итд.) у смислу изналажења алтернативних решења кроз већ припремљене поступке дејства у случају кризних ситуација. Превасходно се мисли на постојање дефинисаних кораке поступања у циљу обезбеђења алтернативног снабдевања, дефинисања заштићених потрошача које је неопходно снабдевати енергентом и сл. У оквиру индикатора Друштвено-економске примењивости парцијални индикатор Административна примењивост је дефинисан помоћу лингвистичких промењивих, а изражава се као оцена ангажовања људства и ресурса. У поступку фазификације улазних података за овај парцијални индикатор формиран је упитник који представља основу за експертску анализу Административне примењивости. Анкетирани експерти у оквиру упитника бирају једну или више лингвистичких промењивих у одређеном уделу која најверодостојније описује парцијални индикатор.

На слици 4.2 је приказан изглед фази скупова са лингвистичким промењивима којима се парцијални индикатор Административна примењивост ближе дефинише. Лингвистичком промењивом „веома ниска“ се описује ситуација у којој у административном смислу нема пратеће легислативе, нити извршних, инспекцијских и регулаторних тела, као ни превентивних планова поступања у случају енергетских кризних ситуација.

Лингвистичка промењива „ниска“ дефинише делимичну појаву основне легислативе која није усклађена нити међусобно нити са законодавством ЕУ. Мали број проблема који се може појавити је препознат кроз адекватне норме и прописе. Овом промењивом се описује и недостатак извршних и регулаторних тела, инспекцијског надзора нити превентивних планова поступања у случају енергетских кризних ситуација.

Лингвистичком промењивом „умерена“ се описује постојање делимичних правних прописа, који нису усклађени у потпуности, као и постојање разлика између домаће и легислативе ЕУ. Ова промењива

дефинише најопштији облик превентивних планова дејства у случају енергетских криза. Лингвистичка промењива „умерена“ приказује постојање општих извршних органа, као и немање адекватних регулаторних тела нити инспекцијског надзора у енергетском сектору. Лингвистичка промењива „висока“ дефинише постојање адекватне пратеће правне норме која је међусобно усклађена у потпуности, али није усклађена са најновијим правним актима Европске Уније. Већина проблема који се могу појавити су препознати кроз адекватне норме и прописе. Развијени су општи превентивни сигурносни планови поступања у случају енергетских кризних ситуација, који су детаљнији у односу на случај описан претходном лингвистичком промењивом. Лингвистичком промењивом „веома висока“ се описује ситуација постојања адекватне пратеће легислативе која је усклађена међусобно и са актуелном међународном правном нормом у енергетском сектору. Готово сви проблеми који се могу појавити су препознати кроз адекватне норме и прописе. Истовремено овом лингвистичком промењивом се описује и постојање свих законима превиђених извршних, инспекцијских и регулаторних тела, са јасним областима деловања. Развијени су превентивни сигурносни планови поступања у случају енергетских кризних ситуација, који покривају готово сваки сценарио.



Слика 4.2. Фазе скупови са адекватним лингвистичким промењивама за парцијални индикатор Административна примењивост

b) Економска оправданост представља парцијални индикатор који сагледава генерисање пораста економског развоја и увећање БДП-а. Економски развој подиже ниво енергетске безбедности, јер енергетски субјект који се економски развија има веће могућности куповине енергије, улагања у примену мера енергетске ефикасности и савремених технологија уопште, коришћење обновљивих извора енергије и др. Економска оправданост се у анализи превасходно посматра са становишта енергетске компаније, инвеститора или државе – да ли неки сценарио или инвестиција генерише раст БДП-а – директно или индиректно. Овај парцијални индикатор може, али и не мора бити у директној вези са повећањем потрошње енергије. Парцијални индикатор економске оправданости се може изразити на неколико начина, сагледавајући пораст БДП-а у односу на уложена средства у развој енергетског сектора или као однос степена коришћења нових капацитета, тј. употребе количине енергента и уложеног новца. Економска оправданост је дефинисана нумеричким уносом, и то помоћу Индекса економске оправданости (IEO) који се у овом случају изражава као:

$$IEO = \frac{\text{Upotreba novog kapaciteta (t,m3 i sl.)}}{INVESTICIJA (\$/E)} \quad (4.1)$$

Што је већа вредност Индекса економске оправданости (IEO), теже је генерисање економског раста и повећање БДП-а. Наспротив томе, мање вредности Индекса економске оправданости (IEO) указују на повољну пословну и економску ситуацију енергетског субјекта и лакше стварање нових додатних вредности.

На слици 4.3 је приказан изглед фази скупова са лингвистичким промењивима којима се парцијални индикатор Економска оправданост описује.

Лингвистичка промењива „веома ниска“ дефинише стање пада БДП-а и економског назадовања.

Лингвистичком промењивом „ниска“ се описује ситуација у којој нема економског развоја, нити увећања БДП-а. Енергетски субјект је веома рањив у контексту енергетске безбедности услед немогућности или смањене могућности куповине енергената, уз истовремено непостојање економске оправданости за примену одређених мера предвиђених сценаријем енергетског развоја.

Лингвистичком промењивом „умерена“ се описује постојање благог увећања БДП-а и генерисања економског развоја. Рањивост енергетског субјекта је све мања. Примена одређене мере предвиђене сценаријем енергетског развоја не доноси зараду, али ни губитке.

Лингвистичка промењива „висока“ дефинише генерисање пораста економског развоја и увећање БДП-а. Истовремено, енергетски субјект који се економски развија има веће могућности куповине енергије, а самим тим и лакше стварање нових вредности.

Лингвистичком промењивом „веома висока“ се описује изразито генерисање економског раста и пораст БДП-а, који доводи енергетски субјекат у повољну пословну и финансијску ситуацију, а самим тим у потпуности економски оправдава одређени поступак или меру у оквиру енергетског сценарија.



Слика 4.3. Фазе скупови са адекватним лингвистичким промењивама за парцијални индикатор Економска оправданост

с) Доступност представља парцијални индикатор који изражава развој тржишта одређеног енергента. Доступност може бити дефинисана кроз степен либерализације тржишта одређеног енергента, као и кроз праћење количине тог енергента који се продаје на слободном тржишту у односу на укупну потрошњу поменутог енергента. Карактерише га и број ентитета који учествује у реализацији купопродаје на тржишту, тј. уколико је тржиште отвореније и са већим бројем учесника већа је могућност набавке и добијања повољнијих цена енергената или пакета енергетских услуга што је у директној спрези и са друштвеним и са економским аспектом синтезног индикатора чији је Доступност парцијални индикатор. Кроз овај парцијални индикатор се описује и монополистичко и картелско пословања на тржишту. На слици 4.4 је приказан изглед фази скупова са лингвистичким промењивима којима се парцијални индикатор Доступност ближе дефинише.

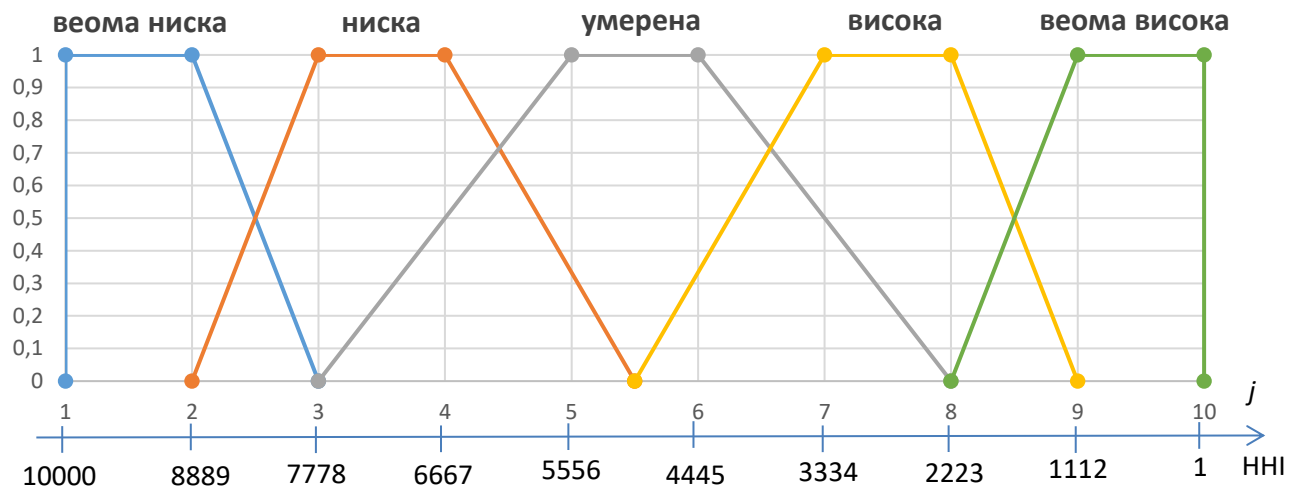
Лингвистичка промењива "веома ниска" описује ситуацију у којој је број учесника на тржишту одређеног енергента мали и непромењив са монополистички формираним ценама енергената. Цене су такве да су одређеном броју крајњих корисника поједини енергенти финансијски недостижни.

Вредношћу *лингвистичке промењиве "ниска"* је описана ситуација благо увећање концентрације слободног тржишта и још увек високих, монополистички формираних цена за енергенте.

Вредношћу *лингвистичке промењиве "умерена"* је дефинисано стање постојања делимично развијеног тржишта са незнатно већим бројем тржишних учесника, уз додатно повољније цене енергената. Кроз ову LV се приказују немогућности да се увећа број ентитета који учествује у реализацији купопродаје на тржишту.

Насупрот овој LV се налази *лингвистичка промењива "висока"* која описује тржиште са повећаним бројем учесника уз повољније цене енергената и енергетских услуга. Доступност енергената крајњем кориснику, у смислу могућности избора и плаћања, је све већа.

Лингвистичка промењива "веома висока" описује изузетно развијено тржиште са великим бројем учесника уз повољне цене енергената и енергетских услуга. Истовремено, овом лингвистичком промењивом се дефинише висока доступност енергената крајњем кориснику, у смислу могућности избора и плаћања.



Слика 4.4. Фази скупови са адекватним лингвистичким промењивама за парцијални индикатор Доступност

Парцијални индикатор Доступност нумерички се квантификује употребом Herfindahl-Hirschman индекса (ННД) који указује на ниво концентрације слободног тржишта. ННД индекс се рачуна као збир квадрата процентуалног учешћа (p_i) појединих компанија на тржишту (ННД, 2018):

$$ННД = \sum_{i=1}^n p_i^2 \quad (4.2)$$

Што је вредност индекса мања, то је већа конкуренција на тржишту, тј. минималне функције ННД ($=1/n$) се добија када су процентуална учешћа свих компанија једнака међусобно ($=1/n$). Парцијални индикатор Доступност посебно дефинише опис сваке лингвистичке променљиве на следећи начин:

- ННД > 7801 – неконцентрисано тржиште (на Слици 4.4 одговара вредност лингвистичке промењиве "веома ниска"),

- $7800 > \text{HHI} > 5751$ – неконцентрисано тржиште (на Слици 4.4 одговара вредност лингвистичке промењиве "ниска"),
- $5750 > \text{HHI} > 3701$ – умерено концентрисано тржиште (на Слици 4.4 одговара вредност лингвистичке промењиве "умерена")
- $3700 > \text{HHI} > 1701$ – концентрисано тржиште (на Слици 4.4 одговара вредност лингвистичке промењиве "висока")
- $\text{HHI} < 1700$ – високо концентрисано тржиште (на Слици 4.4 одговара вредност лингвистичке промењиве "веома висока").

4.1.2 Синтезни индикатор Сигурности снабдевања

Синтезни индикатор сигурности снабдевања се може посматрати у јако широком контексту. Генерално је дефинисан помоћу групе парцијалних индикатора, као што су: техничка расположовост система, доступност енергента, приступачност, прихватљивост, безбедност и политичка стабилност (*Jingzheng, R. et al., 2014*). Ипак, за потребе развоја методологије којом ће бити анализирани сценарији енергетског развоја у контексту оцене енергетске безбедности, синтезни индикатор сигурности снабдевања се преваходно односи назадовољене потреба потрошача. Квалитет радног стања неког система чија је улога снабдевање, трансформација и искоришћење неког енергента преваходно зависи од расположивости енергената, расположивости инфраструктуре и могућности да се оствари снабдевања (*Tanasijević, M. et al., 2014*). Сигурност снабдевања је најчешћи аспект посматрања појма енергетске безбедности и његов утицај на саму енергетску безбедност је круцијалан. Разлог овоме је што је један од основних принципа којима је дефинисана енергетска безбедност уствари сигурност снабдевања и то у смислу континуираног и непрекидног снабдевање енергентом уз минималну могућност прекида снабдевања и постојање тренутног алтернативног решења у снабдевању. Сигурност снабдевања може бити сагледана са различитих аспеката – индивидуално са нивоа снабдевања одређеним енергентом или генерално кроз сагледавање целокупног енергетског сектора. Синтезни индикатор Сигурности

снабдевања је такође описан помоћу три различита парцијална индикатора, а сваки од њих је дефинисан нумеричким уносом улазних података.

- а) Распоживост енергената представља парцијални индикатор који зависи од врсте и количине енергената који се користе, самодовољности у производњи и коришћењу енергената, а самим тим и увозне зависности која може бити битан елемент сигурности снабдевања. Распоживост енергената је и функција могућности складиштења енергента, учешћа обновљивих извора енергије, нивоа коришћења локално доступних извора енергије и сл. ([Tanasijević, M. et al., 2014](#)). Распоживост енергента је основни услов сигурног снабдевања, а самим тим и високе енергетске безбедности. Овај парцијални индикатор се дефинише нумерички у зависности од енергетског сектора који се посматра. У оквиру сектора природног гаса и електричне енергије ниво Распоживости енергента је изражен помоћу (N-1) индекса доступности система. За сектор угља Распоживост се може дефинисати као однос доказаних резерви према укупној количини ресурса. У случају нафте, Распоживост се може декларисати кроз однос укупних количина нафте доступне за слободну продају на тржишту и укупних потреба за нафтом. На примеру природног гаса и електричне енергије парцијални индикатор Распоживост може бити декларисан као:

$$N - 1 = \frac{TKG+KPG+MIPSG+MITNG-MKS}{\text{masimalna dnevna potrošnja}} \quad (4.3)$$

где су:

TKG – технички капацитет гасовода, тј. највећа количина гаса која може бити допремљена кроз постојећи гасовод [милиона м³ дневно],

KPG – количина гаса произведеног у земљи [милиона м³ дневно],

MIPSG – максимална испорука из складишта природног гаса [милиона м³ дневно],

MITNG – максимална испорука са ТНГ терминала [милиона м³ дневно],

MKS– максимални капацитет снабдевања = max (TKG, KPG, MIPSG, MITNG) [милиона м³ дневно].

На слици 4.5 је приказан изглед фази скупова са лингвистичким промењивима којима се парцијални индикатор Расположивост ближе дефинише.

Лингвистичка промењива "веома ниска" описује ситуацију високе увозне зависности и ограниченог броја снабдевача, са ниским учешћем домаће производње. Веома ниску расположивост карактерише и немогућност складиштења енергента.

Вредношћу *лингвистичке промењиве "ниска"* је описана ситуација благог смањења увозне зависности, малог броја снабдевача и ниских капацитета складиштења енергента.

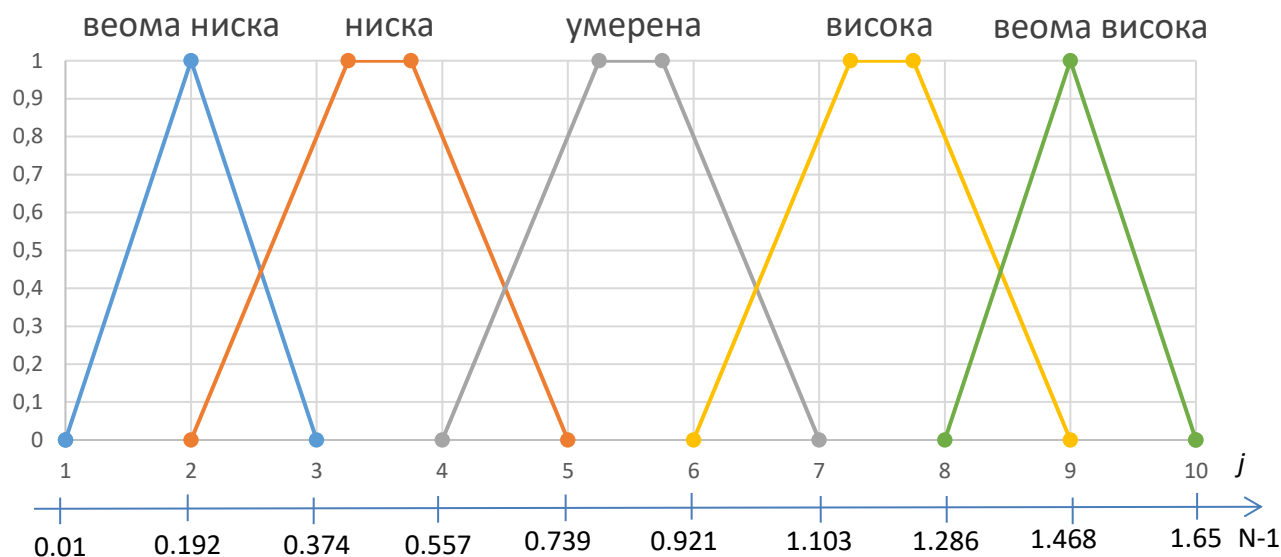
Вредношћу *лингвистичке промењиве "умерена"* је дефинисано стање благог повећања складишних капацитета и стабилизације домаће производње уз смањење увозне зависности.

Лингвистичка промењива "висока" описује повећање снабдевачких капацитета, уз модернизацију домаће производње и повећање складишних капацитета.

Лингвистичка промењива "веома висока" описује изузетно развијену производњу, ниску увозну зависност или вишу увозну зависност која је праћена са већим бројем потенцијалних извора снабдевања.

За случај сектора природног гаса или електричне енергије парцијални индикатор Расположивост посебно дефинише опис сваке лингвистичке променљиве на следећи начин:

- $N-1 < 0.35$ – вредност лингвистичке промењиве "веома ниска",
- $0.36 < N-1 < 0.7$ – вредност лингвистичке промењиве "ниска",
- $0.71 < N-1 < 1.05$ – вредност лингвистичке промењиве "умерена",
- $1.06 < N-1 < 1.4$ – вредност лингвистичке промењиве "висока",
- $N-1 > 1.41$ – вредност лингвистичке промењиве "веома висока".



Слика 4.5. Фази скупови са адекватним лингвистичким промењивама за парцијални индикатор Распоживост

б) Диверсификација извора и праваца је парцијални индикатор који указује на број извора посматраног енергента и различите правце кроз које исти може доћи до енергетског субјекта. Повећан број извора, као и праваца снабдевања подиже ниво сигурности снабдевања и енергетске безбедности у смислу обезбеђења непрекидног снабдевања енергентом. Истовремено, могућност употребе различитих локално доступних енергената за обављање исте функције, такође доприноси подизању нивоа сигурности снабдевања и енергетске безбедности. На овај начин се премошћува потенцијални недостатак већег броја различитих извора одређеног енергента. Као пример можемо узети употребу неког локално доступног обновљивог извора енергије, чиме се подиже ниво енергетске независности на локалу кроз стварање новог извора енергије, што доприноси подизању нивоа енергетске безбедности. Параметар Диверсификације извора и праваца снабдевања се даје нумерички кроз меру диверсификације увозних праваца снабдевања на основу капацитета посматраног енергента расположивих за снабдевање. Диверсификација извора и праваца за енергенте који се увозе може

бити изражен помоћи IDUPS индекса диверсификације увозних праваца снабдевања (*ENTSOG, 2015*).

На примеру природног гаса индекс даје меру диверсификације увозних праваца снабдевања на основу капацитета природног гаса расположивих за снабдевање. Индекс се рачуна као збир квадрата процентуалног учешћа појединих интерконеција и испорука са ТНГ терминала (*ENTSOG, 2015*):

$$IDUPS = \sum_i^{granica X} (\sum_k^{TI} \%TI_k granica X_i)^2 + \sum_m (\%LNG terminal)^2 \quad (4.4)$$

где су:

$\%TI_k granica X$ – процентуални удео техничког капацитета на тачки интерконеције X која припада граничном прелазу са државом i, у односу на укупни увозни капацитет,

$\%LNG terminal$ - процентуални удео техничког капацитета ТНГ терминала m у односу на укупни увозни капацитет.

На слици 4.6 је приказан изглед фази скупова са лингвистичким промењивима којима се парцијални индикатор Диверсификација извора и праваца ближе дефинише.

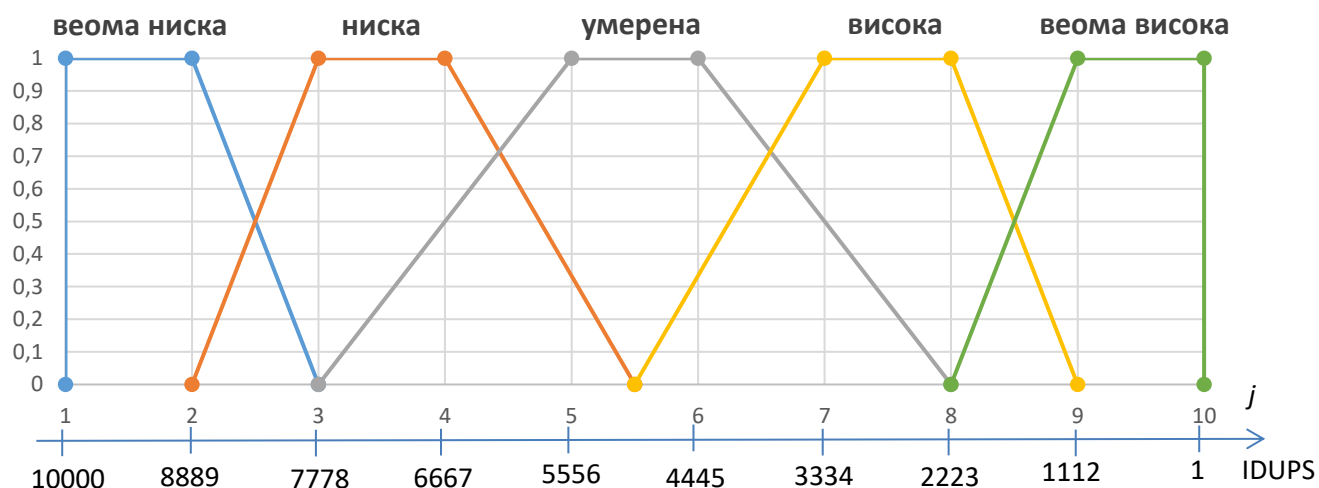
Лингвистичка промењива "веома ниска" описује ситуацију постојања једне увозне руте и искључиво једног извора снабдевања кроз ту руту, као и готово непостојеће модерне техничке капацитете складиштења и производње. Енергетски субјект је веома рањив у контексту енергетске безбедности услед немогућности или смањене могућности набавке енергената.

Вредношћу *лингвистичке промењиве "ниска"* је описана ситуација такође једне увозне руте и повећања техничких капацитета у односу на укупни увозни капацитет. Енергетски субјект је и у оквиру ове лингвистичке промењиве рањив у контексту енергетске безбедности, али у мањој мери.

Вредношћу лингвистичке промењиве "умерена" је дефинисано стање постојања још једне тотално независне увозне руте са новим извором снабдевања и додатно увећање техничких капацитета складиштења.

Лингвистичка промењива "висока" дефинише увећан број увозних рута, као и повећање складишних капацитета.

Лингвистичка промењива "веома висока" описује разновстан диверсификациони профил у смислу вишеструких извора и праваца снабдевања. Овај случај описује енергетски субјект који са аспекта енергетске безбедности има изузетно повољну ситуацију. Истовремено, овом лингвистичком промењивом се дефинише изражена могућност да енергетски субјект има неколико различитих извора снабдевања, као и алтернативне правце којима може доћи до енергента.



Слика 4.6. Фази скупови са адекватним лингвистичким промењивама за парцијални индикатор Диверсификација извора и праваца

За сектор природног гаса парцијални индикатор Диверсификација извора и праваца посебно дефинише опис сваке лингвистичке променљиве на следећи начин:

- $IDUPS > 10000$ – вредност лингвистичке промењиве "веома ниска",

- $9999 > IDUPS > 7500$ – вредност лингвистичке промењиве "ниска",
- $7499 > IDUPS > 5500$ – вредност лингвистичке промењиве "умерена",
- $5499 > IDUPS > 3500$ – вредност лингвистичке промењиве "висока",
- $IDUPS < 3499$ – вредност лингвистичке промењиве "веома висока".

с) Развој инфраструктуре показује стање инфраструктурних предуслова за коришћење одређеног енергента. Односи се на изградњу капацитета за производњу примарних облика енергије, развој производних погона за енергетске трансформације, изградњу складишних капацитета, транспортне и дистрибутивне мреже (у зависности од врсте енергената). Све су ово предуслови за интензивирање употребе и развој домаћег тржишта одређеног енергента. Сваки развој енергетске инфраструктуре доприноси повећању сигурности снабдевања енергетских субјеката енергентима неопходним за процес, а на тај начин и до подизања нивоа укупне енергетске безбедности. Развој инфраструктуре може бити сагледан и кроз степен реализације планираних инфраструктурних пројеката (SRIP). У том контексту се посматра однос реализованог и укупног капацитета одређеног енергента предвиђеног конкретном инфраструктурном пројекцијом развоја:

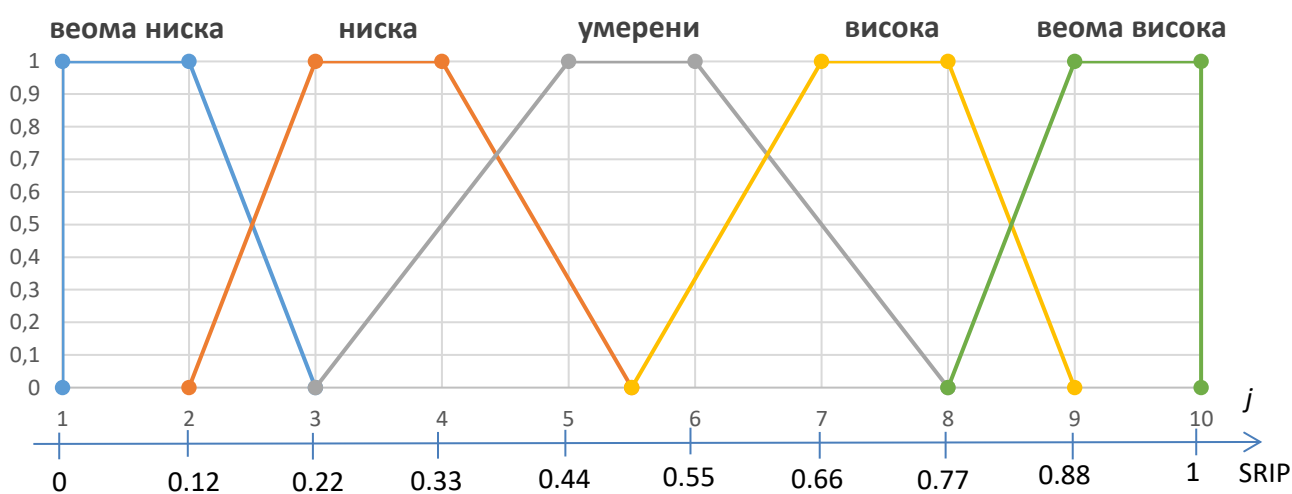
$$SRIP = \frac{\textit{Realizovani kapacitet}}{\textit{Ukupni predviđeni kapacitet}} \quad (4.5)$$

Пошто је у питању удео, парцијални индикатор Развој инфраструктуре посебно дефинише опис сваке лингвистичке променљиве на следећи начин:

- $0 < SRIP < 0.20$ – вредност лингвистичке промењиве "веома ниска",
- $0.21 < SRIP < 0.40$ – вредност лингвистичке промењиве "ниска",

- $0.41 < SRIP < 0.60$ – вредност лингвистичке промењиве "умерени",
- $0.61 < SRIP < 0.80$ – вредност лингвистичке промењиве "висока",
- $0.81 < SRIP < 1$ – вредност лингвистичке промењиве "веома висока".

На слици 4.7 је приказан изглед фази скупова са адекватним лингвистичким промењивама којима се парцијални индикатор Развоја инфраструктуре ближе дефинише.



Слика 4.7. Фази скупови са адекватним лингвистичким промењивама за парцијални индикатор Развој инфраструктуре

4.1.3 Синтезни индикатор еколошке прихватљивости

Синтезни индикатор еколошке прихватљивости исказује укупан допринос одређеном стању животне средине, који може бити презентован помоћу групе парцијалних индикатора. Неки од њих, као емисија гасова стаклене баште и/или чврстих честица су директно мерљиви, док други представљају пратеће резултате чињења или нечињења у оквиру анализираних сценарија енергетског развоја. Парцијалне индикаторе Емисије ГХГ и Емисије полутаната у оквиру синтезног индикатора Еколошке примењивости

одликује могућност нумеричког квантификовања вредности којима се описују поменуте емисије. Оба парцијална индикатора се дефинишу на основу вредности количине емитованих полутаната уз стехеометријско израчунавање или стандардне процене емисије у зависности од врсте енергента. Истовремено, кроз поменуте парцијалне индикаторе се може сагледати редуција или увећање емисија на националном, али и нивоу сектора, пропорција употребе обновљивих извора, али и енергетски интезитет по секторима, смањење употребе енергије (укупно или секторски) и сл. (*Konidari, P., Mavrakis, D., 2007*). Параметар индиректног еколошког ефекта се квантификује експертском проценом индиректног утицаја емисије на животну средину.

Еколошка прихватљивост је две деценије уназад постала незаобилазни синтетни индикатор сваке валидне енергетске анализе. Енергетска безбедност је у директној спрези са Еколошком прихватљивошћу кроз многе прописане политичке циљеве, економске бенефите, системе казних мера и сл.

- а) Емисија гасова стаклене баште представља универзалан еколошки индикатор који прати све антропогене утицаје који за резултат имају емисију гасова стаклене баште. Ефикасно праћење и извештавање о емисији гасова са ефектом стаклене баште представља основу за напредак у циљу остварења редуције емисија. Главним узрочником климатских промена се сматрају гасови, којих иначе има јако мало у слојевима атмосфере. Природним и антрополошким утицајем, они доспевају у атмосферу, где се задржавају, апсорбујући део топлотне енергије зрачења Сунца и реемитујући је ка површини наше планете. Овај ефекат је познат под називом ефекат стаклене баште, па отуда и име гасовима који изазивају ову појаву. Најзаступљенији гас стаклене баште је угљен-диоксид (84%), а прате га метан (8.5%) и азотсубоксид (6.5%), док су перфлуокарбонати у траговима (1%) (*Scheraga, J. et Leary, N., 1992*). Сматра се да је концентрација угљендиоксида у

атмосфери у односу на крај 18. века порасла за више од 30% (IEA, 2018a).

За потребе дефинисања парцијалног индикатора Емисија гасова стаклене баште, посматраће се емисија угљен-диоксида као доминантног и најзаступљенијег представника гасова стаклене баште. Емисија угљендиоксида је готово искључиво последица сагоревања фосилних горива (око 98%).

За остварену једнаку количину топлотне енергије, различите су количине емисије које настају као последица сагоревања фосилних горива. Разлог овоме је различити хемијски састав енергента који сагорева. Њихов допринос емисији гасова стаклене баште, преваходно угљендиоксида није исти, па се, за потребе поређена енергената, уводи коефицијент емисије угљендиоксида $k(\text{CO}_2)$. Овај коефицијент изражава количину емитованог CO_2 сведену на јединицу енергије. Коефицијент емисије угљендиоксида се може одредити као:

$$k_{\text{CO}_2} = 3.67 \cdot \frac{g_c}{H} \quad (4.6),$$

где су:

g_c - масени удео горивог угљеника у гориву,

3.67 – стехеометријски коефицијент,

H - топлотна моћ горива (MJ/kg).

Коефицијенти емисије CO_2 по јединици произведене енергије за различите енергенте су дати у табели 4.1.

Табела 4.1. Коефицијент емисије CO_2 (IPCC, 2006)

Енергент	Емисија [kg CO ₂ /GJ]
Биомаса	109.6
Тресет	106
Камени угаљ	101.2
Мрки угаљ	97.09
Лигнит	96.43
Дизел	77.4
Сирова нафта	74.1
Керозин	73.3
Бензин	71.5
ТНГ	63.1
Природни гас	56.1

Прорачуном параметара процеса потпуног сагоревања чврстих, течних и гасовитих горива може се доћи до количина емитованих гасова стаклене баште. Емитоване количине зависе од састава горива које се користе, те механизма процеса сагоревања.

За сагоревање чврстог и течног горива минимална потребна количина кисеоника је:

$$O_{2,min} = \frac{1}{100} \left[1.87 \cdot C + 5.6 \cdot \left(H - \frac{O}{8} \right) + 0.7 \cdot S \right], \text{ m}^3/\text{kg} \quad (4.7)$$

Минимална потребна количина ваздуха за сагоревање чврстог и течног горива је:

$$V_{vazduha,min} = \frac{O_{2,min}}{a}, \text{ m}^3/\text{kg} \quad (4.8)$$

где је: a запремински удео кисеоника у ваздуху ($a = 0,21 \text{ m}^3/\text{m}^3$).

Стварна количина ваздуха за сагоревање се изражава употребом коефицијента вишка ваздуха λ .

$$V_{vazduha,stv} = \lambda \cdot V_{vazduha,min} = \lambda \cdot \frac{O_{2,min}}{a}, \text{ m}^3/\text{kg} \quad (4.9)$$

Количина компоненти ГХГ, тј. CO_2 као доминантног представника гасова стаклене баште, у гасовитим продуктима сагоревања чврстих и течних горива је следећа:

$$V_{CO_2} = \frac{1.87}{100} \cdot C, \text{ m}^3/\text{kg} \quad (4.10)$$

- За сагоревање гасовитих горива минимална потребна количина кисеоника је:

$$O_{2,min} = \frac{1}{100} \left[0.5 \cdot (H_2 + CO) + 1.5 \cdot H_2S + \sum \left(m - \frac{n}{8} \right) \cdot C_m H_n + O_2 \right], \text{ m}^3/\text{m}^3 \quad (4.11)$$

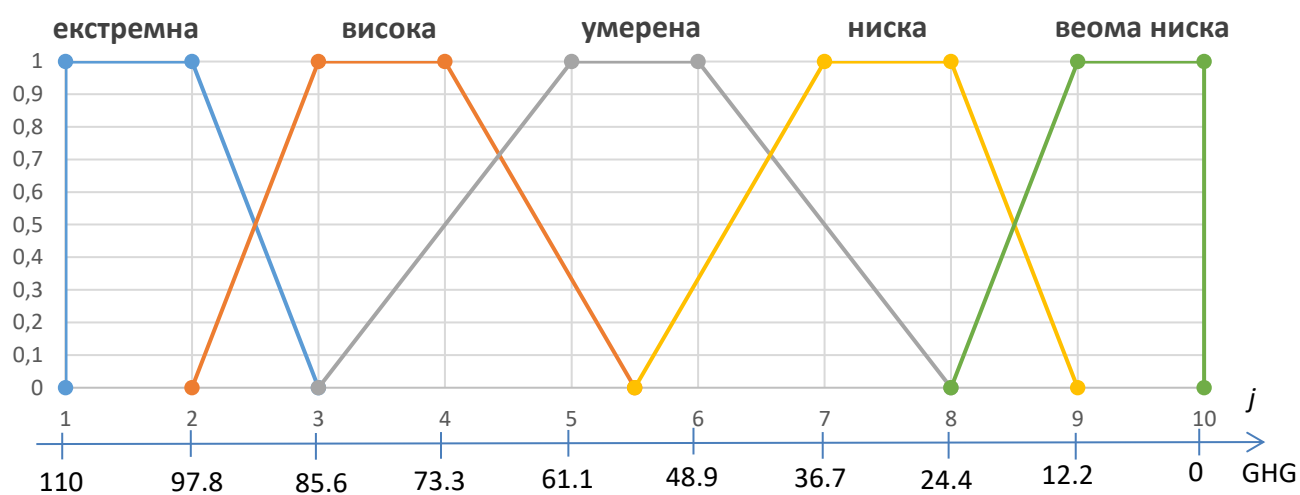
На сличан начин, као за чврста и течна горива, долази се до количине CO_2 у гасовитим продуктима сагоревања гасовитих горива:

$$V_{CO_2} = \frac{1}{100} \cdot [CO + CO_2 + \sum m \cdot C_m H_n], \text{ m}^3/\text{m}^3 \quad (4.12)$$

На слици 4.8 је приказан изглед фази скупова са лингвистичким промењивама којима се параметар Емисије ГХГ ближе дефинише.

Вредношћу лингвистичке промењиве "екстремна" се описује ситуација у којој је количина емисије гасова са ефектом стаклене баште изузетно велика.

Вредност лингвистичке промењиве "веома ниска" приказује употребу енергента који је таквог хемијског састава да је садржај гасова са ефектом стаклене баште у димним продуктима сагоревања на нивоу трагова.



Слика 4.8. Фази скупови са адекватним лингвистичким промењивама за парцијални индикатор Емисија ГХГ

Количина емитованих гасова са ефектом стаклене баште се стандардно изражава по тони емитованог CO_{2eq} . CO_{2eq} представља јединицу засновану на потенцијалу глобалног загревања (GWP) различитих гасова стаклене баште, тј. помоћу ње се мери и изражава утицај једне тоне емитованог било ког другог ГХГ гаса у односу на утицај једне тоне CO_2 . Шта више, и када не постоји јасно измерен резултат емисивности, могуће је рачунати емисију на основу познатих стандардних мера емисија CO_2 по јединици енергије тако да узимајући у обзир количину потребне енергије, може се добити количина емитованог CO_{2eq} .

- b) Емисија полутаната (чврсте честице, NO_x , SO_x , CO_x , VOC итд.) је парцијални индикатор који описује врсту, интензитет и начин емисија

преосталих полутаната (не рачунајући гасове који изазивају ефекат стаклене баште). Као и код емисија ГХГ, ефикасно праћење и извештавање о емисијама полутаната представља основу за напредак у циљу остварења редукције емисија.

Аналогно са начином израчунавања емисије гасова стаклене баште, врши се стехеометријски прорачун емисије различитих полутаната у димним гасовима настали као последица сагоревања чврстог, течног и гасовитог горива. Тако је за *чврста и течна горива*, количина компоненти у продуктима сагоревања за сумпорове оксиде, азот и чврсте честице (суве продукте сагоревања) је следећа, респективно:

$$V_{SO_2} = \frac{0.7}{100} \cdot S, \text{ m}^3/\text{kg} \quad (4.13)$$

$$V_{N_2} = \frac{0.8}{100} \cdot N + \lambda \cdot \frac{1-a}{a} \cdot O_{2,min}, \text{ m}^3/\text{kg} \quad (4.14)$$

$$V_{\check{c}\check{c}} = V_{rw} - V_{H_2O}, \text{ m}^3/\text{kg} \quad (4.15)$$

При чему је V_{rw} - количина влажних продуката сагоревања и израчунава се као:

$$V_{rw} = V_{CO_2} + V_{SO_2} + V_{N_2} + V_{O_2} + V_{H_2O}, \text{ m}^3/\text{kg} \quad (4.16)$$

где су:

$$V_{O_2} = (\lambda - 1) \cdot O_{2,min}, \text{ m}^3/\text{kg} \quad (4.17)$$

$$V_{H_2O} = \frac{1.244}{100} \cdot (9 \cdot H + W), \text{ m}^3/\text{kg} \quad (4.18)$$

У случају *гасовитог горива*, количина компоненти у продуктима сагоревања за азот је следећа:

$$V_{N_2} = \frac{1}{100} \cdot N_2 + \lambda \cdot \frac{1-a}{a} \cdot O_{2,min}, \text{ m}^3/\text{kg} \quad (4.19)$$

Количина чврстих честица се утврђује истоветно као у (4.15), што важи и за влажне продукте сагоревања (4.16).

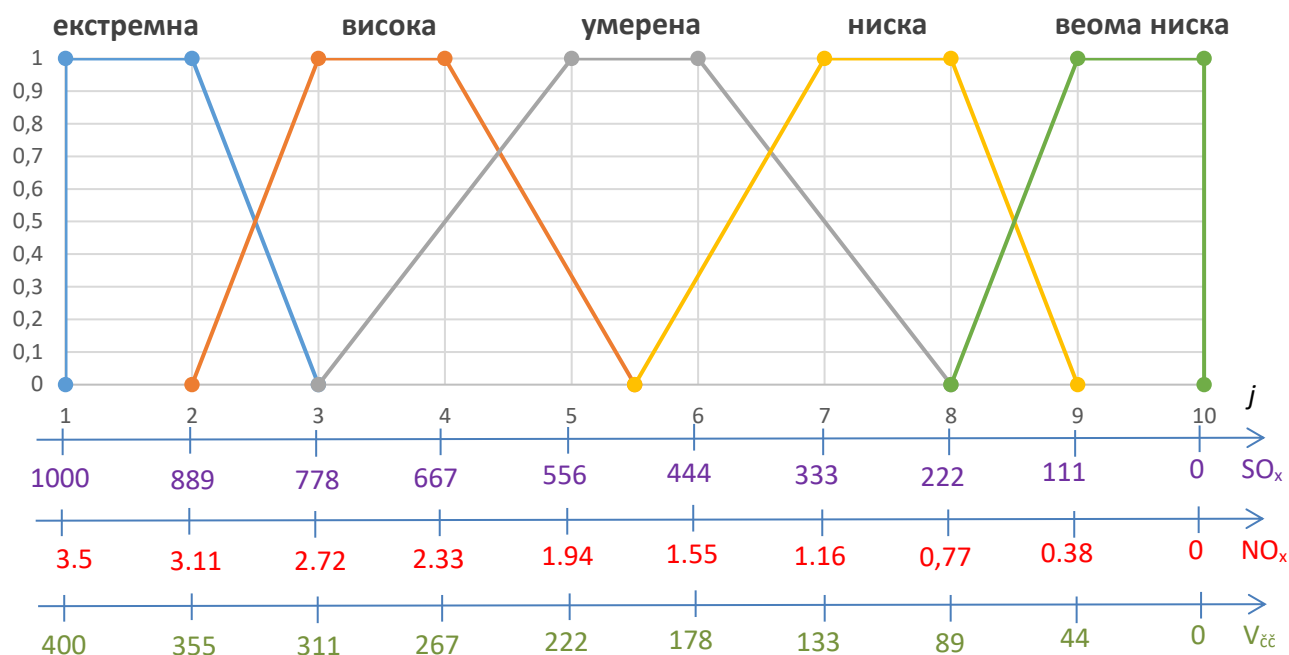
Количина водене паре у влажним продуктима сагоревања гасовитог горива је:

$$V_{H_2O} = \frac{1}{100} \cdot (H_2 + H_2S + \sum_2^n \cdot C_m H_n), \text{ m}^3/\text{kg} \quad (4.20)$$

Сумпорови оксиди се не јављају приликом сагоревања гасовитог горива уколико у састав горива не улази водоник сулфид.

На слици 4.9. су приказане фази скупови са лингвистичким промењивима за парцијални индикатор Емисије полутаната. Употреба трапезоидног облика приликом дефинисања припадности фази скупу емисије полутаната је изражена услед постојања лингвистичких променљивих код којих нема јасних и прецизних разлика у оквиру фази услова. Разлог томе је праћење емисије више различитих хемијских супстанци, чији састав, карактеристике и начин стварање варира.

Лингвистичка промењива "екстремна" дефинише стање у којој је количина емисије полутаната јако висока и енергетски субјект представља велику опасност по здравље становништва, као и за сам изглед и функционалност природног окружења. Лингвистичка промењива којом се описује емисивност полутаната у оквиру одређеног сценарија и/или мера које он предвиђа, се градацијски ређају даље описане вредностима *лингвистичке промењиве висока, умерена и ниска*, све до *лингвистичке промењиве "веома ниска"* која описује сценарио не приметних загађења полутантима, а самим тим и минималног утицаја на животно окружење.



Слика 4.9. Фази скупови са адекватним функцијама припадности за параметар Емисија полутаната

Да би се дошло до заједничког фази скупа као улазног податка за парцијални индикатор емисија полутаната (E2), приступа се одређивању поменутог фази броја употребом тежишне или гравитационе методе:

$$POL = j_{CO_x} \cdot LV_{SO_x-povrsina} + j_{NO_x} \cdot LV_{NO_x-povrsina} + j_{\check{c}\check{c}} \cdot LV_{\check{c}\check{c}-povrsina} \quad (4.21)$$

- Оксиди сумпора SO_x

Оксиди сумпора изазивају киселе кише чије је штетно дејство на живи свет, посебно биљке и земљиште, веома изражено. Оксиди сумпора у димним гасовима као производима сагоревања се налазе као последица оксидације сумпора који улази у састав горива које сагорева. Сумпор у процесу сагоревања већим делом оксидише у сумпордиоксид - SO₂, а мањим делом у сумпортриоксид-SO₃ (Lide, D.R., 2006). Међутим, приликом емисије у атмосферу, сумпордиоксид се

даље трансформише у сумпорттриоксид, који реагује са влажним супстанцама у атмосфери стварајући капљичне производе сумпорне киселине који су познати као киселе кише. Ове кише у контакту са земљом постепено повећавају киселост, што утиче на успорени раст и развој флоре. Истовремено, контакт са водом која се налази на површини наше планете, негативно утиче и на флору и фауну у самој води (*Holleman, A. F. et Wiberg, E., 2001*).

Анализе показују да је сагоревање угља највећи извор емисије оксида сумпора. Деривати нафте, течна горива мазут и лож уље такође емитују оксиде сумпора, али у мери која је мања него за случај угља (*Holleman, A. F., Wiberg, E., 2001*). Сагоревањем биомасе не долази до емисије оксида азота, јер сумпора нема, или је тек у траговима у хемијском саставу дрвене биомасе. За природни гас је такође карактеристично да нема емисије сумпорових оксида, осим ако гас у свом хемијском саставу нема водоник сулфид. Најлакше поређење емисије оксида сумпора за различите енергенте је проналажење количине емитованог SO₂ по јединици произведене енергије. Кофицијенти емисије SO₂ по јединици произведене енергије за различите енергенте су дати у табели 4.2.

Табела 4.2. Кофицијент емисије SO₂ (*EPA, 2018*)

Енергент	Емисија [g SO ₂ /G]
Угаљ	1000
Мазут	670
Лож уље	670
Природни гас	0
Огривно дрво	0

- Оксиди азота (NO_x)

Штетност азота се манифестује кроз нуспроизоде сагоревања – оксиде азота. Најзначајнији оксиди азота чији је утицај на здравље живих бића и животну средину највећи су азотмоноксид (NO), азотдиоксид (NO₂) и азотсубоксид (N₂O). Заједнички назив за поменуте оксиде азота је NO_x. Огромну количину емитованих количина оксида азота уствари сачињава азотмоноксид (више од 90%) (Soud, H., Fukasawa, K., 1996). Међутим, његова реактивност са честицама кисеоника у атмосфери чини да се готово све количине оксида азота третирају као азотдиоксид. Азотсубоксид је гас стаклене баште, који се налази у траговима у продуктима сагоревања стандардних фосилних горива, тако да је његов утицај приликом емисија занемарљив (Carpenter, A., Davidson, R., 2006). Коефицијенти емисије честица па јединици произведене енергије приказани су у табели 4.3.

Табела 4.3. Коефицијент емисије оксида азота (IEA, 2018b)

Енергент	Емисија [g NO _x /GJ]
Угаљ	1.5
Мазут	0.6
Природни гас	0.1
Огревно дрво	3.2

Велика количина оксида азота (више од 65%) настаје у процесима сагоревања фосилних горива. Оксиди који се формирају настају из два извора: азота из састава горива и азота из ваздуха. Три су основна механизма кроз које се стварају оксиди азота (Carpenter, A., Davidson, R., 2006):

- термички механизам (оксидација азота из атмосфере),
- промтни механизам (интензивна реакција у фронту пламена),
- механизам оксидације азота везаног у гориву.

У смислу енергената, највећа емисија се остварује сагоревањем дрвене биомасе, где до изражаја долази механизам оксидације азота који се налази у самој биомаси, док је сагоревање природног гаса најмањи емитер оксида азота (IEA, 2018b).

- Чврсте честице

Сагоревање фосилних горива, поред емисије штетних гасова доводи и до емисије честица. Честице даље иницирају везивање других материја у атмосфери, утичући на стварање смога у нижим слојевима атмосфере (Henry, W.M., Knapp, K.T., 2010). Колико ће се честица емитовати у атмосферу зависи пре свега од врсте коришћеног енергента и сектора употребе, што условљава режим сагоревања, постојање филтера итд. Коефицијенти емисије честица па јединици произведене енергије приказани су у табели 4.4.

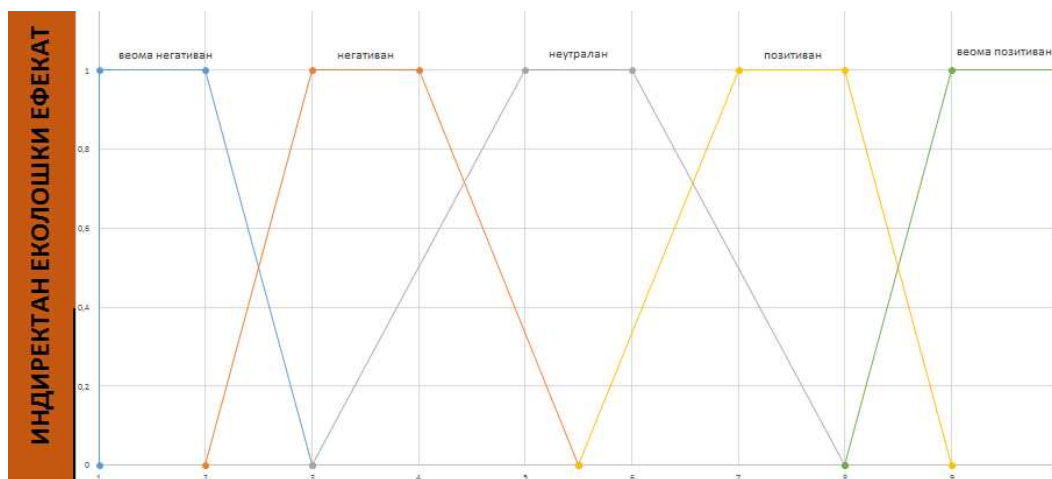
Начин употребе енергената (уређаји смањене ефикасности, без савремених мерних, управљачких и регулаторних елемената) у области широке потрошње утиче на емисију честица и пепела. Индустриска постројења су често у неоптималним режимима рада (честа промена оптерћења, прекиди у раду и сл.) што утиче на пораст емисије. За топлане је карактеристично да је примаран процес таквих постројења сагоревање фосилних горива за добијање топлотне енергије, па се веома води рачуна и о режимима рада постројења, опремљености и адекватности опреме, као и редовном одржавању исте.

Табела 4.4. Коефицијент емисије чврстих честица (*Jovašević-Stojanović, M., Bartonova, A., 2010*)

Енергент	Област	Емисија [g _{čestica} /GJ]
Угаљ	Широка потрошња	400
	Индустрија	180
	Топлане	120
Мазут	Широка потрошња	2
	Индустрија	30
	Топлане	1
Природни гас	Широка потрошња	0
	Индустрија	0
	Топлане	0
Огревно дрво	Широка потрошња	200
	Индустрија	90
	Топлане	60

- с) Индиректни еколошки ефекат представља парцијални индикатор који се може сагледавати кроз ефекте који настају из окружења у којем се живи и ради, а називају се екстерналије. Ти ефекти могу различито утицати на тзв. суседне економске активности, истовремено доносећи једнима додатне трошкове, а другима користи – тзв. негативне и позитивне екстерналије (*Ђукић П., Ђукановић С., 2015*). У контексту еколошке прихватљивости и шире слике енергетске безбедности овим парцијалним индикатором се описује утицај употребе фосилних горива на трошкове у здравству, пораст или смањење БДП-а, смањење радне способности становништва и сл. Индиректни еколошки ефекат може бити битан дугорочни показатељ (не)исправности одређене енергетске политике, али је често тешко утврдити и доказати повезаност неког еколошког поремећаја са додатним трошковима. Такође се може приметити и да је веза између трошкова загађења и трошкова смањења загађења обрнуто пропорционална (*Ђукић П., Ђукановић С., 2015*). На слици 4.10 су приказан фази скупови са адекватним лингвистичким промењивама за парцијални индикатор Индиректног еколошког ефекта. У поступку фазификације улазних података за овај парцијални индикатор формиран је упитник који представља основу за експертску анализу Индиректног еколошког

ефекта. Анкетирани аналитичари у оквиру упитника бирају једну или више лингвистичких промењивих у одређеном уделу која најверодостојније описује парцијални индикатор.



Слика 4.10. Фази скупови са адекватним лингвистичким промењивама за парцијални индикатор Индиректног еколошког ефекта

Лингвистичком промењивом „вeома високи“ се описује ситуација у којој је негативни еколошки ефекат вeома изражен. Трошкови еколошких ефекта који се описују овом лингвистичком промењивом су вeома високи. Нема развијеног механизма примена мера којима би се испитивала, ублажавала и спречавала појава негативних екстерналија.

Лингвистичка промењива „високи“ дефинише стање постојања еколошких штета чији је утицај на здравство, економски развој, стање и способност становништва изражен. Постоје начелне мере, чија примена није честа.

Лингвистичка промењива „умерени“ дефинише смањени негативан утицај еколошких екстерналија. Овом LV је описана делимична појава одређених мера спречавања и ублажавања еколошких штета које су несистематизоване. Еколошке екстерналије и даље доносе велике трошкове.

Лингвистичка промењива „низак“ описује појаву механизма системтизованих мера спречавања и ублажавања еколошких штета и

екстерналија. Негативан утицај еколошких екстерналија је минимализован. Трошкови загађења су осетно смањени.

Лингвистичком промењивом „веома низак“ се описује ситуација непостојања негативног утицаја еколошких екстерналија. Готово све екстерналије које се могу појавити су препознате кроз адекватне мере ублажавања и могу се спречити. Трошкови еколошких екстерналија су занемарљиви.

4.2 Интеракција синтезних и парцијалних индикатора

Креирана индикаторска мрежа показује да у одређивању појма енергетске безбедности учествују различити синтезни индикатори, који под одређеним условима у мањој или већој мери врше утицај на оцену енергетске безбедности посматраног енергетског сценарија. Тај утицај је дефинисан у сваком појединачном случају и никада не може бити посматран у општој форми, ни са генералним закључцима. Истовремено, у зависности од врсте сценарија, сваки синтезни индикатор може имати другачији значај за енергетску безбедност. Приликом класификације и сакупљања улазних података парцијалних индикатора, користи се двоструки приступ – експертска анализа и нумерички прорачун помоћу доступних, већ утврђених метода. Међутим, поред овог поступка фазификације улазних података, неопходно је посветити пажњу и међусобној интеракцији истих, тј. ранирању. За ово се користи метода вишекритеријумске анализе АХП. Генерално, неретко се АХП користи за утврђивање утицајних коефицијената као дела примене неке друге вишекритеријумске методологије (*Babic and Plazibat, 1998; Macharis et al., 2004*). У овом, конкретном случају, АХП процедура се користи за модификацију резултата у оквиру синтезног поступка. На тај начин се парцијални индикатори доводе у везу, и, у односу на врсту проблематике коју описују, њихов се значај у односу на друге истиче или умањује.

5 МОДЕЛ ИНТЕГРАЛНЕ АНАЛИЗЕ СЦЕНАРИЈА ЕНЕРГЕТСКОГ РАЗВОЈА

За потребе израде модела је анализирана група од три синтезна индикатора, која су прецизније дефинисана помоћу по три парцијална индикатора. Анализирајући раније уобичајно коришћење вишекритеријумске математичке моделе за анализу сценарија енергетског развоја, усвојена је следећа група синтезних индикатора: друштвено- економска применљивост (D), сигурност снабдевања (S) и еколошка прихватљивост (E). Разлог позивања на већ традиционалне методе је жеља поређења резултата модела који је развијен са поменутиим традиционалним математичким моделима.

Фази-АХП синтезни модел је структурно и хијерархијски сачињен из два корака:

I ниво синтезе који се односи на композицију:

- *Административна примењивост (D1), Економска оправданост (D2) и Доступност (D3) у ДРУШТВЕНО ЕКОНОМСКУ ПРИМЕЊИВОСТ (D);*
- *Расположивост (S1), Диверсификација извора и праваца (S2) и Развој инфраструктуре (S3) у СИГУРНОСТ СНАБДЕВАЊА (S);*
- *Емисија ГХГ (E1), Емисија полутаната (E2) и Индиректан еколошки ефекат (E3) у ЕКОЛОШКУ ПРИХВАТЉИВОСТ (E).*

II ниво синтезе који се односи на композицију:

- *ДРУШТВЕНО ЕКОНОМСКЕ ПРИМЕЊИВОСТИ (D), СИГУРНОСТИ СНАБДЕВАЊА (S) и ЕКОЛОШКЕ ПРИХВАТЉИВОСТИ (E) у ЕНЕРГЕТСКУ БЕЗБЕДНОСТ (EВ).*

Сва четири синтезна поступка (три на првом и један на другом нивоу синтезе) биће остварена коришћењем одговарајуће фази композиције са ранжираним исходом. Синтезни модел биће приказан у општем облику у односу на парацијалне (P_i) и синтезне (M) индикаторе.

У I нивоу синтезе, важи следеће:

$$M = D; P_1 = D1, P_2 = D2, P_3 = D3; \text{ или}$$

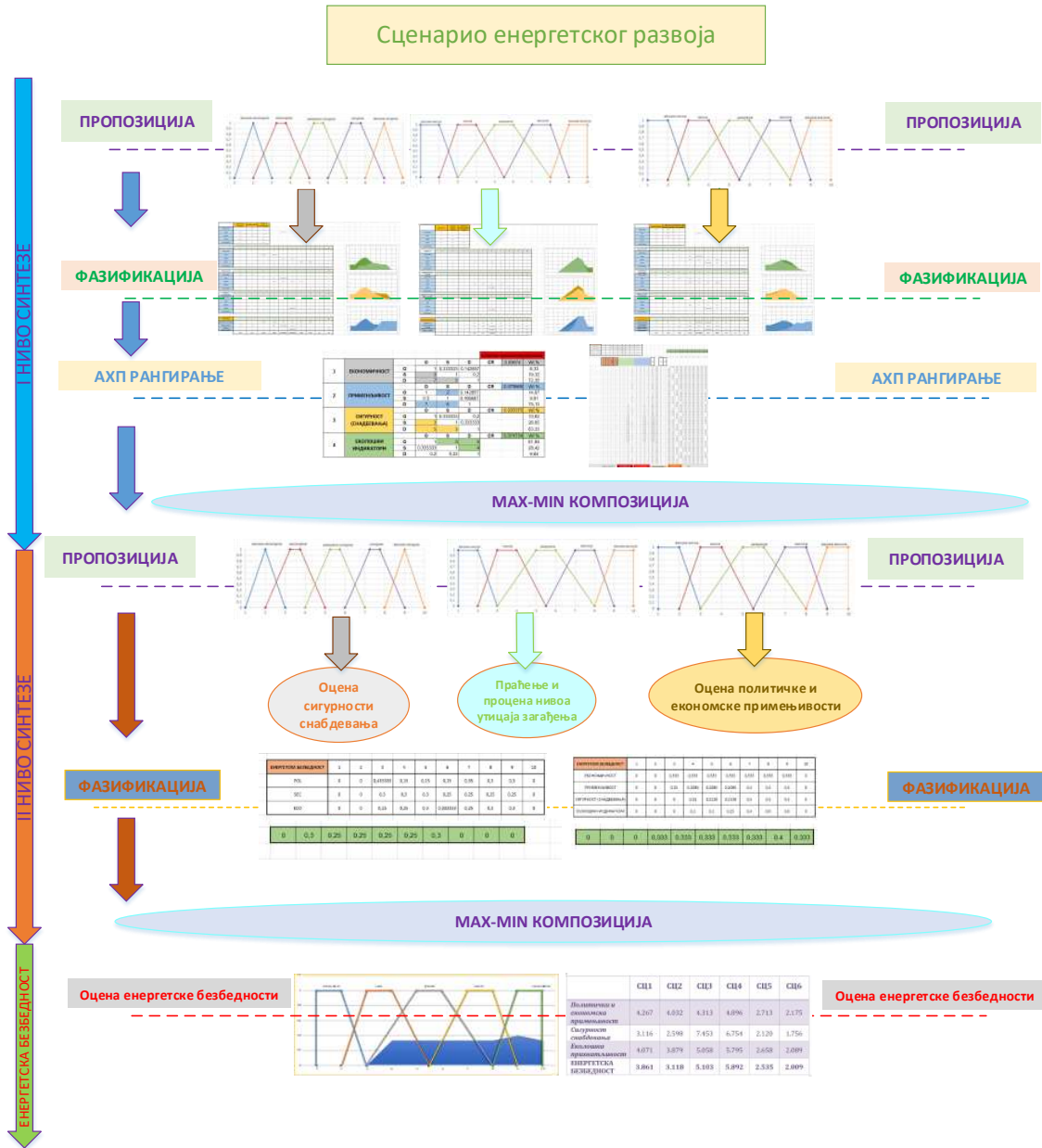
$M = S; P_1 = S1, P_2 = S2, P_3 = S3$; или

$M = E; P_1 = E1, P_2 = E2, P_3 = E3$.

У II нивоу синтезе Енергетска безбедност је синтезни индикатор, док су парцијални индикатори сада они који су били синтезни у првом нивоу синтезног поступка (*Друштвено економска примењивост (D), Сигурност снабдевања (S) и Еколошка прихватљивост (E)*), тј. важи следеће:

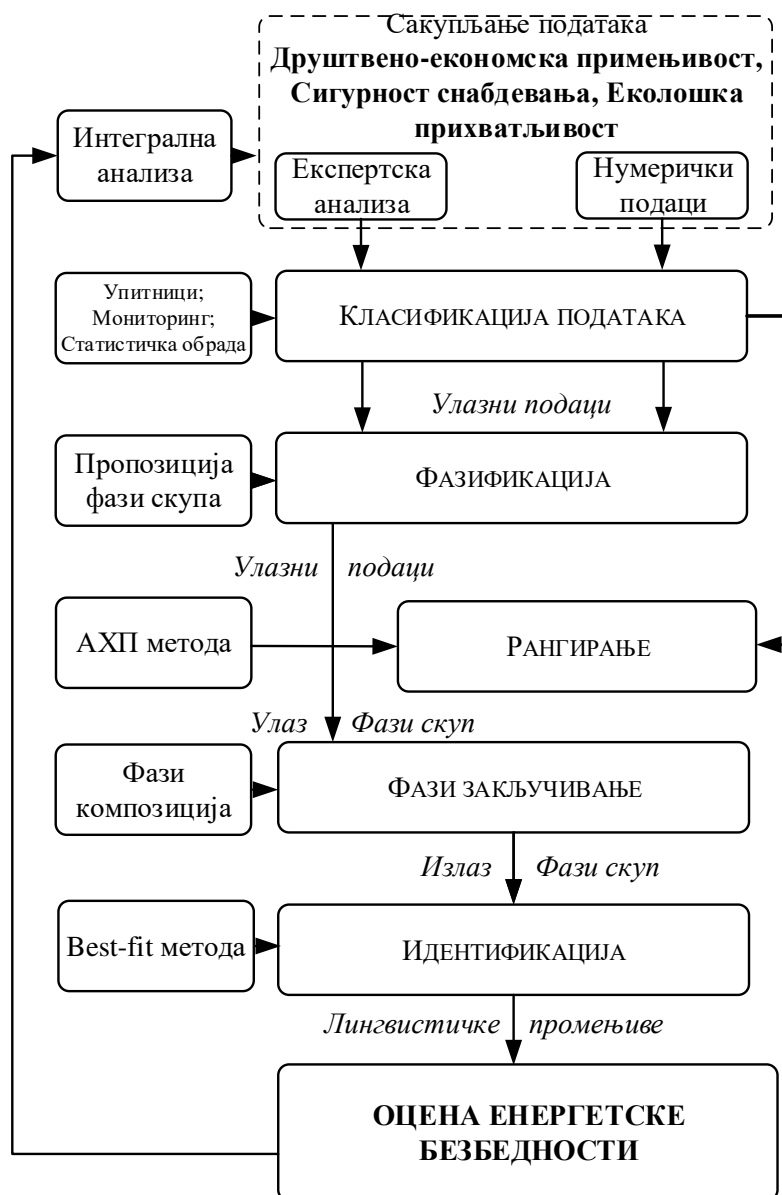
$M = EB; P_1 = D, P_2 = S, P_3 = E$.

Детаљније разрађене етапе поступка интегралне анализе оцене енергетске безбедности сценарија енергетског развоја су приказане на слици 5.1.



Слика 5.1. Алгоритам поступка методологије интегралне анализе сценарија енергетског развоја

Алгоритам поступка методологије интегралне анализе сценарија енергетског развоја показује да је оцена енергетске безбедности функција друштвено-економске примењивости, сигурности снабдевања и еколошке прихватљивости. Слика 5.2 представља шематски дијаграм фази модела за оцену енергетске безбедности сценарија енергетског развоја.



Слика 5.2 Шематски дијаграм фази модела за оцену енергетске безбедности

Током самог поступка, обавља се сакупљање података, које може бити статистичко (засновано на калкулацији, резултату софтверског модела, пројекцијама, статистичкој обради и сл.) или засновано на експертској анализи, тј. ставу и суду експерата. Након тога се подаци класификују и у адекватној форми уносе у сам модел интегралне анализе. Такви подаци се поступком фази пропозиције уносе у синтетски модел, где се даљим поступком фазификују и дефинишу као улазни подаци фази скупа. Истовремено се врши рангирање. Може се обављати већим бројем

различитих метода, а за потребе развоја овог синтезног модела коришћено је рангирање засновно на примени вишекритеријумске АХП (Analytic Hierarchy Process) методе. На тај начин рангирни подаци се користе као улазни подаци фази скупа, који се даље анализирају у поступку фази композиције. Као резултат фази композиције настаје оцена енергетске безбедности у фазификованој форми. Излазни подаци фази скупа се у том кораку идентификују. За идентификацију излазних података из фази композиције је коришћен "best-fit" метод. Употребом ове методе је изражена оцена енергетске безбедности у зависности од функције припадности и класе, тј. у зависности од лингвистичких променљивих.

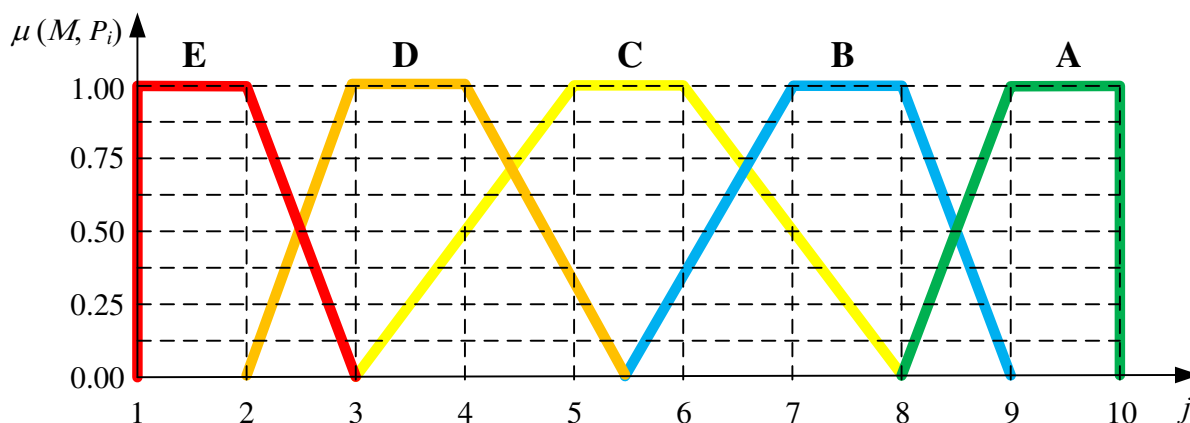
Методологија интегралне анализе енергетских сценарија се састоји од неколико основних корака у којима се реализује.

(I) Први корак у формирању синтезног модела је пропозиција парцијаланих и синтезних индикатора (P_1 , P_2 , P_3 и M). Уводе се по пет лингвистичких променљивих (linguistic variables) за сваки индикатор, које су дефинисане у координатном систему функција припадности (membership function) (μ) и класа као репрезент јединице мере индикатора (j). Лингвистичка променљива (LV) генерално је дефинисана на следећи начин:

$$LV = (\mu_{(j=1)}, \dots, \mu_{(j=10)}) \quad (5.1)$$

Лингвистичке променљиве су конкретно дефинисане на следећи начин (слика 5.3):

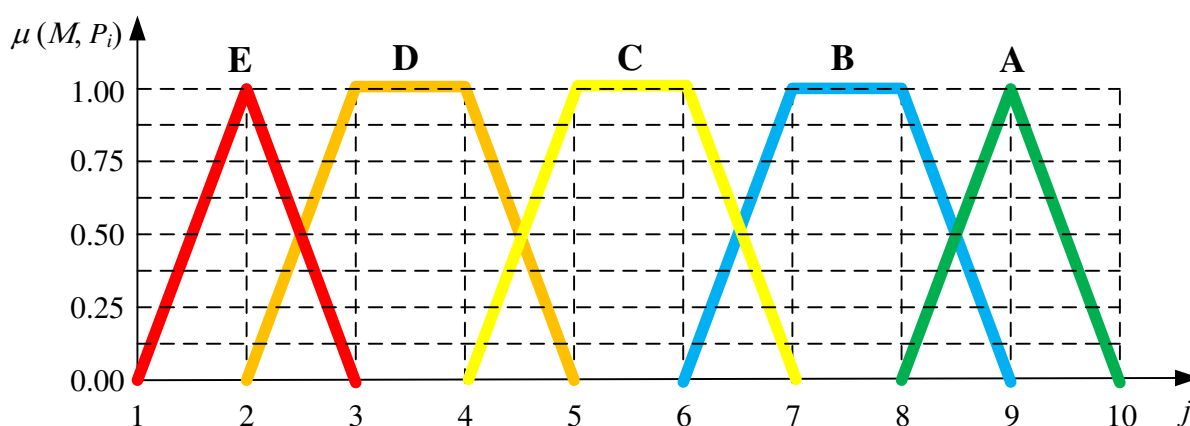
$$\begin{aligned} A &= (0_{(1)}, \dots, 0_{(8)}, 1_{(9)}, 1_{(10)}); \\ B &= (0_{(1)}, \dots, 0_{(5)}, 0.33_{(6)}, 1_{(7)}, 1_{(8)}, 0_{(9)}, 0_{(10)}); \\ C &= (0_{(1)}, 0_{(2)}, 0_{(3)}, 0.5_{(4)}, 1_{(5)}, 1_{(6)}, 0.5_{(7)}, 1_{(8)}, 0_{(9)}, 0_{(10)}); \\ D &= (0_{(1)}, 0_{(2)}, 1_{(3)}, 1_{(4)}, 0.33_{(5)}, 0_{(6)}, \dots, 0_{(10)}); \\ E &= (1_{(1)}, 1_{(2)}, 0_{(3)}, \dots, 0_{(10)}). \end{aligned} \quad (5.2)$$



Слика 5.3 Лингвистичка променљива

Употреба трапезоидног облика приликом дефинисања припадности фази скупу је изражена код лингвистичких променљивих код којих не постоји јасна и прецизна разлика у оквиру фази услова, док је функција припадности троугаоног облика уколико су у питању много прецизније лингвистичке променљиве (Ivezic, D., et al., 2008). Оваква дефинисаност лингвистичких променљивих не важи само у случају синтезног индикатора Сигурности снадбевања (S) и парцијалног индикатора Распоживост (S1). За њих је карактеристична већа сигурност одређивања прецизнијег положаја у координатном систему функција припадности. Лингвистичке променљиве у овом случају су конкретно дефинисане на следећи начин (слика 5.4):

$$\begin{aligned}
 A &= (0_{(1)}, \dots, 0_{(8)}, 1_{(9)}, 0_{(10)}); \\
 B &= (0_{(1)}, \dots, 0_{(6)}, 1_{(7)}, 1_{(8)}, 0_{(9)}, 0_{(10)}); \\
 C &= (0_{(1)}, 0_{(2)}, 0_{(3)}, 0_{(4)}, 1_{(5)}, 1_{(6)}, 0_{(7)}, 1_{(8)}, 0_{(9)}, 0_{(10)}); \\
 D &= (0_{(1)}, 0_{(2)}, 1_{(3)}, 1_{(4)}, 0_{(5)}, \dots, 0_{(10)}); \\
 E &= (0_{(1)}, 1_{(2)}, 0_{(3)}, \dots, 0_{(10)}).
 \end{aligned}
 \tag{5.3}$$



Слика 5.4 Лингвистичка променљива за индикатор Сигурности снабдевања (S) и парцијални индикатор Распоживост (S1)

(II) Други корак у формирању синтезног модела је фазификација улазних података.

(IIa) У случају експертских процена формирају се упитници у којима су понуђени одговори одговарајуће лингвистичке променљиве са датим описима. Улога упитника је да скуп изјава, мишљења и ставова више учесника компетентних да пружи одговоре на конкретно постављена питања, сублимира на једном месту и омогући резултате који се могу анализирати.

За потребе анализе парцијалних индикатора административне примењивости (D1) и индиректног еколошког ефекта (E3) су припремљени упитници којима се спроводи експертска процена. Интервјуисано је п анализачара чија је област пословног интересовања уско везана за енергетски сектор Републике Србије. Упитник у себи садржи могућност избора једне од више лингвистичких вредности одређене лингвистичке променљиве уз детаљан опис значења сваке. На овај начин, анализачари су у могућности да изразе своје мишљење о припадности посматраног парцијалног индикатора некој специфичној променљивој (једној у потпуности или више њих у одређеном уделу). Збир оцена за поменути индикатор мора бити 1 или 100%.

Упитник је сачињен тако да је уз њега приложен и конкретан опис оцене, тј. лингвистичке промењиве којом је описан одређени став. То је уједно и препорука за начин попуњавања самог упитника. Резултати упитника настају обрадом сакупљених података класичним математичким методама закона статистике.

Пример:

У табели 5.1 се налази општи пример сакупљених података експертске анализе и њихова обрада. Нека је n аналитичара разматрало парцијалне индикаторе Административне примењивости (D1) и Индиректног еколошког ефекта (E3) за одређени сценарио енергетског развоја. На основу карактеристика одређеног енергетског сектора који се посматра кроз сценарио развоја и развојних праваца карактеристичних за поменути сценарио, аналитичари су доделили оцене припадности лингвистичких промењивих парцијалним индикаторима. Избором једне или више вредности лингвистичке промењиве и доделом оцене припадности аналитичари су изrekli свој професионални став о посматраном сценарију.

Табела 5.1. Општи пример експертске анализе парцијалних индикатора помоћу упитника

Парцијални индикатор (P_i)	<i>Административна примењивост (D1)</i>					<i>Индиректни еколошки ефекат (E3)</i>				
	<i>E</i>	<i>D</i>	<i>C</i>	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>E</i>	<i>D</i>	<i>C</i>	<i>B</i>	<i>A</i>
Вредности LV										
Аналитичар 1	0.2	0.8						1		
Аналитичар 2	0.1	0.5	0.4				0,5	0,3	0,2	
Аналитичар n	1							0,5	0,4	0,1

	<i>E</i>	<i>D</i>	<i>C</i>	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>E</i>	<i>D</i>	<i>C</i>	<i>B</i>	<i>A</i>
Резултати експертске анализе	$(0,2+0,1+\dots+1)/n$	$(0,8+0,5+\dots+0)/n$	$(0+0,4+\dots+0)/n$	0	0	0	$(0+0,5+\dots+0)/n$	$(0+0,3+\dots+0,5)/n$	$(0+0,2+\dots+0,4)/n$	$(0+0+\dots+0,1)/n$
Ако је n=3	0.43	0.43	0.13	0	0	0	0.17	0.27	0.2	0.03

На основу примера анализе приказане у Табели 5.1 може се закључити да је у општој анализи парцијалних индикатора учествовало 3 аналитичара (n=3). Аналитичар број 1 је парцијалном индикатору D1 доделио вредност лингвистичке промењиве E у уделу 0,2 и вредност лингвистичке промењиве D у уделу 0,8. Аналитичар број 2 је парцијални индикатор D1 описао са 10% вредности лингвистичке промењиве E, 50% вредности лингвистичке промењиве D и 40% вредности лингвистичке промењиве C. Аналитичар n, а у овом случају трећи по реду, је парцијални индикатор D1 оценио са 100% вредности лингвистичке промењиве E. На основу ових експертских ставова, може се анализирати парцијални индикатор D1 и то на следећи начин:

- Парцијални индикатор D1 одређеног сценарија енергетског развоја је процељен као E од стране свих 3 аналитичара (у одговарајућем уделу): $(0,2+0,1+1)/3=0,433$
Може се приметити да је аналитичар 3 проценио да парцијални индикатор D1 у потпуности одговара вредности E лингвистичке промењиве;
- Парцијални индикатор D1 одређеног сценарија енергетског развоја је процељен као D од стране 2 аналитичара (у одговарајућем уделу): $(0,8+0,5+0)/3=0,433$;

- Парцијални индикатор D1 одређеног сценарија енергетског развоја је процељен као C од стране једног аналитичара (у одговарајућем уделу):
 $(0+0,4+0)/3=0,133$.

На основу овога се може добити процена за парцијални индикатор Административне примењивости (D1) у следећем облику:

$$D1 = (0.43/E; 0.43/D; 0.13/C; 0/B; 0/A) \quad (5.4)$$

Истим поступком се из Табеле 5.1 добија процена за парцијални индикатор Индиректан еколошки ефекат (E3) која изгледа:

$$E3 = (0/E; 0.17/D; 0.27/C; 0.2/B; 0.03/A) \quad (5.5)$$

Даљим поступком се процене парцијалних индикатора фазификују са циљем њиховог представљања у облику који одговара једначини 5.1. На примеру парцијалног индикатора D1, види се да је лингвистичкој промењивој E додељена вредност 0.43. Истовремено, лингвистичка промењива E је дефинисана као $E = (1/1; 2/1; 3/0; 4/0; 5/0; 6/0; 7/0; 8/0; 9/0; 10/0)$ што је приказано и на слици 5.3 и у једначини 5.2.

У овом конкретном случају, добијена је специфична вредност лингвистичке промењиве E за парцијални индикатор D1 која има следећи облик:

$$D1_{0.43/E} = [1/(1 \cdot 0.43); 2/(1 \cdot 0.43); 3/(0 \cdot 0.43); 4/(0 \cdot 0.43); 5/(0 \cdot 0.43); 6/(0 \cdot 0.43); 7/(0 \cdot 0.43); 8/(0 \cdot 0.43); 9/(0 \cdot 0.43); 10/(0 \cdot 0.43)] \quad (5.6)$$

На сличан начин су третиране и преостале 4 лингвистичке промењиве. У табели 5.2 су приказани резултати фазификације парцијалног индикатора Административна примењивост (D1) засновани на изразима 5.4 и 5.6.

Табела 5.2. Израчунавање специфичних вредности фази скупа за парцијални индикатор Административне примењивости (D1)

j LV	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
E	1·0.43	1·0.43	0·0.43	0·0.43	0·0.43	0·0.43	0·0.43	0·0.43	0·0.43	0·0.43
D	0·0.43	0·0.43	1·0.43	1·0.43	0.33·0.43	0·0.43	0·0.43	0·0.43	0·0.43	0·0.43
C	0·0.13	0·0.13	0·0.13	0.5·0.13	1·0.13	1·0.13	0.5·0.13	0·0.13	0·0.13	0·0.13
B	0·0	0·0	0·0	0·0	0·0	0.33·0	1·0	1·0	0·0	0·0
A	0·0	0·0	0·0	0·0	0·0	0·0	0·0	0·0	1·0	1·0
μ_{D1}	0.43	0.43	0.43	0.495	0.2719	0.13	0.065	0	0	0

За сваку класу као репрезента јединице мере индикатора (j) дефинисана је функција припадности што даје финални облик специфичних вредности фази скупа за парцијални индикатор Административне примењивости (D1) који је приказан у једначини:

$$\mu_{D1} = (0.43, 0.43, 0.43, 0.495, 0.2719, 0.13, 0.065, 0, 0, 0) \quad (5.7)$$

Аналогно претходном поступку се изводи и фазификација процене парцијалног индикатора Индиректан еколошки ефекат (E3) са циљем његовог представљања у облику који одговара једначини 5.1. У оквиру парцијалног индикатора E3, лингвистичкој промењивој D је додељена вредност 0.17. Истовремено, лингвистичка промењива D је дефинисана као $D = (1/0; 2/0; 3/1; 4/1; 5/0.33; 6/0; 7/0; 8/0; 9/0; 10/0)$ као што је објашњено кроз слику 5.3 и једначину 5.2.

И у овом конкретном случају, добијена је специфична вредност лингвистичке промењиве D за парцијални индикатор E3 следећег облика:

$$E_{30.17/D} = [1/(0 \cdot 0.17); 2/(0 \cdot 0.17); 3/(1 \cdot 0.17); 4/1 \cdot 0.17); 5/(0.33 \cdot 0.17); 6/(0 \cdot 0.17); 7/(0 \cdot 0.17); 8/(0 \cdot 0.17); 9/(0 \cdot 0.17); 10/(0 \cdot 0.17)] \quad (5.8)$$

Након анализе преостале 4 лингвистичке промењиве, у оквиру табеле 5.3 приказан је резултат фазификације парцијалног индикатора Индиректни еколошки ефекат (ЕЗ) засноване на изразима 5.5 и 5.8.

Табела 5.3. Израчунавање специфичних вредности фази скупа за парцијални индикатор Индиректни еколошки ефекат (ЕЗ)

j LV	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
E	1·0	1·0	0·0	0·0	0·0	0·0	0·0	0·0	0·0	0·0
D	0·0.17	0·0.17	1·0.17	1·0.17	0.33·0.17	0·0.17	0·0.17	0·0.17	0·0.17	0·0.17
C	0·0.27	0·0.27	0·0.27	0.5·0.27	1·0.27	1·0.27	0.5·0.27	0·0.27	0·0.27	0·0.27
B	0·0.2	0·0.2	0·0.2	0·0.2	0·0.2	0.33·0.2	1·0.2	1·0.2	0·0.2	0·0.2
A	0·0.03	0·0.03	0·0.03	0·0.03	0·0.03	0·0.03	0·0.03	0·0.03	1·0.03	1·0.03
μ_{D1}	0	0	0.17	0.305	0.3261	0.336	0.335	0.2	0,03	0.03

За сваку класу као репрезента јединице мере индикатора (j) дефинисана је функција припадности што даје финални облик специфичних вредности фази скупа за парцијални индикатор Индиректни еколошки ефекат (ЕЗ) који је приказан у једначини:

$$\mu_{E3} = (0, 0, 0.17, 0.305, 0.3261, 0.336, 0.335, 0.2, 0.03, 0.03) \quad (5.9)$$

(IIb) У случају нумерички улазних података, врши се мапирање величине класе j са реалним вредностима посматраног феномена. Теоретска вредност одређеног парцијалног индикатора [Економска оправданост (D2), Доступност (D3), Распољивост (S1), Диверсификација извора и праваца (S2), Развој инфраструктуре (S3), Емисија ГХГ (E1) и Емисија полутаната (E2)] може бити утврђена употребом одређених рачунских формула. Стварна вредност се може утврђивати или директним мерењем или нумеричким изражавањем специфичних услова у којима посматрамо парцијалне индикаторе. Велика одступања између ових вредности указују на проблеме

који су описани кроз парцијални индикатор за одређени сценарио. Мала одступања ће, са друге стране указати, на добре оцене парцијалног индикатора.

Функционални фази број одређеног парцијалног индикатора за посматрани сценарио се дефинише употребом просечног одступања између стварних и теоритских вредности. Вредност за класу као репрезент јединице мере индикатора (j) је дефинисана узимајући у обзир најнижу забележену девијацију ($j = 10$) и највеће забележено одступање ($j = 1$).

Пример:

На примеру парцијалног индикатора PI може се приказати начин фазификације нумеричких улазних података, тј. поступак мапирања величине класе j са реалним вредностима посматраног феномена који описује парцијални индикатор PI .

Нека је на основу Индекса I_{PI} , који даје нумеричке улазне податке за парцијални индикатор PI , пронађена максимална вредност концентрације тржишта $I_{PI}=2001$ за класу $j=10$, и минимална вредност концентрације тржишта $I_{PI}=1$ за класу $j=1$.

Преостале вредности за класе j су:

- $j=2$ $I_{PI} = PI_{min} + (PI_{max} - PI_{min})/9 = 1 + (2001 - 1)/9 = 223$
- $j=3$ $I_{PI} = PI_{j=2} + (PI_{max} - PI_{min})/9 = 223 + (2001 - 1)/9 = 445$
- $j=4$ $I_{PI} = PI_{j=3} + (PI_{max} - PI_{min})/9 = 445 + (2001 - 1)/9 = 667$
- $j=5$ $I_{PI} = PI_{j=4} + (PI_{max} - PI_{min})/9 = 667 + (2001 - 1)/9 = 889$ (5.10)
- $j=6$ $I_{PI} = PI_{j=5} + (PI_{max} - PI_{min})/9 = 889 + (2001 - 1)/9 = 1111$
- $j=7$ $I_{PI} = PI_{j=6} + (PI_{max} - PI_{min})/9 = 1111 + (2001 - 1)/9 = 1333$
- $j=8$ $I_{PI} = PI_{j=7} + (PI_{max} - PI_{min})/9 = 1333 + (2001 - 1)/9 = 1556$
- $j=9$ $I_{PI} = PI_{j=8} + (PI_{max} - PI_{min})/9 = 1333 + (2001 - 1)/9 = 1779$

На слици 5.5 је приказан процес фазификације нумеричких улазних података за парцијални индикатор (PI). Ако је за парцијални индикатор Доступност у одређеном сценарију развоја пронађена вредност $I_{PI}=850$, фазификација се обавља проналажењем пресечних тачака праве управне на задату вредност

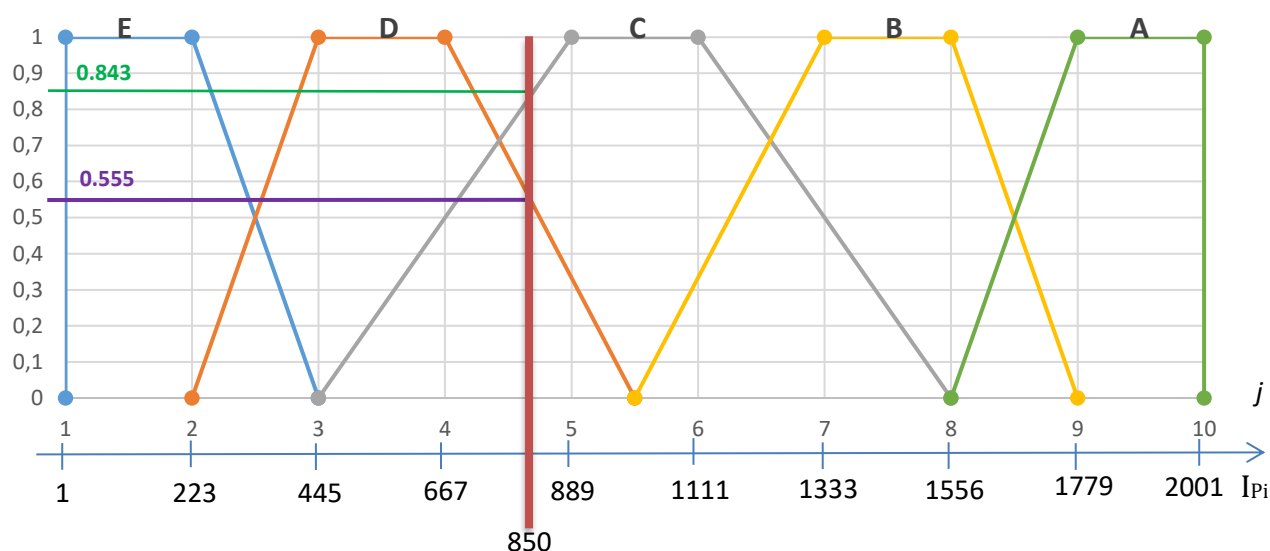
I_{P_i} и самих граница лингвистичких промењивих. Кроз места пресека се повлаче нормале на апцисну осу на којој се налази функција припадности (membership function) (μ) и читавају се вредности припадности:

$$\mu(P_i - D) = 0.555; \mu(P_i - C) = 0.843 \quad (5.11)$$

Затим се ове вредности очитане са дијаграма скалирају са циљем свођења њихових вредности на збир 1.

$$PI_D = 0.555 / (0.555 + 0.843) = 0.397 \quad (5.12)$$

$$PI_C = 0.843 / (0.555 + 0.843) = 0.603 \quad (5.13)$$



Слика 5.5. Процедура фазификације нумеричких улазних података за парцијални индикатор PI

Коначно, за парцијални индикатор (PI) фазификовани улаз у односу на дефинисне лингвистичке промењиве је дат на следећи начин:

$$PI = (0/E; 0.397/D; 0.603/C; 0/B; 0/A) \quad (5.14)$$

Даљим поступком се процене парцијалних индикатора фазификују са циљем њиховог представљања у облику који одговара једначини 5.1. На примеру парцијалног индикатора PI , види се да је лингвистичкој промењивој C додељена вредност 0.603, а лингвистичкој промењивој D вредност 0,397. Истовремено, лингвистичка промењива C и D су дефинисане као:

$$C = (1/0; 2/0; 3/0; 4/0.5; 5/1; 6/1; 7/0.5; 8/0; 9/0; 10/0) \quad (5.15)$$

$$D = (1/0; 2/0; 3/1; 4/1.5; 5/0.33; 6/0; 7/0; 8/0; 9/0; 10/0) \quad (5.16)$$

У овом конкретном случају, добијена је специфична вредност лингвистичке промењиве C за парцијални индикатор PI која има следећи облик:

$$D_{30.603/C} = [1/(0 \cdot 0.603); 2/(0 \cdot 0.603); 3/(0 \cdot 0.603); 4/(0.5 \cdot 0.603); 5/(1 \cdot 0.603); 6/(1 \cdot 0.603); 7/(0.5 \cdot 0.603); 8/(0 \cdot 0.603); 9/(0 \cdot 0.603); 10/(0 \cdot 0.603)] \quad (5.17),$$

као и специфична вредност лингвистичке промењиве D за парцијални индикатор $D3$ која има следећи облик:

$$D_{30.397/D} = [1/(0 \cdot 0.397); 2/(0 \cdot 0.397); 3/(1 \cdot 0.397); 4/1 \cdot 0.397); 5/(0.33 \cdot 0.397); 6/(0 \cdot 0.397); 7/(0 \cdot 0.397); 8/(0 \cdot 0.397); 9/(0 \cdot 0.397); 10/(0 \cdot 0.397)] \quad (5.18)$$

На сличан начин су третиране и преостале 4 лингвистичке промењиве. У табели 5.4 су приказани резултати фазификације парцијалног индикатора (PI).

Табела 5.4. Израчунавање специфичних вредности фази скупа за парцијални индикатор (PI)

$\begin{matrix} j \\ LV \end{matrix}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
E	1-0	1-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0
D	0-0.397	0-0.397	1-0.397	1-0.397	0.33-0.397	0-0.397	0-0.397	0-0.397	0-0.397	0-0.397
C	0-0.603	0-0.603	0-0.603	0.5-0.603	1-0.603	1-0.603	0.5-0.603	0-0.603	0-0.603	0-0.603
B	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0.33-0	1-0	1-0	0-0	0-0
A	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	1-0	1-0
μ_{PI}	0	0	0.397	0.3412	0.734	0.603	0.3015	0	0	0

За сваку класу као репрезента јединице мере индикатора (j) дефинисана је функција припадности што даје финални облик специфичних вредности фази скупа за парцијални индикатор (PI) који је приказан у једначини:

$$\mu_{PI} = (0, 0, 0.397, 0.3412, 0.734, 0.603, 0.3015, 0, 0, 0) \quad (5.19)$$

Аналогно овом поступку изводи се фазификовање нумеричких улазних података за све парцијалне индикаторе.

(III) У трећем кораку се ради рангирање. У литератури је присутан већи број метода рангирања. У овом раду биће коришћена метода Analytic Hierarchy Process (АХП). Ова метода карактеристична је по томе што даје могућност наглашавања утицаја одређеног парцијалног индикатора у опису синтезног индикатора и свођења субјективног утицаја аутора модела на минимум. Употреба АХП анализе у оквиру фази композиције није новина, тј. моделирање фази сетовима уз помоћ АХП – ФАХП је развијено још 1983. (*Van Laarhoven, Pedricz, 1983*).

Вишекритеријумска АХП метода користи Сатијеву скалу оцењивања значаја параметара (Табела 5.5). Процена релативних тежина се изражава:

$$a_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}, i, j=1, \dots, n \quad (5.20)$$

Табела 5.5 Сатијева АХП скала

Значај	дефиниција
1	ИСТОГ ЗНАЧАЈА
3	СЛАБА ДОМИНАНТНОСТ
5	ЈАКА ДОМИНАНТНОСТ
7	ДЕМОНСТРИРАНА ДОМИНАНТНОСТ
9	АПСОЛУТНА ДОМИНАНТНОСТ
2, 4, 6, 8	МЕЂУВРЕДНОСТИ

Матрица поређења елемената у паровима, као и матрица процене релативних тежина је приказана на слици 5.6.

Elementi ECO	GHG	POLUTANTI	INDIREKTAN EI	
GHG	1	3	5	
POLUTANTI	0,333333	1	4	
INDIREKTAN EI	0,2	0,25	1	
SUMA	1,53	4,25	10,00	
				EB
a _{ij}	GHG	POLUTANTI	INDIREKTAN EI	Suma
GHG	0,652174	0,70588235	0,5	1,858056
POLUTANTI	0,217391	0,23529412	0,4	0,852685
INDIREKTAN EI	0,130435	0,05882353	0,1	0,289258

Слика 4.6 Пример матрице поређења елемената и матрица процене релативних тежина

Након тога се врши одређивње критеријумских тежина помоћу обрасца:

$$k_i = \frac{1}{n} \cdot \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (5.21)$$

Провера степена конзистентности се изражава на следећи начин:

$$b_i = k_i \cdot \text{element parametra u okviru matrice} \quad (5.22)$$

Након тога се рачуна сопствена вредност матрице помоћу израза:

$$\lambda = \frac{k_i}{b_i} \quad (5.23)$$

Па максимална сопствена вредност матрице користећи образац:

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (5.24)$$

Као последња етапа АХП надоградње фази моделирања врши се провера конзистентности проналажењем индекса конзистентности CI,

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (5.25)$$

који се даље употребљава за дефинисање степена конзистентности CR:

$$CR = CI/RI \quad (5.26)$$

где је:

RI – емпиријски индекс резистенције вишекритеријумске АХП методе (за $n=3$, $RI=0.58$)

Поменути поступак рангирања помоћу АХП методе се понови за сваки парцијални индикатор у оквиру сваког синтезног индикатора.

(IV) Четврти корак у формирању синтезног модела је композиција парцијалних индикатора на ниво синтезног. Композиција представља завршни корак у изради методологије интегралне анализе. Приликом процене нивоа енергетске безбедности одређеног сценарија енергетског развоја, неопходно је повезати све утицаје парцијалних индикатора. Синтеза се обавља помоћу одговарајућег фази састава. У литератури се помиње више модела композиције. За феномене који у себи носе потенцијалне негативне конотације (ризик, безбедност и сл.) бољом се сматра *max-min* композиција (Zadeh, 1996). Према (Kundu, 2008), на основу математичке анализе доказано је да композиција *max-min* врши прецизније груписање резултата и израженије износи међусобно успостављање релација између резултата. Другачије речено, поменута композиција спречава непотребно расипање резултата и доприноси додатној прецизности и реалном утемељењу коначне оцене. Конкретно, за енергетску безбедност, *max-min* концепт ће дати резултате који ће бити најбољи могући међу најгорим исходима, па се на тај начин води ка релативно високој оцени кроз маргинализовање грешака у процени (Petrovic, D. et al., 2014).

У наставку ће бити приказан fuzzy *max-min* модел композиције (кораци *i* – *vii*).

$$M_i = \max\{\min(P_{1i}, P_{2i}, P_{3i})\} \quad (5.27)$$

(i) Дефинисана су три фази броја P_{1i} , P_{2i} и P_{3i} преко функције припадности μ и класе $j = 1$ до n :

$$\begin{aligned} P_{1i} &= (\mu_{P1(1)}, \dots, \mu_{P1(j)}, \dots, \mu_{P1(n)}); \\ P_{2i} &= (\mu_{P2(1)}, \dots, \mu_{P2(j)}, \dots, \mu_{P2(n)}); \end{aligned} \quad (5.28)$$

$$P_{3i} = (\mu_{P3(1)}, \dots, \mu_{P3(j)}, \dots, \mu_{P3(n)})$$

(ii) Функције припадности могу да формирају међусобом $C = n^3$ комбинација. Свака комбинација представља практично једну могућу оцену (assessment) M_i (5.27).

$$M_c = [\mu_{P1(j=1, \dots, n)}, \mu_{P2(j=1, \dots, n)}, \mu_{P3(j=1, \dots, n)}], \text{ за свако } c = 1 \text{ до } C \quad (5.29)$$

(iii) Ако се у обзир узму само вредности које задовољавају услов $\mu_{P_i(j=1, \dots, n)} \neq 0$, добијају се исходи (outcomes) o ($o = 1$ до O , где је $O \leq C$). Сваки исход има одговарајуће вредности (iv) и (v) које га даље идентификују за прорачун.

(iv) У наставку, за сваку комбинацију c која задовољава услов да је исход, рачуна се вредност J_c и заокружује на целобројну вредност (rounded as integer), на следећи начин:

$$J_c = (k_{P1i} \cdot j_{(\mu_{P1})c}) + (k_{P2i} \cdot j_{(\mu_{P2})c}) + (k_{P3i} \cdot j_{(\mu_{P3})c}) \quad (5.30)$$

где је:

- k_i утицајни фактор одговарајућег парцијалног индикатора на синтезни и који се добија на основу међусобног рангирања парцијалних индикатора (корак III), при чему је: $k_{P1i} + k_{P2i} + k_{P3i} = 1$;

- j_c класа којој припада одговарајући фази број (3) за посматрану функцију припадности и дату комбинацију c , при чему је: $j_c = 1, \dots, n$;

(v) За сваки исход тражи се минимална вредност $\mu_{P1, P2, P3}$ у вектору M_c (4), на следећи начин:

$$MN_o = \min\{\mu_{P1(j)o}, \mu_{P2(j)o}, \mu_{P3(j)o}\}, \text{ за свако } o = 1 \text{ до } O \quad (5.31)$$

(vi) Исходи се групишу према вредности J_c . Број оваквих група може бити 0 до n .

(vii) У свакој групи исхода (vi) тражи се максимална вредност MX међу идентификованим минимумима (v). Максимум који кореспондира j -тој (j^{th}) вредности, рачуна се као:

$$MX_j = \max\{MN_1, \dots, MN_o, \dots, MN_O\}_{J_c}, \text{ за свако } j = o \quad (5.32)$$

Оцена M посматраног система, коначно се добија у форми која је сагласна по свом запису са (5.1) и (5.28):

$$M = (MX_{j=1}, \dots, MX_{j=n}) = (\mu_{M(1)}, \dots, \mu_{M(j)}, \dots, \mu_{M(n)}) \quad (5.33)$$

(V) Запис (5.33) даје оцену у зависности од функције припадности и класе. Коришћењем неке од метода фазификације, односно идентификације, запис може бити изражен у зависности од лингвистичких променљивих A, B, C, D, E у складу са сликом 5.3 и изразом 5.2. Неопходно је извршити идентификацију, којом се процена енергетске безбедности (5.33) одређеног сценарија енергетског развоја мапира на фази скуп индикаторске оцене ЕБ. За потребе анализе у оквиру докторске дисертације биће коришћена „Best-fit” метода, која служи за трансформацију оцене енергетске безбедности (M) у форму која дефинише степен припадности оцене енергетске безбедности одређеном фази скупу или лингвистичкој промењивој - веома ниска, ниска, умерена, висока, изузетна ([Wang et al., 1995](#)).

$$d_i(M_i, LV_i) = \sqrt{\sum_{k=1}^{10} \mu_M^k - \alpha_{LV_i}^k}, \quad k = 1, \dots, 10; \quad (5.34)$$

где је $LV_i = \{\text{веома ниска, ниска, умерена, висока, изузетна}\}$ дефинисана помоћу израза 5.1 и 5.2.

„Best-fit” метода користи растојање d_i између оцене M енергетске безбедности посматраног система дефинисане кроз max-min композицију изразом 5.33 и лингвистичких променљивих A, B, C, D, E приказаних на слици 5.3 и дефинисаних изразом 5.2. Растојање d_i служи за приказ степена припадности оцене енергетске безбедности одређеном фази скупу. Што је вредност процене енергетске безбедности ближа лингвистичкој промењивој, растојање је мање. Поменуто растојање је једнако 0 уколико је процена енергетске безбедности иста као i -та експресија у смислу припадности фази скупу. У овом случају, есклузивност припадности не би требало даље разматрати.

Ако уведемо да је су α_1 до α_{10} реципрочне вредности релативних растојања које се рачунају као однос између кореспондирајућих вредности растојања d_i

и вредности $d_{i\min}(i=1,\dots,10)$ које је најмање међу добијеним растојањима за M . Тада се α_i може изразити као:

$$\alpha_i = \frac{1}{d_i/d_{i\min}} \quad (5.35)$$

Уколико је $d_i=0$, онда је $\alpha_i=1$, док су остале реципрочне вредности релативних растојања тада једнаке 0. У том случају α_i је нормализован:

$$\beta_i = \frac{a_i}{\sum_{n=1}^{10} a_{in}}, \quad i = 1,\dots,10; \quad \sum_{i=1}^{10} \beta_i = 1. \quad (5.36)$$

Свако β_i представља степен у којем оцена енергетске безбедности (M) припада i -тим дефинисаним изразима енергетске безбедности. Уколико M_i у потпуности припада i -том изразу, онда је $\beta_i=1$, а остали су 0. Нормализовано β_i се може посматрати као степен поузданости да M_i припада тој лингвистичкој експресији енергетске безбедности. Финални израз идентификованих перформанси енергетске безбедности је:

$$M_i = \{(\beta_{i=1}, \text{"веома ниска"}), (\beta_{i=2}, \text{"ниска"}), (\beta_{i=3}, \text{"умерена"}), (\beta_{i=4}, \text{"висока"}), (\beta_{i=5}, \text{"изузетна"})\} \quad (5.37)$$

Квантитативна оцена енергетске безбедности је предмет поступка последњег корака у оквиру којег се проналази тежиште површине као број у опсегу од 0 до 10. Тај број говори о самој енергетској безбедности, и то тако да пораст вредности тежишта представља виши ниво ЕБ. Вредност тежишта T се математички изражава као:

$$T = \Sigma(\mu_{M^1}, \dots, \mu_{M^{10}}) / \Sigma(\mu_{M^1}/1, \dots, \mu_{M^{10}}/10) \quad (5.38)$$

Након успостављања свих пет корака, може се дефинисати јасна оцена енергетске безбедности одређеног сценарија енергетског развоја. Ова процедура обезбеђује нумеричко решење изражавања квантитативне оцене енергетске безбедности, што и јесте крајњи циљ методе интегралне анализе. На тај начин се успоставља мерљивост и упоредивост појма енергетске безбедности у оквиру различитих сценарија енергетског развоја.

6 ПРИМЕНА МЕТОДОЛОГИЈЕ НА СТУДИЈИ СЛУЧАЈА – ЕВАЛУАЦИЈА СЦЕНАРИЈА РАЗВОЈА ГАСНОГ СЕКТОРА РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ

6.1 Република Србија и природни гас

Природни гас је једино фосилно гориво за које се очекује раст учешћа у енергетском миксу примарне енергије (*WEC, 2016*). То је трећи најчешћи извор енергије у свету, чија примена расте од 16% у 1974. години, на преко 21% укупне потрошње примарне енергије (TPES) у свету данас (*IEA, 2015*). Због високе топлотне моћи, а ниже емисије штетних једињења при сагоревању у односу на угаљ и нафту, природни гас има важну улогу у транзицији ка коришћењу чистије енергије.

Удео природног гаса у укупној потрошњи примарне енергије у Републици Србији износио је 13.3% у 2016. години (*Републички завод за статистику, 2017a*), док се у 2017. години тај удео смањио на 15.2% (*АЕРС, 2018*). Током 2016. године, укупне потребе за природним гасом, приближно 18% (око 400 милиона кубних метара) се задовољавају из домаће производње, док се остатак увози (*АЕРС, 2017; Министарство рударства и енергетике, 2016*), што доводи до зависности од увоза природног гаса вишег од 80% (*Завод за статистику Републике Србије, 2017b*). Слична ситуација је била и током 2017. године, када је произведено 373 милиона кубних метара гаса, што је 15% укупних потреба у тој години (*АЕРС, 2018*). Гас се увози претежно из Русије, на основу дугорочног споразума (*Министарство рударства и енергетике, 2013*). Једини транзитни правац за снабдевање природним гасом је преко суседне Мађарске прекограничним транспортним системом директно повезаним са Украјином.

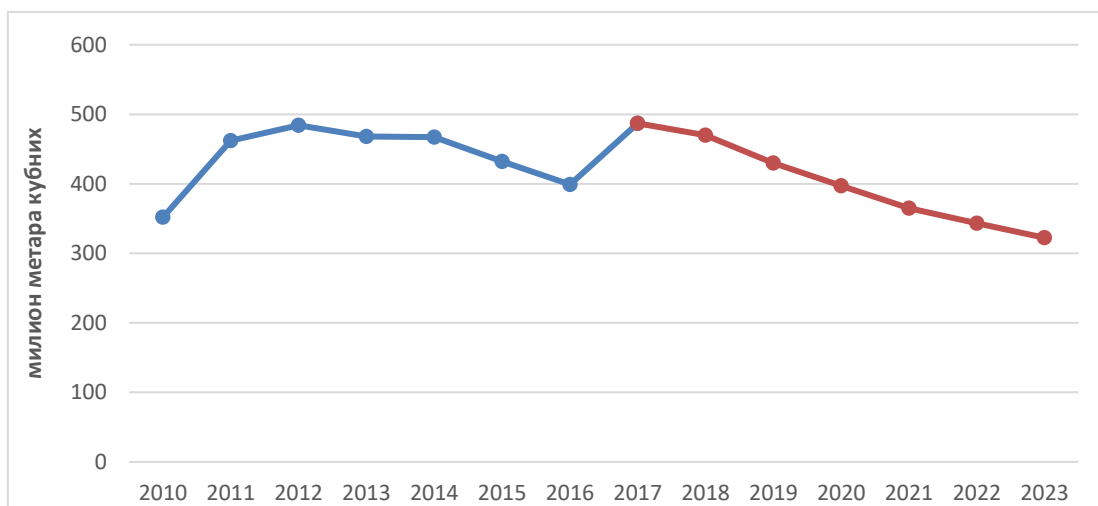
Гасна криза из 2009. године је показала рањивост снабдевања природним гасом у Србији. Дневни дефицит природног гаса у зимском периоду је тада

износио преко 75% (*Badea A.C., 2010*). Стога је обезбеђивање сигурног снабдевања природним гасом за потрошаче у Србији проблем високог приоритета. У 2011. години пуштено је у рад подземно складиште природног гаса Банатски Двор дневног капацитета од 5 милиона кубних метара (*Министарство рударства и енергетике, 2013*). Поред решавања проблема сезонских варијација у потрошњи, ПСГ пружа могућност испоруке ускладиштеног природног гаса у ванредним ситуацијама. Међутим, једна интерконекција и доминантна понуда из једног извора, чине Србију једном од најугроженијих земаља у Европи у погледу сигурности снабдевања природним гасом.

6.1.1 Преглед тренутног стања

6.1.1.1 Домаћа производња

Производња природног гаса из домаћих извора задовољава 15-20% потражње за природним гасом у Србији (*АЕРС, 2017*). Гасна налазишта у Србији налазе се у северном делу земље, у Панонском басену. Крајем 2010. године билансне резерве за Републику Србију су биле 4.23 милијарде кубних метара природног гаса. Резерве су ниског квалитета експлоатације, јер се већином налазе у касним фазама експлоатације већ постојећих лежишта (*Министарство рударства и енергетике, 2013*). Нафтна индустрија Србије - НИС-Гаспромњефт је једини произвођач у земљи (*Министарство рударства и енергетике, 2013*). Након значајног повећања домаће производње у периоду 2008-2011. година, производња се стално смањује од 2012. године (*АЕРС, 2017*). Слика 6.1 приказује историјску и очекивану производњу до 2023. године (*Министарство рударства и енергетике, 2017*).



Слика 6.1 Домаћа производња природног гаса – историјска и предвиђена (Министарство рударства и енергетике, 2017; АЕРС, 2013; АЕРС, 2014; АЕРС, 2015; АЕРС, 2016; АЕРС, 2017)

6.1.1.2 Гасна инфраструктура

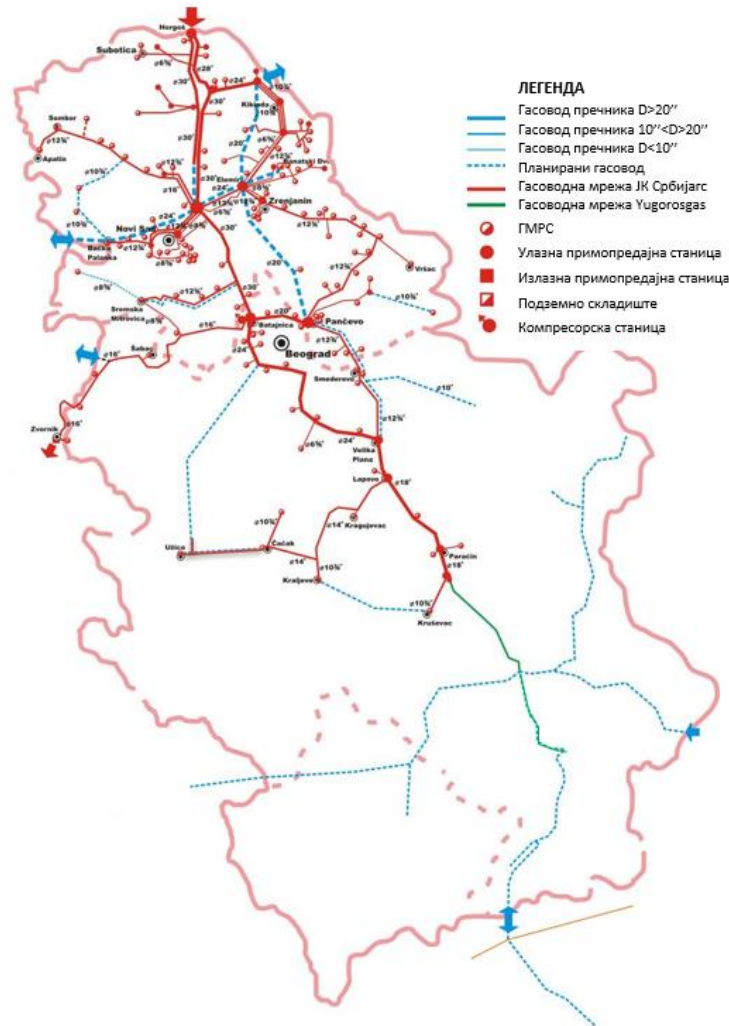
Систем транспорта природног гаса Републике Србије има један улаз из Мађарске и једним излазом ка Босни и Херцеговини (Слика 6.2) (Србијагас, 2017). Главни гасоводни систем повезује сва домаћа гасна поља са потрошачима и омогућава увоз гаса из Русије (Министарство рударства и енергетике, 2013). Главне техничке карактеристике транспортног система су приказане у оквиру Табеле 6.1.

Табела 6.1. Главне техничке карактеристике транспортног система (АЕРС, 2018)

Технички подаци	Капацитет (милиона м ³ дневно)	Дужина (km)	Компресорске станице (MW)	Број улаза у систем	Број излаза из система
ЈК Србијагас	18	2334	4.4	13	243
Yugorosgaz	2.2	125	-	1	5

Постоје два оператора транспортног система, ЈК Србијагас и Yugorosgaz-транспорт д.о.о.. ЈК Србијагас је задужен за 95% транспортне мреже (АЕРС, 2018). Дневни капацитет интерконекције је 11 милиона кубних метара са стопом искоришћења интерконектора од 90%. Постоји могућност додатних 2

милиона кубних метара дневно за транзит у Босну и Херцеговину (*Ivezic, D. et al., 2012*).



Слика 6.2 Транспортни систем природног гаса у Републици Србији (*ЈП Србијагас, 2017*)

Подземно складиште гаса Банатски Двор је веома значајно за обезбеђивање сигурног снабдевања природним гасом у Србији. Лоцирано је у простор исцрпљеног гасног лежишта чији је капацитет био 3,3 милијарде кубних метара природног гаса. Укупна површина складишта је око 54 квадратна километра. Радна запремина складишта је 450 милиона кубних метара природног гаса, а максимална остварена производња је износила 4.95 милиона кубних метара дневно током 2016. године (номинална производња ПСГ-а је 5 милиона кубних метара дневно) (*АЕРС, 2017*).

Складиште Банатски Двор је пуштено у рад током новембра 2011. године. Пуштањем у рад подземног складишта Банатски Двор достигнута је већа поузданост снабдевања природним гасом у Србији и ублажен проблем неједначене потрошње (однос зимске и летње потрошње од 4: 1) (*Iveyic, D. et al., 2016*). Двосмерним гасоводом Госпођинци - Банатски Двор је омогућено несметано и потпуно повезивање подземног складишта гаса са транспортним системом ЈП Србијагас. Основни подаци о овом гасоводу су (*АЕРС, 2018*):

- дужина 42,5 km,
- називни пречник DN 500,
- максимални радни притисак: $p_{\max}=75 \text{ bar}$,
- максимални проток гаса:
 - при повлачењу из ПСГ Б. Двор $Q=415.000 \text{ m}^3/\text{h}$ (10 милиона $\text{m}^3/\text{дан}$) и
 - при утискивању у ПСГ Б. Двор $Q=230.000 \text{ m}^3/\text{h}$ (5,5 милиона $\text{m}^3/\text{дан}$).

Током 2017. године, максимални технички капацитет утискивања је био 2,7 милиона кубних метара дневно, а максимални технички капацитет истискивања из складишта је био 5,2 милиона кубних метара дневно (*АЕРС, 2018*). Максималне дневне утиснуте количине су у 2017. години биле 2,4 милиона кубних метара дневно, а максималне дневне повучене количине су износиле 5,1 милиона кубних метара. Количина јастучног гаса у складишту се током 2017. године није мењала и износила је 530 милиона кубних метара (*АЕРС, 2018*).

На основу енергетског биланса природног гаса се може видети начин пословања ПСГ Банатски Двор. У табели 6.2 се може видети разлика између количине гаса која је повучена из складишта и која је утиснута у њега.

Табела 6.2 ПСГ Банатски двор (*АЕРС, 2018*)

ПСГ 10^6 m^3	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Утиснуто	389	342	284	228	197	240
Повучено	161	268	353	113	254	227

Сопствена потрошња	-	7	5	3	3	3
Предато у транспортни систем	-	266	352	113	254	227
Јастучни гас (на крају године)	353	530	530	530	530	530
Количина комерцијалног гаса (на крају године)	328	402	333	448	391	404
Максимално утиснуто/дан	2.48	2.5	2.7	2.4	2.6	2.4
Максимално повучено/дан	3.94	4.2	4.2	2.8	4.95	5.1 ³

Током 2017. године, у складиште је предато више природног гаса него што је повучено из складишта. На почетку 2017. године је било 391 милиона кубних метара комерцијалног гаса. Из транспортног система у складиште је предато 243 милиона кубних метара, од тога је 3 милиона кубних метара потрошено на сопствену потрошњу складишта, а преосталих 240 милиона кубних метара гаса је утиснуто за комерцијалне потребе. Корисници су из складишта повукли 227 милиона кубних метара, колико је и предато у транспортни систем. На крају 2017. године, у складишту је било 404 милиона кубних метара комерцијалног гаса ([АЕРС, 2018](#)).

Око 70% становника Србије живи у подручјима у непосредној близини дистрибутивне мреже ([АЕРС, 2018](#)). Дакле, постоје технички предуслови за коришћење гаса у већини делова земље, као и потенцијал за даљи развој дистрибутивних система и повећање потрошње природног гаса у домаћинствима у будућности. Тренутно, укупно око 10% домаћинстава у Србији користи природни гас ([АЕРС, 2018](#)). До краја 2017. године регистрована су 270.626 прикључка, са тенденцијом повећања. Годишња стопа пораста броја корисника је између 1,2 и 2% постојећих, што је између

³ Технички капацитет складишта одређен је на 20°C и притиску од 1,01325 bar, а вредности максимално повучених и утиснутих количина одређене су при температури од 15°C и притиску од 1,01325 bar, сведено на топлотну вредност $Q_n = 33.338,35 \text{ kJ/m}^3$

3500 и 5000 нових прикључака годишње. За 2017. годину број активних прикључака је увећан за 3520, што је око 1,32%. Већина корисника (95,2%) повезаних на дистрибутивни систем су из сектора домаћинства (Табела 6.3).

Табела 6.3. Број корисничких прикључака по секторима (*АЕРС, 2013; АЕРС, 2014; АЕРС, 2015; АЕРС, 2016; АЕРС, 2017; АЕРС, 2018*)

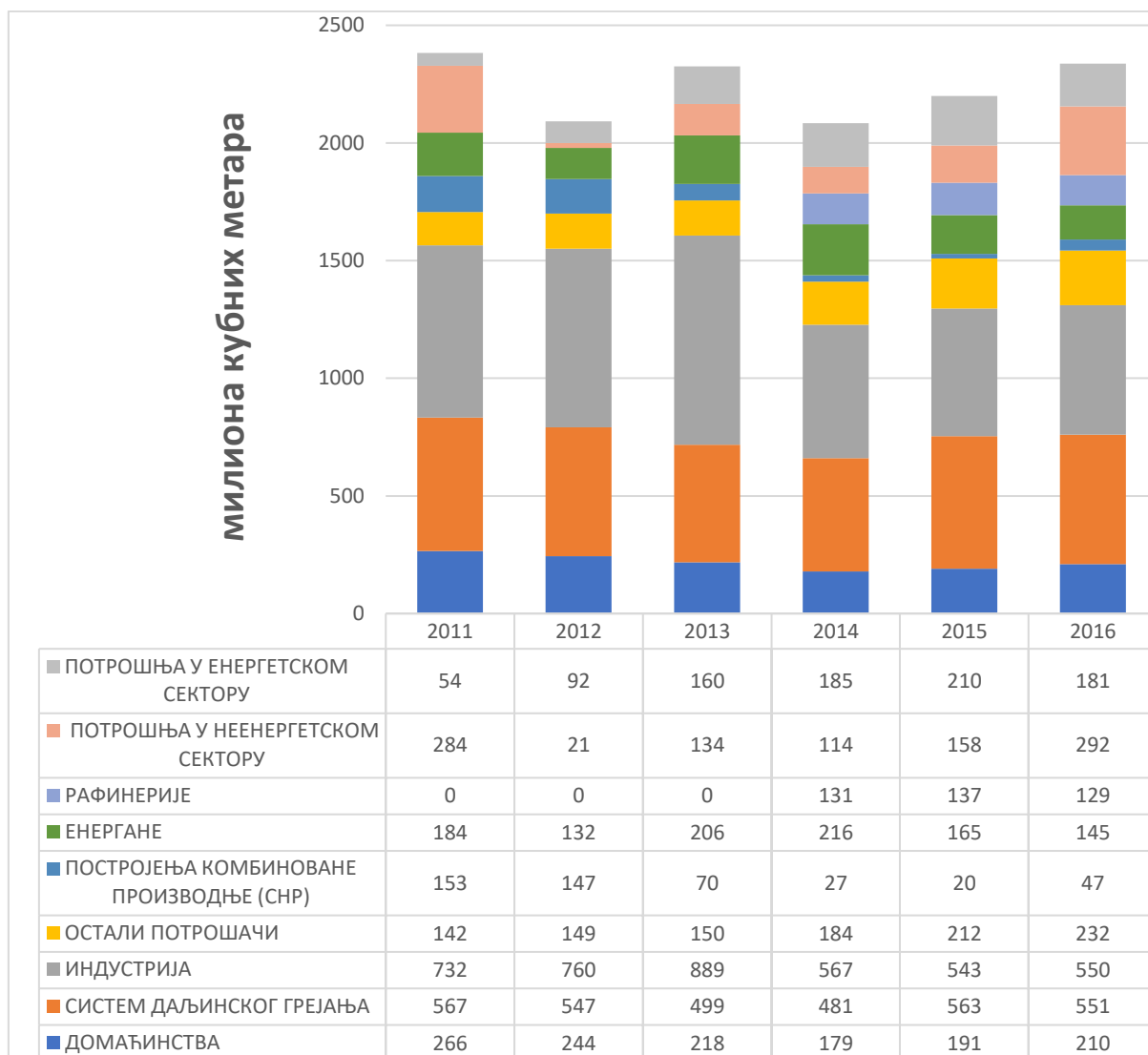
Година	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Домаћинства	247387	249006	248975	249803	254227	257476
Топлане	68	73	69	75	122	131
Индустрија и остали	11516	11936	12219	12494	12809	13082
Укупан број прикључака	258971	261015	261263	262591	267158	270689

6.1.1.3 Потражња

Према енергетском балансу Републике Србије (*Републички завод за статистику, 2017б*) потрошња природног гаса у 2016. години је 2251 милиона кубних метара. У 2017. години је укупно из увоза, домаће производње и подземног складишта, за потрошњу било расположиво 2.787 милиона кубних метара, а потрошено је 2.507 милион кубних метара природног гаса. Домаћом производњом од 377 милиона кубних метара је у 2017. години могло да се задовољи само 15% потреба (*АЕРС, 2018*). У оквиру Табеле 6.4 је представљена шема понуде и потражње за природним гасом у Србији у последњих седам година. Потрошња је приказана на Слици 6.3.

Табела 6.4. Извори снабдевања и потрошња природног гаса (*Републички завод за статистику, 2012; Републички завод за статистику, 2013; Републички завод за статистику, 2014; Републички завод за статистику, 2015; Републички завод за статистику, 2016; Републички завод за статистику, 2017а; АЕРС, 2013; АЕРС, 2014; АЕРС, 2015; АЕРС, 2016; АЕРС, 2017; АЕРС, 2018*)

Година	2011 (10 ⁶ m ³)	2012 (10 ⁶ m ³)	2013 (10 ⁶ m ³)	2014 (10 ⁶ m ³)	2015 (10 ⁶ m ³)	2016 (10 ⁶ m ³)	2017 (10 ⁶ m ³)
Производња	462	484	468	467	432	399	377
Увоз	1675	1398	1884	1393	1740	1807	2183
УКУПНО РАСПОЛОЖИВО	2137	1882	2352	1860	2172	2448	2787
Подземно складиште гаса	206	161	113	306	113	242	227
Сопствене потребе	18	23	-	-	-	-	-
Утиснуто у ПСГ	-	-	251	164	228	197	240
БРУТО ПОТРОШЊА	2343	2020	2214	2002	2057	2251	2547
Губици транспортног система	2	2	6	7	8	11	25
Губици дистрибутивног система	21	19	16	14	8	14	15
УКУПНА ПОТРОШЊА	2302	1999	2192	1981	2041	2226	2507



Слика 6.3 Структура потрошње природног гаса (*Републички завод за статистику, 2012; Републички завод за статистику, 2013; Републички завод за статистику, 2014; Републички завод за статистику, 2015; Републички завод за статистику, 2016; Републички завод за статистику, 2017а; АЕРС, 2013; АЕРС, 2014; АЕРС, 2015; АЕРС, 2016; АЕРС, 2017, АЕРС, 2018*)

Очигледно је да је индустријски сектор значајан потрошач природног гаса у Србији. Удео природног гаса у миксу горива у индустријском сектору износи 21% (*Републички завод за статистику, 2017б*), док се значајна додатна количина природног гаса користи у хемијској и петрохемијској индустрији у неенергетске сврхе, тј. као производна сировина.

Системи даљинског грејања троше око 25% природног гаса у Србији. У односу на друга употребљивана горива у системима даљинског грејања, природни гас доминира са више од три четвртине удела (*Министарство рударства и енергетике, 2016*). Највећи системи даљинског грејања у земљи, у најнасељенијим градовима (Београд, Нови Сад, Ниш) скоро потпуно зависе од природног гаса, док повезана домаћинства (доминантно стамбене зграде за вишепородично становање), јавни и комерцијални сектор немају одрживе алтернативе за снабдевање топлотном енергијом.

За разлику од система даљинског грејања, домаћинства (породичне куће) обично су у могућности да се пребаце на алтернативни извор енергије (огревно дрво, ТНГ, топлотне пумпе, струја итд.). Због тога је потрошња у овом сектору имала значајне варијације у претходним годинама, што указује на зависност од цене природног гаса.

Увозна зависност природног гаса у Србији у 2016. години износила је 82%, а у 2017. чак 85% (*АЕРС, 2017; АЕРС, 2018*). Анализа потрошње и могућност ублажавања недостатака гаса јасно указују да би било какав прекид снабдевања, нарочито зими, имао значајне последице за српску економију и друштво.

6.1.2 Енергетска политика у сектору природног гаса

Правац развоја српске енергетске политике углавном одређује чланство у Енергетској заједници и процес приступања Европској унији. Уговор о заједници био је први уговор између Републике Србије и Европске уније, којим се Република Србија обавезала на спровођење прописа ЕУ о енергетици, животној средини, конкуренцији и обновљивим изворима енергије, као и о усклађивању са одређеним општим европским стандардима који се односе на техничке системе, као што су, на пример, прекогранични транспорт или прикључне интерконеције (*EUR-Lex, 2017*).

Закон о енергетици, који је усвојен 2014. године, углавном је пренесен Трећи енергетски пакет ЕУ. Сектор гаса је регулисан овим законом и секундарним законодавним актима које је усвојио национални регулаторни орган.

Међутим, неколико значајних секундарних аката још увек није ажурирано у складу са Законом. Штавише, јаз између преношења закона и њихове примене у сектору природног гаса сваке године се шири (*Energy community, 2017a*). Према Секретаријату Енергетске заједнице (*Energy community, 2017b*), стопа имплементације ЕУ стандарда у српском гасном сектору износи око 45%.

Нека додатна критична питања везана за политику природног гаса у Србији препозната од стране Енергетске заједнице укључују следеће (*Thomson P. and Derrick J., 2018*):

- недостатак функционалног раздвајања ЈК Србијагаса (државног предузећа) и Југоросгаза (власништво чине Газпром - 50%, ЈК Србијагас - 25% и Central ME Energy and Gas Vienna - 25% (*AEPC, 2016*). Посебно у случају Србијагаса, опструкција раздвајања и стварање простора за нове учеснике може се објаснити висококонтрисаним уделом Србијагаса на тржишту,
- потенцијално ограничавање конкуренције у сектору природног гаса, због такозваних "клаузула о дестинацији" у међународном споразуму закљученом између Србије и Руске Федерације, што доводи до ограничења трговине гасом и
- неодговарајућа регулација приступа подземном складишту Банатски двор (које је у власништву Газпром Немачка - 51% и ЈП Србијагас - 49% (*AEPC, 2016*).

Очекиване активности у правцу приближавања ЕУ и потпуној примени Закона о енергетици у Србији су усвајање предвиђених подзаконских аката, усклађивање прописа и реорганизација система транспорта/складиштења/дистрибуције, што подразумева промене на нивоу Србијагаса, тј. оснивање зависног друштва за обављање делатности дистрибуције природног гаса - Дистрибуцијагас Србија д.о.о. Нови Сад (*AEPC, 2016*).

Још један важан утицајни фактор који регулише српску политику у сектору природног гаса је енергетска сарадња Србије са Руском Федерацијом. Већину

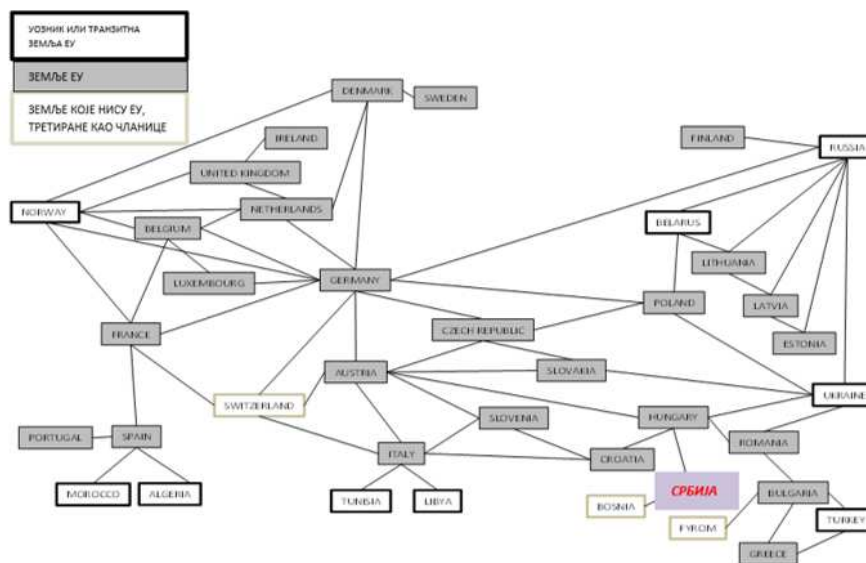
потражње за природним гасом обезбеђује увоз из Руске Федерације на основу дугорочног уговора. Овај уговор предвиђа да Југоросгас купује природни гас од Газпром Москва за купце у Србији (*АЕРС, 2017*). Поред тога, Југоросгас Транспорт (основан од стране Југоросгас АД) је један од оператора транспортних система, док је Газпром Немачка власник 51% акција у ПСГ Банатски Двор. Овај удео је дефинисан у Споразуму Републике Србије и Владе Руске Федерације о сарадњи у области нафте и гаса, закљученог у јануару 2008. године (*Република Србија, 2008*). Важно је приметити да је истим споразумом регулисано власништво руске компаније "Газпром Њефт" у Нафтној индустрији Србије (НИС). НИС је компанија која се бави истраживањем, производњом, прерадом и продајом нафте, нафтних деривата и природног гаса, а у Србији има доминантну улогу на тржишту нафте и нафтних деривата.

Дакле, значајно власништво руских компанија и последично руски утицај у сектору природног гаса може се првенствено објаснити недостатком домаћих ресурса за улагања у гасну инфраструктуру (за развој транспортне/дистрибутивне мреже и изградњу нових и проширења постојећих подземних складишта), као и значајним очекивањима економске користи од пројекта Јужни ток (*Brkic, D., 2009*). Међутим, чак и након суспензије пројекта Јужни ток 2014. године услед непоштовања законодавства ЕУ, присуство Русије у српском гасном сектору се генерално не сматра ризиком или као претњом, као што је то случај у већини земаља источне и централне Европе (*Lisiakiewicz R., 2018; Bouwmeester M.C. and Oosterhaven J., 2017; Richter P.M. and Holz F., 2015*). Поред традиционално блиских историјских, културних и верских веза (*World Policy, 2017*), разлог за то се вероватно може пронаћи у руској подршци и у другим питањима (*D. D. Lazea, 2015; Tsereteli M., 2018; Tsygankov, A.P., 2018*).

У наредном периоду изазов српске политике у сектору гаса биће усклађивање преузетих обавеза према Енергетској заједници и одређене околности у сектору које произлазе из руско-српске енергетске сарадње.

6.2 Могући извори снабдевања природним гасом – гасни коридори и ТНГ терминали

Процена могућности српског гасног система да реагује на неочекиване прекиде снабдевања може се урадити само ако се анализира шири контекст. Информације које пружају базу за процену требају такође укључити образац понуде суседних земаља и земаља у региону, као и планове за нове гасне коридоре. Земље ЕУ усвојиле су развој двосмерних интерконекција између земаља као главно решење за осигурање сигурности снабдевања гасом. На тај начин се повећава број праваца снабдевања. Тренутна гасоводна мрежа природног гаса у Европи је приказана на слици 6.4. Нажалост, Србија се налази на крају рута снабдевања, са ограниченим могућностима снабдевања гасом, изузев једног правца из Русије преко Украјине и Мађарске.



Слика 6.4 Мрежа праваца снабдевања природним гасом у Европи (*Badea A.C., 2010*)

У случају прекида снабдевања преко Украјине, Србија би била присиљена тражити друге могуће руте снабдевања. Могуће снабдевање може бити из аустријског мега складишта гаса у Баумгартену (*Baumgarten natural gas hub, 2016*). Током тронедељне гасне кризе у 2009. години, Србија је уговорила хитан увоз од 4.7 милиона кубних метара дневно од МОЛ-а и ЕОН-а

(*Kocvacevic, A., 2009*). Остали могући путеви снабдевања могу бити из Хрватске, Румуније и Бугарске. Преко њих је могуће обезбедити природни гас из транзитних земаља, као што су Италија и Турска. Међутим, за увођење ових путева испоруке потребно је успоставити нове интерконекије.

Алтернативни путеви за снабдевање природним гасом су у великој мери зависни од међународних пројеката (планираних или у изградњи) који би требали осигурати нове руте снабдевања у југоисточној Европи.

Јужни гасни коридор један је од најсложенијих пројеката везаних за природни гас икада планираних у циљу обезбеђивања снабдевања гасом од Азербејџана до југоисточне Европе и повећања сигурности и разноврсности понуде (слика 6.5). Поменути коридор се састоји из Јужнокавказког гасовода (ЈКГ), Трансанатолског гасовода (ТАНАП) и Транс-Јадранског гасовода (ТАП) (*European Commission, 2017*). Јужнокавказки гасовод је изграђен да омогући транспорт гаса из Азербејџана у Грузију и Турску. Његов садашњи капацитет износи око 8 милијарди кубних метара годишње, са плановима за повећање количине гаса који се извози преко гасовода на преко 20 милијарди кубних метара годишње (*BP Azerbaijan, 2017*). ТАНАП је првобитно планиран да обезбеди 10 милијарди кубних метара природног гаса за Европу и 6 милијарди кубних метара за Турску годишње. Предвиђено је повећање овог гасовода у неколико фаза до 2023. године, а коначни капацитет од 31 милијарди кубних метара природног гаса годишње до 2026. године (*Trans Anatolian Pipeline, 2017*). ТАП би требало да транспортује природни гас из Грчке преко Албаније и Јадранског мора до Италије и даље у западну Европу. ТАНАП треба да буде повезан са ТАП-ом на граници између Турске и Грчке. Око 10 милијарди кубних метара природног гаса годишње биће почетни капацитет ТАП-а, уз могућност удвостручавања капацитета (*Trans Adriatic Pipeline, 2017*).



Слика 6.5 Јужни гасни коридор (ЈКГ, ТАНАП, ТАП) (*BP Azerbaijan, 2017*)

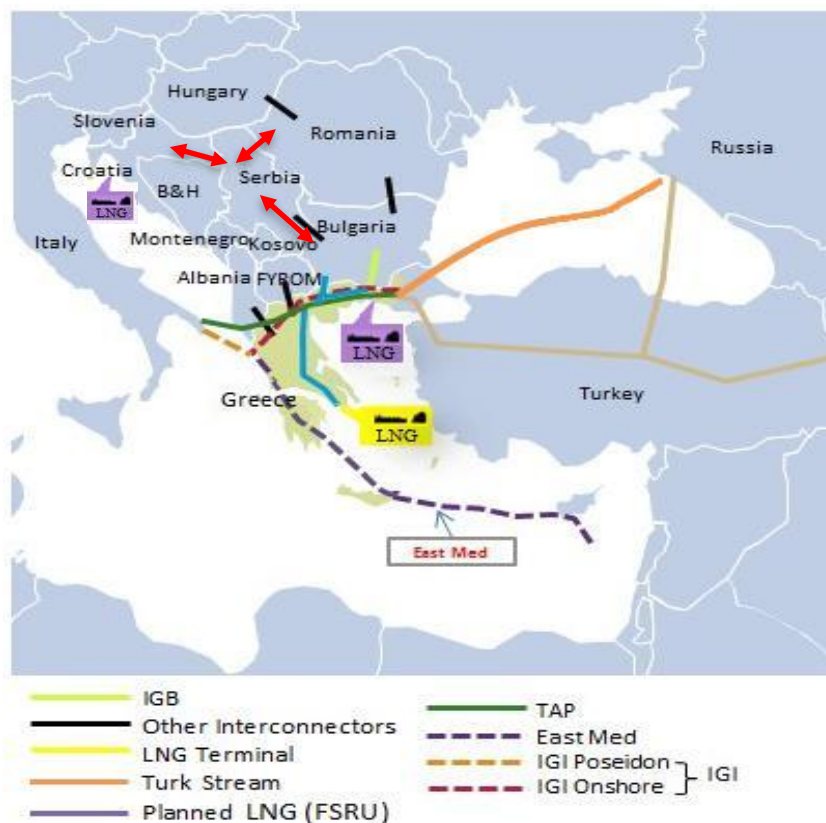
Билатерални споразум између Русије и Турске предвиђа изградњу гасовода под називом Турски ток. Након отказивања изградње Јужног тока у 2014. години коридор Турски ток постао је алтернатива. Овај коридор би испоручивао природни гас из Русије западном делу Турске и источној граници ЕУ (*Ausikac and Rzayevabde, 2017*). Планирани капацитет гасовода износи 31,5 милијарди кубних метара годишње (*Gazprom, 2016*).

Додатна диверсификација снабдевања могла би се постићи изградњом Источно-медитеранског гасовода (енг. **East Med**) капацитета 8-14 милијарди кубних метара годишње, омогућавајући транспорт из лежишта у Левантинском басену па до копнене Грчке (*DEPA, 2017*). Дизајниран је тако да има три главне секције: гасовод од налазишта до Кипра, затим гасовод од Кипра до Крита, а последњи од Крита до Јонске обале (Слика 6.6).

Тренутно, најближи терминал за течни нафтни гас у Србији је терминал Ревитхоуса у Грчкој, који се снабдева гасом из Алжира (*Amoiralis and Andriosopoulos, 2017*). Постао је оперативан 2000. године. Капацитет терминала је повећан у 2007. години на приближно 5,2-5,3 милијарди кубних метара годишње (*GIE, 2017*).

Грчка је планирала изградњу неколико нових терминала за течни нафтни гас. У Александрополису је планиран независни систем за природни гас у

форми плутајућих јединица за пријем, складиштење и поновно гасификацију ТНГ. Планирани су номинални годишњи капацитет овог терминала од око 6,1 милијарди кубних метара (GIE, 2017). Егејски терминал течног нафтног гаса ће се налазити у Кавали, са техничким капацитетом од 5 милијарди кубних метара годишње. Почетак рада оба терминала је планиран у 2019. години (GIE, 2017).



Слика 6.6 Планирани гасоводни системи и ТНГ терминали (DEPA, 2017)

До краја 2019. године је такође планирана изградња ТНГ терминала на острву Крк у Хрватској, чији је планирани капацитет 2 милијарде кубних метара годишње (INEA, 2017). Такође, постоји план за касније повећање капацитета на 3,5 милијарди у 2021. години и 5 милијарди кубних метара годишње у 2023. години (GIE, 2017, INEA, 2017).

За Србију, ови гасни коридори и терминали ТНГ били би изузетно важни за успостављање планиране интерконеције. Успостављањем интерконеције са Бугарском, Србија би отворила могућности за снабдевање гасом не само из Русије (користећи Турски ток), већ и из каспијског региона, грчких ТНГ

терминала или левантинског басена, док интерконеција са Хрватском отвара могућности за снабдевање гасом из Северне Африке и ТНГ терминала на Крку (поред додатног правца за снабдевање гасом из Баумгартена).

6.3 Сценарији развоја инфраструктуре природног гаса до 2025. године

Стратешки циљеви Србије у сектору природног гаса су остварење сигурног снабдевања природним гасом, успостављање домаћег и регионалног тржишта природног гаса, уз диверсификацију извора и праваца снабдевања природним гасом (*Министарство рударства и енергетике, 2017*). У циљу постизања ових циљева, Србија је недавно усвојила Програм за имплементацију Стратегије развоја енергетике Републике Србије, којим се утврђује листа важних инфраструктурних пројеката (Табела 6.5).

Табела 6.5 Листа најважнијих инфраструктурних пројеката у сектору природног гаса (*Министарство рударства и енергетике, 2017*)

Пројекти	Карактеристике		Инвестициони трошкови
Интерконеција са Бугарском	Главни гасовод МГ-10 Ниш (Србија)-Димитровград (граница са Бугарском)	Дужина (у Србији): 109 km Капацитет: 1.8 милијарди м ³ годишње	85.5 милиона € (<i>ЈП Србијасгас, 2016</i>)
Интерконеција са Хрватском	Главни гасовод МГ-08 Госпођинце (Футог Србија) - Сотин (граница са Хрватском)	Дужина (у Србији): 95 km Капацитет: 1.5 милијарди м ³ годишње	60 милиона € (<i>Србијасгас, 2016</i>)
Интерконеција са Румунијом	Главни гасовод МГ Мокрин (Србија) - Арад (граница са Румунијом)	Дужина (у Србији): 6 km Капацитет: 1.6 милијарди м ³ годишње	85 милиона € (<i>Market report, 2016</i>) 6 милиона € учешће Р.Србије (<i>ЈП Србијасгас, 2016</i>)

Подземно складиште гаса "Банатски Двор"	<i>Проширење капацитета подземног складишта</i>	Капацитет: 800 милиона м ³ годишње до 1 милијарде м ³ годишње	65 милиона € (<i>ЈП Србијазас, 2016</i>)
--	---	---	---

На основу листе инфраструктурних пројеката утврђених Програмом за спровођење Стратегије развоја енергетике Републике Србије и могућности инвестирања, изабрана су три карактеристична сценарија за даље разматрање (Табела 6.6).

- Песимистички сценарио развоја инфраструктуре природног гаса (ПЕС) претпоставља недостатак улагања у нове инфраструктурне пројекте и задржавање актуелног нивоа инфраструктурног развоја (*Madžarević, A., et al., 2018*);
- Референтни сценарио (БАУ или енгл. Business as Usual) предвиђа развој инфраструктуре гасног сектора у складу са кључним пројектима стратешких докумената (*Министарство рударства и енергетике, 2017, Република Србија, 2015*);
- Оптимистички сценарио развоја инфраструктуре природног гаса (ОПТ) је амбициознији и претпоставља увођење два додатна коридора снабдевања у поређењу са БАУ и изградњу великих додатних капацитета подземних складишта. Овај сценарио је у складу са циљевима Енергетске заједнице у региону Југоисточне Европе (*Energy Community, 2006*).

Табела 6.6 Сценарији развоја гасне инфраструктуре

Сценарио	Интерконекције	ПСГ	Доступне количине природног гаса и ефекти реализације
БАУ	Мађарска (постојећа) Бугарска	Капацитет ПСГ Банатски Двор се увећава на 800 милиона м ³ .	Интерконекција са Мађарском Капацитет: 11 милиона м ³ дневно (<i>Ivezic et al., 2012</i>). Интерконекција са Бугарском Капацитет: 4.93 милиона м ³ дневно (<i>Министарство грађевинарства, саобраћаја и</i>

			<p><i>инфраструктуре, 2016</i>). Могућа конекција на Турски ток (извор снабдевања Русија), као и на ТАП (извор снабдевања Azerbeјџан)</p> <p>Капацитет ПСГ: 9.96 милиона м³ дневно (<i>Министарство рударства и енергетике, 2017</i>).</p>
ПЕС	Мађарска (постојећа)	Капацитет ПСГ Банатски Двор остаје 450 милиона м ³ .	<p>Интерконекиција са Мађарском – исто као у Референтном сценарију</p> <p>Капацитет ПСГ: 4.95 милиона м³ дневно (<i>Министарство рударства и енергетике, 2017</i>).</p>
ОПТ	Мађарска (постојећа) Бугарска Хрватска Румунија	Капацитет ПСГ Банатски Двор се увећава на 800 милиона м ³ .	<p>Интерконекиција са Мађарском – исто као у Референтном сценарију</p> <p>Интерконекиција са Бугарском – исто као у Референтном сценарију</p> <p>Интерконекиција са Румунијом (произвођач гаса) Капацитет: 4.38 милиона м³ дневно (<i>Министарство рударства и енергетике, 2017</i>).</p> <p>Интерконекиција са Хрватском (снабдевање природним гасом из Алжира преко Италије) Капацитет: 4.1 милиона м³ дневно (<i>Министарство рударства и енергетике, 2017</i>).</p> <p>Ове 3 нове интерконекиције заједно пружају могућност употребе 24.41* милиона м³ дневно (порад доступности природног гаса за 122%).</p> <p>Капацитет ПСГ – Исти као за Референтни</p>

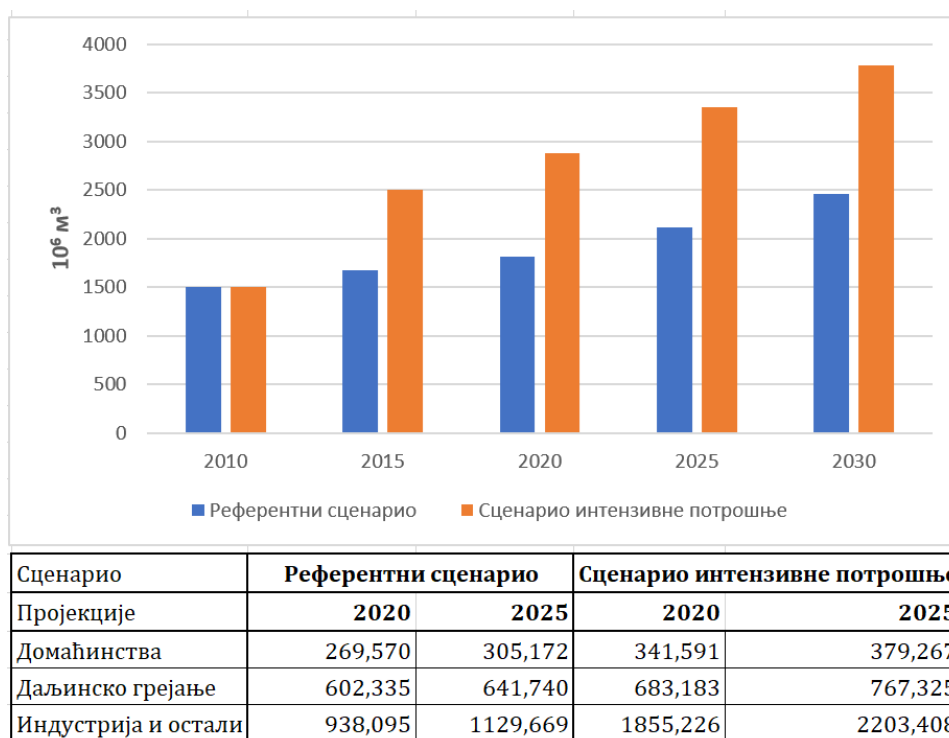
*Не укључујући количине гаса које се транспортују ка Босни и Херцеговини

6.4 Сценарији потрошње природног гаса

Везано за потрошњу гаса, могу се развити многобројне пројекције следећи различите претпоставке (на пример, реални раст БДП-а, степен примене мера енергетске ефикасности, ниво повећања употребе гаса за производњу електричне енергије итд.). За анализу у овој студији случаја идентификоване су две карактеристичне пројекције потрошње природног гаса.

Први сценарио, Референтни сценарио, развијен је након наведеног историјског пораста употребе природног гаса у домаћинствима, јавном и комерцијалном сектору, док потрошња природног гаса у индустрији, пољопривреди и транспорту прати раст БДП-а. У свим секторима предвиђена је имплементација мера енергетске ефикасности промовисаних у Акционим плановима за енергетску ефикасност (*Република Србија, 2015*).

Пројекција потрошње по секторима до 2025. године, за оба сценарија приказана је на слици 6.7.



Слика 6.7 Пројекције потражње за природним гасом (Референтни и Сценарио интензивне потрошње) (*Република Србија, 2015*)

Сценарио интензивне потрошње предвиђа већу потрошњу природног гаса у поређењу са Референтним сценаријем, и то углавном због употребе гаса за комбиновану производњу топлотне и електричне енергије, како у индустријским постројењима, тако и у новим постројењима са комбинованим циклусом која користе природни гас. Капацитети ових постројења варирају од 3MWe до 140 MWe, док су топлотна оптерећења од 40 MW до 200 MW. Она би требале играти важну улогу у будућности, при покривању дневне и сезонске недоступности постројења које производе електричну енергију из повремено доступних обновљивих извора енергије (ветар и соларна енергија) (*Ivezic, D., et al., 2016*).

6.5 Комбиновани сценарији развоја сектора природног гаса

Комбиновање сценарија инфраструктурног развоја и сценарија потрошње природног гаса резултира са шест могућих пројекција будућег развоја сектора природног гаса у Републици Србији до 2025. године (Табела 6.7).

Табела 6.7 Комбиноване пројекције будућег развоја сектора природног гаса у Републици Србији до 2025. године

<i>Комбинација сценарија</i>	<i>Сценарији инфраструктурног развоја сектора природног гаса</i>	<i>Сценарији потрошње природног гаса</i>
<i>SC1</i>	БАУ	Референтни
<i>SC2</i>	БАУ	Сценарио интензивне потрошње
<i>SC3</i>	ОПТ	Референтни
<i>SC4</i>	ОПТ	Сценарио интензивне потрошње
<i>SC5</i>	ПЕС	Референтни
<i>SC6</i>	ПЕС	Сценарио интензивне потрошње

Комбинације сценарија су креиране са циљем дефинисања енергетске безбедности у случају њихове реализације узимајући у обзир различите опције снабдевања, као и различите нивое потреба за природним гасом.

6.6 Модел интегралне анализе сценарија развоја сектора природног гаса

6.6.1 Анализа парцијалних индикатора

Специфичност анализе парцијалних индикатор је везана и за сектор који се посматра, тј. карактеристике самог енергента и атрибуте његове употребе за специфичну пројекцију развоја. Сектору природног гаса у Републици Србији је посвећено значајно место кроз стратешка документа (*Министарство рударства и енергетике, 2017, Република Србија, 2015*). Ово превасходно проистиче из особености природног гаса као енергента са значајним еколошким предностима у односу на друга фосилна горива. Истовремено, резерве овога енергента у Србији су скромне, па се као доминантна специфичност читавог сектора намеће велика увозна зависност, која доприноси и важности улоге природног гаса у процени енергетске безбедности (*Madžarević, A., et al., 2018*).

У табели 6.8 је приказан опис и начин одређивања улазних података за парцијалне индикаторе, који учествују у синтезном поступку коришћењем *max-min* фази композиције са ранжираним исходом са циљем синтезе индикатора енергетске безбедности сектора природног гаса за различите комбиноване пројекције развоја гасне инфраструктуре и потрошње природног гаса до 2025. године.

Табела 6.8. Анализа парцијалних индикатора

Синтезни индикатори	Pi	Опис	Фазификација улазних података
ДРУШТВЕНО-ЕКОНОМСКА ПРИМЕЊИВОСТ	АДМИНИСТРАТИВНА ПРИМЕЊИВОСТ	<p>Спремност и оперативност људског ресурса да креира, подржи, унапреди и обезбеди извођење одређених операција које ће омогућити реализацију енергетског сценарија. Недостатак адекватног особља може бити препрека спровођењу мера које предвиђају одређени сценарије енергетског развоја. Административна применљивост се дефинише као скуп свих акција које спроводе запослени у надлежним институцијама у циљу примена мера које се тичу неког енергетског сценарија (<i>OECD, 2003</i>). Обухвата координацију више различитих сектора, као и различитих нивоа управљања и одлучивања у оквиру више институција, доделити обавезе одређеним јавним субјектима, благовремено и адекватно укључивање свих релевантних чинилаца и сл. Заснована је на уиграном и професионалном особљу, поседовању неопходних техничких помагала и транспарентношћу резултата обављеног посла (<i>Konidari and Mavrakis, 2007</i>). Административна надлежност за сектор природног гаса је везана за Министарство рударства и енергетике. У оквиру Министарства се налази Департман за нафту и гас који броји 16 запослених. Два запослена су директно задужена за израду прописа којим ће се сектор прилагодити адекватним Директивама из законодавства ЕУ. Ови службеници су такође запослени на усклађивању прописа везаних за опрему под притиском и цевоводе, као и прописе који се односе на уређаје који користе природни гас, али и друге техничке прописе у области природног гаса и опреме под притиском. Постоји 7 запослених службеника који су задужени за инспекцијски надзор уређаја за гас и пратеће опрема под притиском. Поред Министарства рударства и енергетике, административним аспектом сектора природног гаса се активно баве и три службеника Агенције за енергетику Републике Србије (<i>Канцеларија за европске интеграције, 2014</i>).</p>	Експертска анализа - упитници

СИГУРНОСТ СНАБДЕВАЊА	РАСПОЛОЖИВОСТ	<p>Ниво сигурности снабдевања природним гасом са аспекта расположивости енергије у смислу спремности оперативног система производње, транспорта и дистрибуције природног гаса да одговори на захтеве потрошње у екстремним ситуацијама.</p>	<p>Индекс расположивости система N-1, укључује технички капацитет гасовода, домаћу производњу, могућности складиштења и испорука са ТНГ терминала</p>
	ДОСТУПНОСТ	<p>Степен либерализације тржишта природног гаса, кроз праћење количине природног гаса који се продаје на слободном тржишту у односу на укупну потрошњу природног гаса. Број ентитета који учествује у реализацији купопродаје на тржишту је веома важан.</p>	<p>Парцијални индикатор доступност нумерички се квантификује употребом Herfindahl-Hirschman индекса (HHI) који указује на ниво концентрације слободног тржишта. HH индекс се рачуна као збир квадрата проценуалног учешћа (p_i) појединих компанија на тржишту: $HHI = \sum_{i=1}^n p_i^2$</p>
	ЕКОНОМСКА ОПРАВДАНОСТ	<p>Парцијални индикатор Економска оправданост сагледава генерисање пораста економског развоја и увећање БДП-а. Економски развој подиже ниво енергетске безбедности, јер енергетски субјект који се економски развија има веће могућности куповине енергије, а самим тим и лакше стварање нових вредности. Економска оправданост се у анализи превасходно посматра са становишта енергетске компаније, инвеститора или државе. Економска оправданост се може сагледавати и као мера енергетске ефикасности кроз повећање потрошње природног гаса.</p>	<p>Индекс ЕО - однос степена коришћења нових капацитета, тј. употребе количине енергента и уложеног новца</p> $IEO = \frac{Uпотреба\ новог\ капацитета\ (t, m3\ i\ sl.)}{INVESTICIЈА\ (\$/E)}$

	ДИВЕРСИФИКАЦИЈА ИЗВОРА И ПРАВАЦА	Диверсификација извора и праваца је индикатор који указује на број извора природног гаса и различите правце кроз које природни гас може ући у земљу. Превасходно посматра капацитете природног гаса расположиве за снабдевање. Овај индикатор тесно прати реализовање пројеката нових интерконекција, смањење транзитних трошкова, отварање нових праваца и извора снабдевања природним гасом, односно укључивања складишта природног гаса у регионално тржиште, али и повећања броја учесника на тржишту природног гаса.	IDUPS - Индекс диверсификације увозних праваца снабдевања $IDUPS = \sum_i^{granca} (\sum_k^{TI} \%T_{k,granca} X_k)^2 + \sum_m (\%LNG\ terminal)^2$
	РАЗВОЈ ГАСНЕ ИНФРАСТРУКТУРЕ	Одражава степен гасификације Републике Србије. Овај критеријум показује стварање или стагнацију инфраструктурних предуслова (транспортних система) за коришћење природног гаса у деловима земље у којима то тренутно није могуће, као и изградњу нових и развој постојеће дистрибутивне мреже природног гаса, што омогућава интензивирање употребе и развој домаћег тржишта природног гаса.	SRIP - Степен реализације планираних инфр. пројеката $SRIP = \frac{Realizovani\ kapacitet}{Ukupni\ predvideni\ kapacitet}$
ЕКОЛОШКА ПРИХВАТЉИВОСТ	ЕМИСИЈА ГАСОВА СТАКЛЕНЕ БАШТЕ	Емисија ГХГ представља универзални еколошки индикатор који прати све антропогене утицаје који као резултат имају емисију гасова са ефектом стаклене баште. Ефикасно праћење и извештавање о емисији ГХГ гасова представља основу за напредак у циљу остваривања редукције емисије. За потребе дефинисања парцијалног индикатора Емисија гасова стаклене баште у оквиру сектора природног гаса, посматра се емисија угљен-диоксида као доминантног и најзаступљенијег представника гасова стаклене баште. Емисија угљендиоксида је готово искључиво последица сагоревања фосилних горива (око 98%). Сагоревањем природног гаса се емитује најмања количина угљен-диоксида у односу на остала конвенционалана фосилна горива (56.1 kg CO ₂ /GJ произведене енергије).	Користе се коефицијенти емисије CO ₂ по јединици произведене енергије, услед различитог допринос емисији гасова стаклене баште, превасходно угљендиоксида. $k_{CO_2} = 3.67 \cdot \frac{g_c}{H}$ [kgCO ₂ /GJ]

	<p>ЕМИСИЈА ПОЛУТАНАТА</p>	<p>Емисија полутаната (чврсте честице, NO_x, SO_x, CO_x, VOC итд.) је критеријум који описује врсту, интензитет и начин емисија преосталих полутаната (не рачунајући ГХГ). У оквиру овог парцијалног индикатора, фокус је на праћењу емисија чврстих честица, оксида сумпора и оксида азота. За природни гас је карактеристично да његовим сагоревање долази до најмањих емисија оксида азота у односу на стандардна фосилна горива, док се чврсте честице не јављају уопште, као ни оксиди сумпора (изузев у ретким случајевима када у састав гасовитог горива улази H₂S). Природни гас у свом саставу може да садржи азот, као баласт, али је обично реч о малом проценту. Истовремено, природни гас као гасовито гориво карактерише могућност доброг мешања са ваздухом, што спречава стварање тзв „цепова“ богате смеше, која стимулише промтни механизам стварања оксида азота, а који одликује интензивна реакција у фронту пламена.</p>	<p>Користе се коефицијенти емисије полутаната по јединици произведене енергије [g_{pol}/GJ].</p> <p>Фазификују се употребом тежишне методе: $POL = j_{CO_x} \cdot LV_{SO_x-polvršina} + j_{NO_x} \cdot LV_{NO_x-polvršina} + j_{CC} \cdot LV_{CC-polvršina}$</p>
	<p>ИНДИРЕКТНИ ЕКОЛОШКИ ЕФЕКАТ</p>	<p>Ефекти који настају из окружења у којем се живи и ради, а називају се екстерналије представљају индиректне утицаје на животно окружење. Ти ефекти могу различито утицати на тзв. суседне економске активности, истовремено доносећи једнима додатне трошкове, а другима користи – тзв. негативне и позитивне екстерналије (Đukić, P., Đukanović, S., 2015). У контексту еколошке прихватљивости и шире слике енергетске безбедности овим парцијалним индикатором се описује утицај употребе фосилних горива на трошкове у здравству, пораст или смањење БДП-а, смањење радне способности становништва и сл.</p>	<p>Експертска анализа упитници</p>

6.6.1.1 *Експертска оцена предложених сценарија*

За шест различитих комбинованих сценарија енергетског развоја у оквиру сектора природног гаса су припремљени упитници приликом анализе улазних података за парцијалне индикаторе *Административна примењивост (D1)* и *Индиректан еколошки ефекат (E3)*. У табели 6.9 су приказани резултати експертске анализе парцијалних индикатора у оквиру Комбинованог сценарија 1 који је настао комбинацијом ВАУ сценарија развоја гасне инфраструктуре и Референтног сценарија потрошње природног гаса. Резултати су сублимирани из упитника који је попуњавало пет аналитичара чија је област пословног интересовања уско повезана са енергетиком Србије, сектором природног гаса и пратећом правном легислативом.

Табела 6.9. Експертска анализа парцијалних индикатора D1 и E3 помоћу упитника за комбиновни сценарио 1 (SC1)

Парцијални индикатор (P _i)	<i>Административна примењивост (D1)</i>					<i>Индиректни еколошки ефекат (E3)</i>				
	<i>веома ниска</i>	<i>ниска</i>	<i>умерена</i>	<i>висока</i>	<i>веома висока</i>	<i>веома негативан</i>	<i>негативан</i>	<i>неутралан</i>	<i>позитиван</i>	<i>веома позитиван</i>
Вредности LV										
Аналитичар 1	0.2	0.3	0.5				0.25	0.5	0.25	
Аналитичар 2	0.1	0.5	0.4				0.5	0.3	0.2	
Аналитичар 3		0.8	0.2				0.4	0.4	0.2	
Аналитичар 4	0.1	0.5	0.3	0.1				0.6	0.4	
Аналитичар 5		0.7	0.2	0.1			0.2	0.5	0.3	

	<i>E</i>	<i>D</i>	<i>C</i>	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>E</i>	<i>D</i>	<i>C</i>	<i>B</i>	<i>A</i>
Резултати експертске анализе	$(0.2+0.1+0.1)/5$	$(0.3+2 \times 0.5+0.8+0.7)/5$	$(0.5+0.4+2 \times 0.2+0.3)/5$	$(0.1+0.1)/5$	0	0	$(0.25+0.5+0.4+0.2)/5$	$(2 \times 0.5+0.4+0.3+0.6)/5$	$(0.25+2 \times 0.2+0.4+0.3)/5$	0
n=5	0.08	0.56	0.32	0.04	0	0	0.27	0.46	0.27	0

На основу експертске анализе приказане у Табели 5.8 може се добити процена за парцијални индикатор Административне примењивости (D1) и Индиректан еколошки ефекат (E3) у следећим облицима:

$$D1=(0.08/\text{веома ниска};0.56/\text{ниска};0.32/\text{умерена};0.04/\text{висока};0/\text{веома висока})$$

$$E3=(0/\text{веома негативан}; 0.27/\text{негативан}; 0.46/\text{неутралан}; 0.27/\text{позитиван}; 0/\text{веома позитиван})$$

Даљим поступком се процене парцијалних индикатора фазификују са циљем њиховог представљања у облику који одговара једначини 5.1. То се спроводи поступком описаним у Глави 5 (једначине 5.4-5.9), коме се подвргава свих пет лингвистичких промењивих. У табели 6.10 и 6.11 су приказани резултати функција припадности за сваку класу као репрезента јединице мере индикатора (*j*) што даје финални облик специфичних вредности фази скупа за парцијални индикатор Административна примењивост (D1) и Индиректан еколошки ефекат (E3) за комбиновани сценарио 1 (SC1).

Табела 6.10. Специфичне вредности фази скупа за парцијални индикатор
Административне примењивости (D1) за комбиновни сценарио 1 (SC1)

LV \ j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
веома ниска	0.08	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0
ниска	0	0	0.56	0.56	0.1848	0	0	0	0	0
умерена	0	0	0	0.16	0.32	0.32	0.16	0	0	0
висока	0	0	0	0	0	0.0132	0.04	0.04	0	0
веома висока	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
μ_{D1-SC1}	0.08	0.08	0.56	0.72	0.5048	0.3332	0.2	0.04	0	0

Табела 6.11. Специфичне вредности фази скупа за парцијални индикатор
Индиректан еколошки ефекат (E3) за комбиновни сценарио 1 (SC1)

LV \ j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
веома негативан	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
негативан	0	0	0.27	0.27	0.0891	0	0	0	0	0
неутралан	0	0	0	0.23	0.46	0.46	0.23	0	0	0
позитиван	0	0	0	0	0	0.0891	0.27	0.27	0	0
веома позитиван	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
μ_{E3-SC1}	0	0	0.27	0.5	0.5491	0.5491	0.5	0.27	0	0

На основу сакупљених и класификованих података, а аналогно са претходним поступком се спроводи анализа улазних података, уз добијање процена парцијалних индикатора. Даљим поступком се процене парцијалних индикатора фазификују са циљем њиховог представљања у финалном облику специфичних вредности фази скупа за парцијални индикатор Административна примењивост (D1) и Индиректан еколошки ефекат (E3) за преосталих пет комбинованих сценарија. У табели 6.12 се налазе попуњене анкете и резултат експертске анализе за преостале комбиноване сценарије (SC2-SC6).

Табела 6.12. Експертска анализа парцијалних индикатора D1 и E3 помоћу упитника за комбиноване сценарије (SC2-SC6)

Парцијални индикатор (P _i)		Административна примењивост (D1)					Индијектни еколошки ефекат (E3)				
Вредности LV		веома ниска	ниска	умерена	висока	веома висока	веома негативан	негативан	Неутралан	позитиван	веома позитиван
КОМБИНОВАНИ СЦЕНАРИО 2	Аналитичар 1		0.4	0.5	0.1				0.5	0.5	
	Аналитичар 2		0.5	0.4	0.1			0.1	0.6	0.3	
	Аналитичар 3		0.7	0.2	0.1			0.3	0.7		
	Аналитичар 4		0.4	0.4	0.2				0.8	0.2	
	Аналитичар 5	0.1	0.4	0.5					1		
	<i>j</i>	0.02	0.48	0.4	0.1	0	0	0.08	0.72	0.2	0
	μ _{D1-SC2}	0.02	0.02	0.48	0.68	0.56	0.43	0.3	0.1	0	0
	μ _{E3-SC2}	0	0	0.08	0.44	0.75	0.79	0.56	0.2	0	0
КОМБИНОВАНИ СЦЕНАРИО 3	Аналитичар 1		0.6	0.4				0.5	0.4	0.1	
	Аналитичар 2	0.5	0.5					0.1	0.6	0.3	
	Аналитичар 3	0.3	0.7					0.6	0.4		
	Аналитичар 4		0.9	0.1			0.1	0.5	0.4		
	Аналитичар 5	0.3	0.5	0.2					0.6	0.4	
	<i>j</i>	0.22	0.64	0.14	0	0	0.02	0.34	0.48	0.16	0
	μ _{D1-SC3}	0.22	0.22	0.64	0.71	0.35	0.14	0.07	0	0	0
	μ _{E3-SC3}	0	0	0.08	0.44	0.75	0.79	0.56	0.2	0	0
КОМБИНОВАНИ СЦЕНАРИО 4	Аналитичар 1	0.5	0.2	0.3						0.4	0.6
	Аналитичар 2	0.3	0.5	0.2					0.2	0.4	0.3
	Аналитичар 3	0.3	0.6	0.1						1	
	Аналитичар 4	0.2	0.8							0.2	0.8
	Аналитичар 5		0.9	0.1					0.1	0.2	0.7
	<i>j</i>	0.26	0.6	0.14	0	0	0	0	0.06	0.44	0.48
	μ _{D1-SC4}	0.02	0.02	0.34	0.58	0.59	0.53	0.4	0.16	0	0
	μ _{E3-SC4}	0	0	0	0.03	0.06	0.21	0.47	0.44	0.48	0.48
КОМБИНОВАНИ СЦЕНАРИО 5	Аналитичар 1	0.5	0.4	0.1			0.6	0.4			
	Аналитичар 2	0.6	0.4				0.8	0.2			
	Аналитичар 3	0.1	0.9				0.7	0.3			
	Аналитичар 4	0.2	0.8				0.6	0.3	0.1		
	Аналитичар 5		0.8	0.2			0.8	0.2			
	<i>j</i>	0.28	0.66	0.06	0	0	0.7	0.28	0.02	0	0
	μ _{D1-SC5}	0.28	0.28	0.66	0.69	0.28	0.06	0.03	0	0	0
	μ _{E3-SC5}	0.7	0.7	0.28	0.29	0.11	0.02	0.01	0	0	0
КОМБИНОВАНИ СЦЕНАРИО 6	Аналитичар 1		1				0.6	0.4			
	Аналитичар 2	0.5	0.5				0.8	0.2			
	Аналитичар 3	0.5	0.4	0.1			1				
	Аналитичар 4	0.6	0.4				0.6	0.4			
	Аналитичар 5	0.4	0.6				0.7	0.3			
	<i>j</i>	0.4	0.58	0.02	0	0	0.74	0.26	0	0	0
	μ _{D1-SC6}	0.4	0.4	0.58	0.59	0.21	0.02	0.01	0	0	0
	μ _{E3-SC6}	0.74	0.74	0.26	0.26	0.09	0	0	0	0	0

6.6.1.2 Фазификација нумеричких улазних података

6.6.1.2.1 Индикатор Друштвено-економске примењивости (D)

Поред већ, кроз експертску анализу, анализираног парцијалног индикатора Административне примењивости (D1), у поступку синтезе индикатора друштвено-економске примењивости анализирају се и парцијални индикатори Економске оправданости (D1) и Доступности (D3) за сектор природног гаса. Оба парцијална индикатора се задају кроз нумеричке податке.

6.6.1.2.1.1 Индикатор Економске оправданости (D2)

Индикатор Економске оправданости (D2) се квантификује употребом Индекса економске оправданости која представља однос степена употребе нових капацитета и количине новца инвестираног у стварање истих. Код сценарије интензивне потрошње се у обзир узима случај максималног доступног дневног капацитета свих интерконекција, док се код референтног сценарија тај капацитет смањује за око 15%. У табели 6.13 је приказан вредност индекса ЕО за различите сценарије развоја сектора природног гаса. Овај индекс је израчунат употребом података из Табела 6.4 и 6.5.

Табела 6.13 Парцијални индикатор Економске оправданости

D2	SC 1	SC 2	SC 3	SC 4	SC 5*	SC 6*
Индекс ЕО (m³/€)	17.28	13.82	20.58	25.73	32	40

*нема нових инвестиција

Приметно је да сценарио песимистичког инфраструктурног развоја има веома лошу оцену економске оправданости због недостатка проширења капацитета, иако је претпоставка да нема инвестирања у сектору природног гаса у овом сценарију развоја. Разлог тога је неоправданост неулагања у инфраструктурни развој, поготово у оквиру комбиновног сценарија 6 који предвиђа интензивирање потрошње природног гаса.

На основу једначине 4.1 , за сектор природног гаса пронађена је максимална вредност Индекса економске оправданости $IEO=40 \text{ m}^3/\text{€}$ за класу $j=10$, као и минимална вредност Индекса економске оправданости $IEO=1 \text{ m}^3/\text{€}$ за класу $j=1$.

Преостале вредности за класе j су:

- $j=2 \text{ } IEO=D2_{min}+(D2_{max}-D2_{min})/9=1+(40-1)/9=5.333$
- $j=3 \text{ } IEO=D2_{j=2}+(D2_{max}-D2_{min})/9=5.333+(40-1)/9=9.667$
- $j=4 \text{ } IEO=D2_{j=3}+(D2_{max}-D2_{min})/9=9.667+(40-1)/9=14.000$
- $j=5 \text{ } IEO=D2_{j=4}+(D2_{max}-D2_{min})/9=14.000+(40-1)/9=18.333$
- $j=6 \text{ } IEO=D2_{j=5}+(D2_{max}-D2_{min})/9=18.333+(40-1)/9=22.667$
- $j=7 \text{ } IEO=D2_{j=6}+(D2_{max}-D2_{min})/9=22.667+(40-1)/9=27.000$
- $j=8 \text{ } IEO=D2_{j=7}+(D2_{max}-D2_{min})/9=27.000+(40-1)/9=31.333$
- $j=9 \text{ } IEO=D2_{j=8}+(D2_{max}-D2_{min})/9=31.333+(40-1)/9=35.667$

Вредности за класу j за сваки парцијални индикатор понаособ су приказане у Табели 6.14.

Табела 6.14. Вредности класе j за сваки парцијални индикатор

j	D2	D3	S1	S2	S3	E1	E2
	IEO	HNI	N-1	IDUPS	SRIP	10^3 t CO_2	$\text{g}_{\text{pol}}/\text{GJ}$
1	1	10000	0.010	10000	0	7000	467.83
2	5.333	8889	0.192	8889	0.111	6444	415.85
3	9.667	7778	0.374	7778	0.222	5889	363.87
4	14.000	6667	0.557	6667	0.333	5333	311.89
5	18.333	5556	0.739	5556	0.444	4778	259.91
6	22.667	4445	0.921	4445	0.556	4222	207.93
7	27.000	3334	1.103	3334	0.667	3667	155.94
8	31.333	2223	1.286	2223	0.778	3111	103.96
9	35.667	1112	1.468	1112	0.889	2556	51.98
10	40	1	1.650	1	1	2000	0

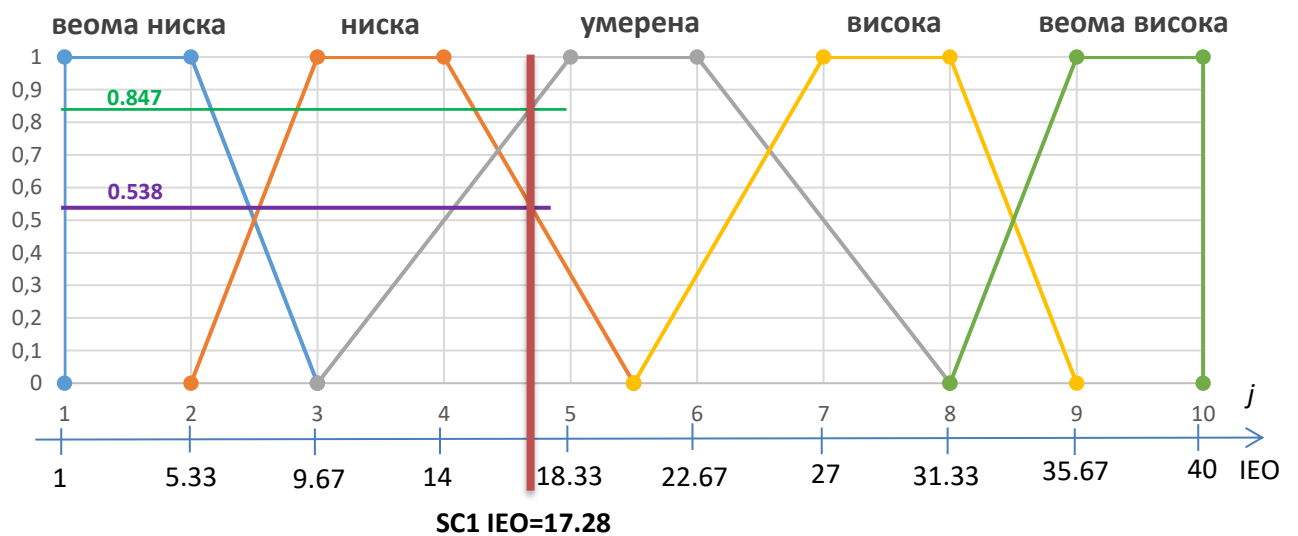
На слици 6.8 је приказан процес фазификације нумеричких улазних података за парцијални индикатор Економска оправданост (D2) у случају комбинованог сценарија 1 (SC1). Фазификација се обавља проналажењем пресечних тачака праве управне на задату вредност IEO и самих граница лингвистичких промењивих. Кроз места пресека се повлаче нормале на апцисну осу на којој се налази функција припадности (membership function) (μ) и читавају се вредности припадности:

$$\mu(D2_{\text{умерена}}) = 0.847; \mu(D2_{\text{ниска}}) = 0.538$$

Затим се ове вредности очитане са дијаграма скалирају са циљем свођења њихових вредности на збир 1.

$$D2_{\text{умерена}} = 0.847 / (0.847 + 0.538) = 0.612$$

$$D2_{\text{ниска}} = 0.538 / (0.847 + 0.538) = 0.388$$



Слика 6.8. Процедура фазификације нумеричких улазних података за парцијални индикатор Економска оправданост (D2) у случају SC1

Коначно, за парцијални индикатор Економска оправданост (D2) фазификовани улаз у односу на дефинисне лингвистичке промењиве је следећи:

$$D2 = (0/\text{веома ниска}; 0.388/\text{ниска}; 0.612/\text{умерена}; 0/\text{висока}; 0/\text{веома висока}).$$

Даљим поступком се процене парцијалног индикатора фазификују са циљем њиховог представљања у облику који одговара једначини 5.1. За парцијални индикатора D2, у оквиру комбинованог сценарија 1 (SC 1) лингвистичкој промењивој „умерена“ додељена је вредност 0.612, а лингвистичкој промењивој „ниска“ вредност 0,388. Истовремено, лингвистичка промењива „умерена“ и „ниска“ су дефинисане као:

$$LV \text{ „умерена“} = (1/0;2/0;3/0;4/0.5;5/1;6/1;7/0.5;8/0;9/0;10/0)$$

$$LV \text{ „ниска“} = (1/0;2/0;3/1;4/1;5/0;6/0;7/0;8/0;9/0;10/0).$$

На основу тога, добијена је специфична вредност лингвистичке промењиве „умерена“ за парцијални индикатор D2 за SC1 која има следећи облик:

$$D3_{0.612/умерена}=[1/(0 \cdot 0.612); 2/(0 \cdot 0.612); 3/(0 \cdot 0.612); 4/(0.5 \cdot 0.612); 5/(1 \cdot 0.612); 6/(1 \cdot 0.612); 7/(0.5 \cdot 0.612); 8/(0 \cdot 0.612); 9/(0 \cdot 0.612); 10/(0 \cdot 0.612)],$$

као и специфична вредност лингвистичке промењиве „ниска“ за парцијални индикатор D2 за SC1 која има следећи облик:

$$D2_{0.388/ниска}=[1/(0 \cdot 0.388); 2/(0 \cdot 0.388); 3/(1 \cdot 0.388); 4/1 \cdot 0.388); 5/(0.33 \cdot 0.388); 6/(0 \cdot 0.388); 7/(0 \cdot 0.388); 8/(0 \cdot 0.388); 9/(0 \cdot 0.388); 10/(0 \cdot 0.388)].$$

У табели 6.15 су приказани резултати фазификације парцијалног индикатора Економска оправданост (D2) у случају SC1.

Табела 6.15. Специфичне вредности фази скупа за парцијални индикатор Економска оправданост (D2) у случају SC1

LV \ j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
E	1·0	1·0	0·0	0·0	0·0	0·0	0·0	0·0	0·0	0·0
D	0·0.388	0·0.388	1·0.388	1·0.388	0.33·0.388	0·0.388	0·0.388	0·0.388	0·0.388	0·0.388
C	0·0.612	0·0.612	0·0.612	0.5·0.612	1·0.612	1·0.612	0.5·0.612	0·0.612	0·0.612	0·0.612
B	0·0	0·0	0·0	0·0	0·0	0.33·0	1·0	1·0	0·0	0·0
A	0·0	0·0	0·0	0·0	0·0	0·0	0·0	0·0	1·0	1·0
μ_{D2-SC1}	0	0	0.388	0.694	0.740	0.612	0.306	0	0	0

За сваку класу као репрезента јединице мере индикатора (j) дефинисана је функција припадности што даје финални облик специфичних вредности фази скупа за парцијални индикатор Економска оправданост (D2) за сценарио SC1 који је приказан у једначини:

$$\mu_{D2}=(0, 0, 0.388, 0.694, 0.740, 0.612, 0.306, 0, 0, 0)$$

Аналогно овом поступку, процес се понавља за свих 6 комбинованих сценарија. Резултати анализе финалног облика специфичних вредности фази скупа за парцијални индикатор Економска оправданост (D2) за сценарије SC2- SC6 су приказани у Табели 6.6.

Табела 6.16. Специфичне вредности фази скупа за парцијални индикатор Економска оправданост (D2) у случају SC2-SC6

SC \ j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
μ_{D2-SC2}	0	0	0.904	0.952	0.394	0.096	0.048	0	0	0
μ_{D2-SC3}	0	0	0	0.472	0.943	0.962	0.528	0.057	0	0
μ_{D2-SC4}	0	0	0	0.243	0.486	0.655	0.757	0.514	0	0
μ_{D2-SC5}	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
μ_{D2-SC6}	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0

6.6.1.2.1.2 Индикатор Доступности (D3)

Индикатор Доступности (D3) се квантификује употребом Herfindahl-Hirschman индекса (HHI). У табели 6.14 је приказана вредност индекса HHI за различите сценарије развоја сектора природног гаса. Овај индекс је израчунат употребом једначине 4.2., уз помоћ табеле 6.13.

На основу Извештаја о раду Агенције за енергетику за 2017. годину израчунате су вредности параметара развоја тржишта домаћег гаса. На тржишту природног гаса у републици Србији постоји 1 произвођач, 2

оператера транспортног система, 34 оператера дистрибутивних система (од којих један енергетски субјекат још увек не обавља делатност за коју је лиценциран), 1 оператер подземног складишта, 66 снабдевача на слободном тржишту (од којих је оперативно 30), 33 јавна снабдевача који се истовремено баве и дистрибуцијом природног гаса и 1 снабдевач јавних снабдевача одређен на основу одлике Владе Републике Србије. као и 270.971 крајњи купац (од којих 269.010 на регулисаном снабдевању и 961 на слободном тржишту (АЕРС, 2018). Велепродајно тржиште природног гаса, осим куповине гаса за потребе јавних снабдевача, засновано је на билатералним уговорима између снабдевача и између произвођача и снабдевача. Током 2017. године, на тржишту велепродаје три компаније су продавале природни гас снабдевачима за потребе крајњих купаца. У 2017. години, укупна потрошња крајњих купаца била је 2.246 милиона м³, што је за 13% више него у 2016. години. На тржишту је набављено 2.183 милион кубних метара (АЕРС, 2018).

На слободном тржишту је био 961 купац и њима је испоручено 1.917 милиона кубних метара , а продају је обављало 30 снабдевача, а највише ЈП Србијагас са чак 87%. У 2017. години, само 3 оператера дистрибутивног система испоручило је више од 30 милиона кубних метара за потребе купаца, а 21 дистрибутер мање од 10 милиона кубних метара . Највећи део природног гаса, 1.799 милиона кубних метара или око 80% од укупних количина, купцима је у 2017. години продао ЈП Србијагас. После ЈП Србијагас, највећу продају купцима имао је ДП Нови Сад-Гас са 72 милиона кубних метара , што чини око 3% и Југоросгас а.д. са 52 милиона кубних метара гаса, односно 2,2% укупних потрошених количина у 2017. Појединачно учешће осталих снабдевача у укупним количинама је око и мање од 2% (АЕРС, 2018).

На основу претходно наведених података израчунати су показатељи који указују на степен отворености тржишта природног гаса у Републици Србији у овом тренутку:

$$HHI_{veleprodaja} = 6985$$

$$HHI_{maloprodaja} = 6915$$

Евидентно је, без обзира што се највећи део природног гаса пласира на слободном тржишту, да је домаће тржиште природног гаса високо концентрисано са доминантним учешћем једне компаније. На основу пројекција развоја сектора природног гаса, уз коришћење историјског тренда пораста броја и врсте прикључак, може се изразити вредност Herfindahl-Hirschman индекса (HHI) (Табела 6.17).

Табела 6.17 Вредност Herfindahl-Hirschman индекса (HHI) за комбиноване сценарије развоја

D3	SC 1	SC 2	SC 3	SC 4	SC 5	SC 6
HHI _{ВЕЛЕПРОДАЈА}	5427	4918	4243	3512	6985	6312
HHI _{МАЛОПРОДАЈА}	5287	4826	4112	3375	6915	6324

Применом идентичног поступка који је описан у оквиру пете главе и који је употребљен за анализу парцијалног индикатора D2, проналазе се специфичних вредности фази скупа за парцијални индикатор Доступност (D3) за комбиноване сценарије SC1-SC6 (Табела 6.18).

Табела 6.18. Специфичне вредности фази скупа за парцијални индикатор Доступност (D3) за комбиноване сценарије SC1-SC6

SC \ j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
μ_{D3-SC1}	0	0	0.143	0.572	0.904	0.857	0.428	0	0	0
μ_{D2-SC2}	0	0	0	0.462	0.924	0.949	0.538	0.076	0	0
μ_{D2-SC3}	0	0	0	0.289	0.577	0.717	0.711	0.423	0	0
μ_{D2-SC4}	0	0	0	0.204	0.408	0.603	0.796	0.592	0	0
μ_{D2-SC5}	0	0	0.755	0.877	0.494	0.245	0.123	0	0	0
μ_{D2-SC6}	0	0	0.556	0.778	0.627	0.444	0.222	0	0	0

6.6.1.2.2 Индикатор Сигурности снабдевања (S)

Парцијални индикатори Распоживост (S1), Диверсификација извора и праваца (S2) и Развој гасне инфраструктуре (S3) представљају синтезне елементе помоћу којих се фази композицијом дефинише индикатор Сигурности снабдевања (S).

6.6.1.2.2.1 Парцијални индикатор Распоживости (S1)

Ниво сигурности снабдевања природним гасом са аспекта расположивости енергије може бити изражена помоћу (N-1) индекса расположивости система (*Badea, A.C., 2010*). Овај индекс описује дневну оперативну флексибилност гасоводног система, као и способност система да одговори на захтеве потрошње у екстремним ситуацијама. Израчунава се на следећи начин:

$$N - 1 = \frac{TKG + KPG + MIPS + MITNG - MKS}{MDP} \quad (6.1)$$

где су:

TKG – технички капацитет гасовода, тј. највећа количина гаса која може бити допремљена кроз постојећи гасовод [милиона м³ дневно],

KPG – количина гаса произведеног у земљи [милиона м³ дневно],

MIPS – максимална испорука из складишта природног гаса [милиона м³ дневно],

MITNG – максимална испорука са ТНГ терминала [милиона м³ дневно],

MKS – максимални капацитет снабдевања = max (TKG, KPG, MIPS, MITNG) [милиона м³ дневно].

Тренутно, кроз једну улазну руту природног гаса преко Мађарске, Србија има максимални дневни капацитет од 11 милиона кубних метара (*Ivezic et al., 2012*). И поред увођења нових рута снабдевања, ова интерконекција ће остати највећи дневни капацитет снабдевања.

Максимална дневна производња у 2016. години износила је 1.11 милиона метара кубних (*Републички завод за статистику, 2017a*), док су пројекције за

производњу 1.105 милиона метара кубних за 2020. и 0.78 милиона метара кубних за 2025. годину (*Министарство рударства и енергетике, 2017*). Ове вредности се користе за КПП у оба сценарија потрошње.

Максимални технички расположиви капацитет истискивања из подземног складишта гаса (MIPSG) у Банатском двору износи 4.95 милиона метара кубних дневно (*АЕРС, 2017*). Ова вредност одговара се користи за ПЕС сценарио инфраструктурног развоја. За сценарије БАУ и ОПТ максимална производња из подземног складишта (MIPSG) одређена је очекиваним повећањем капацитета постојећег подземног складишта (9.96 милиона кубних метара дневно).

Максимална дневна потрошња представља укупну дневну потрошњу гаса у периоду екстремне потражње за гасом (изражена у милионима кубних метара по дану). Статистичка вероватноћа за овакву појаву је једном у 20 година. Међутим, одређивање и израчунавање максималне дневне потрошње није једноставно, посебно када ју је потребно одредити за будућу потрошњу.

Постигнут је значајан развој гасне мреже уз увећање броја прикључака у последњих 20 година. Структура и интензитет потрошње у различитим секторима значајно се променио (*Ivezic, D., et al., 2016*), а промене се могу очекивати и у будућности. Стога, за одређивање индекса N-1, максимална дневна потрошња (MDP) израчуната је у складу са постојећим и очекиваним структурама потрошње гаса, као и климатским условима.

Климатски услови су веома важни за процену потрошње природног гаса за грејање. Због тога се користи број степен-дана за грејање (ГСД) и утврђена је линеарна зависност између количине гаса који се користи за грејање (у системима даљинског грејања и домаћинствима) и броја степен-дана за грејање (*BIZEE, 2017*). MDP која се односи на потрошњу гаса за грејање, може се онда израчунати за дан са најнижом температуром, која се очекује једном у 20 година. Овај приступ је коришћен за израчунавање максималне дневне потрошње система даљинског грејања и домаћинстава (*Madzarević, A., et al., 2018*).

У системима даљинског грејања у Србији, готово сва произведена топлота се користи за грејање простора, а максимална дневна потрошња (MDP_{dg}) се може израчунати на следећи начин:

$$MDP_{dg} = \frac{Q_{dg}}{SD_{gs}} * SD_{max} \quad [\text{милиона метара кубних дневно}] \quad (6.2)$$

где су:

Q_{dg} – финална потрошња природног гаса у системима даљинског грејања [милиона m^3 дневно];

SD_{gs} – број степен-дана за Србију за грејну сезону ($SD=2271.3$ што је климатска карактеристика највећег региона који користи даљинско грејање (BIZEE, 2017)),

SD_{max} – максимална вредност степен-дана у последњих 20 година ($SD_{max}=27.9$) (BIZEE, 2017);

У сектору домаћинства, 20% потрошеног гаса се користи за кување и припрему техничке топле воде (EIA, 2016), док се остатак природног гаса употребљава за загревање простора уз зависногт од степен-дана за грејање, ка и у случају даљинског грејања. Стога, максимална дневна потрошња у домаћинствим (MDP_d) се рачуна на следећи начин:

$$MDP_d = \frac{0.2*Q_d}{365} + \frac{0.8*Q_d}{SD} * SD_{max} \quad [\text{милиона } m^3 \text{ дневно}] \quad (6.3)$$

где су:

Q_{hh} - финална потрошња природног гаса у домаћинствима [милиона m^3 дневно];

SD_{gs} – број степен-дана за Србију за грејну сезону ($SD=2271.3$ што је климатска карактеристика највећег региона који користи даљинско грејање (BIZEE, 2017)),

SD_{max} – максимална вредност степен-дана у последњих 20 година ($SD_{max}=27.9$) (BIZEE, 2017);

Дневна потрошња природног гаса у индустрији, јавном и комерцијалном, сектору транспорта, као и у СНР постројењима, енерганама, али и неенергетска потрошња природног гаса (NPG) не зависи од температуре и израчунава се као укупна потрошња у индустријском сектору подељена са број радних дана годишње, умањеним за 30 дана због ремонта (*Madžarević, A., et al., 2018*).

Максимална дневна потрошња природног гаса се рачуна као сума максималне дневне потрошње у ова три сектора:

$$MDP = MDP_{dg} + NPG + MDP_d \quad (6.4)$$

Коришћењем презентованог приступа, максимална дневна потрошња гаса за 2016. годину износи 14.49 милиона m³ дневно. На основу (*ЈП Србијазас, 2016*) максимална измерена дневна потрошња је остварена 09.02.2012. године у износу од 17.274 милиона m³ дневно. Извештај Агенције за енергетику РС за поменуто годину дефинише да „није било проблема са загушењем, чак ни у фебруару када су биле најниже температуре које се статистички јављају једном у двадесет година ...” (*АЕРС, 2013*). Разлика која се јавља између приступа који се користи и остварене вредности максималне дневне потрошње у претходних 20 година настаје због оптимизације вредности максималне неенергетске дневне потрошња природног гаса (NPG) која не зависи од спољашних температура. У контексту анализе MDP за будуће пројекције развоја, одабран је првобитни приступ због могућности утицаја на потенцијалне будуће промене максималне потрошње услед специфичности сценарија који се посматра.

MDP за одабране пројекције потражње се израчунава коришћењем исте стопе раста као за потрошње у пројекцијама потрошње гаса. Пројекције максималне дневне потрошње природног гаса (MDP) за референтни и сценарио интензивне потрошње приказане су у Табели 6.19.

Табела 6.19. Пројекција максималне дневне потрошње природног гаса (МДП)

СЦЕНАРИО [10^6 m^3]		MDP _d	NDP	MDG _{dg}	MDP
Тренутно стање	2016	2.18	6.23	6.08	14.49
	2020	2.79	6.64	6.65	16.08
Референтни сценарио	2025	3.17	6.97	7.09	17.23
	2020	3.54	7.89	7.55	18.98
Сценарио интензивне потрошње	2025	3.93	9.38	8.48	21.79

N-1 индекс за различите комбиноване сценарије за 2016., 2020. и 2025. годину је приказан у Табели 6.20.

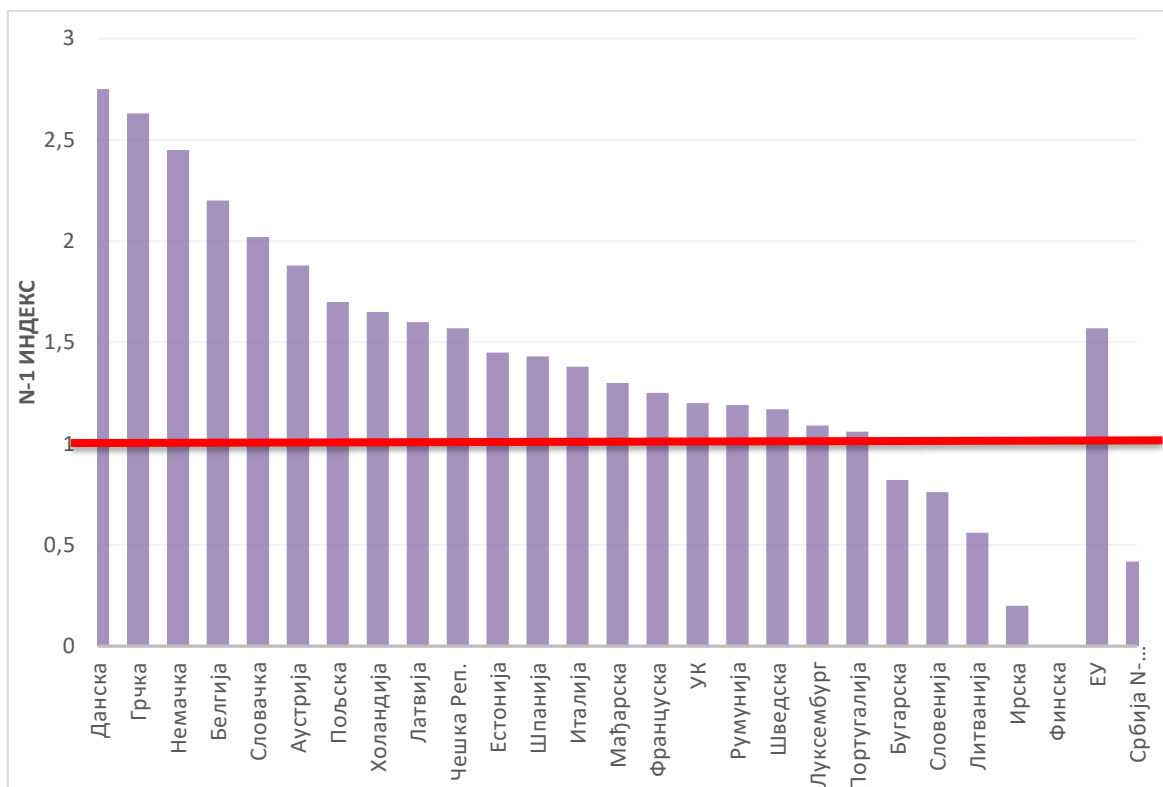
Табела 6.20 N-1 индекс за различите комбиноване сценарије

СЦЕНАРИЈИ ИНФРАСТРУКТУРНОГ РАЗВОЈА ДО 2025	БАУ		ПЕС		ОПТ	
	РЕФЕРЕНТНИ СЦЕНАРИО	СЦЕНАРИО ИНТЕНЗИВНЕ ПОТРОШЊЕ	РЕФЕРЕНТНИ СЦЕНАРИО	СЦЕНАРИО ИНТЕНЗИВНЕ ПОТРОШЊЕ	РЕФЕРЕНТНИ СЦЕНАРИО	СЦЕНАРИО ИНТЕНЗИВНЕ ПОТРОШЊЕ
ПРОЈЕКЦИЈЕ ПОТРОШЊЕ ПРИРОДНОГ ГАСА [10 ⁶ М ³ ДНЕВНО]						
КОМБИНОВАНИ СЦЕНАРИО	SC 1	SC 2	SC 5	SC 6	SC 3	SC 4
ТКГ	15.93		11		24.41	
КПГ 2016	1.11					
КПГ 2020	1.105					
КПГ 2025	0.78					
МИПСГ	9.96		4.95		9.96	
МИТНГ	0					
МДЦ	11					
МДП 2016	14.9					
МДП 2020	16.08	18.98	16.08	18.98	16.08	18.98
МДП 2025	17.23	21.79	17.23	21.79	17.23	21.79
N-1 2016	1.10*	1.10*	0.42	0.42	1.69*	1.69*
N-1 2020	0.99	0.84	0.38	0.32	1.52	1.29
N-1 2025	0.91	0.72	0.33	0.26	1.40	1.11

*хипотетичка вредност – селектована инфраструктура не постоји

За 2016. годину, израчунати индекс расположивости система N-1 за Србију је 0.42. Добијени резултати указују на јако неповољне нивое сигурности снабдевања. Поређење индекса N-1 европских земаља и Србије, приказано на слици 6.9, указује на рањивост Србије у погледу сигурности снабдевања гасом. Такође је очигледно да је тренутни ниво развоја инфраструктуре

(сценарио ПЕС приказан у Табели 6.19) у потпуности неприхватљив са становишта сигурности снабдевања, јер доводи до још ниже вредности индекса N-1 у будућности, услед пораста потражње за природним гасом.



Слика 6.8 N-1 индекс расположивости у земљама ЕУ и Србији ([Badea A.C., 2010](#))

Развој инфраструктуре у складу са тренутном политиком, описано БАУ сценаријом, би требало значајно повећати вредност за N-1. Изградња интерконекције са Бугарском и повећање капацитета ПСГ Банатски Двор, са максималним дневним потребама израженим према тренутној структури потрошње, доприноси да N-1 има вредност од 1.10. Ова вредност се може прихватити као задовољавајућа. Међутим, с повећањем потрошње и увећањем максималне дневне потрошње, параметар N-1 пада испод 1.

Само у случају ОПТ сценарија развоја инфраструктуре добијене су вредности индекса N-1 прихватљиве за све сценарије потрошње гаса. Индикатори N-1 износе 1.29 и 1.11 у случају Сценарија интензивне потрошње и 1.52 и 1.4 у случају Референтног сценарија потрошње за 2020. и 2025. годину.

За потребе изналажења оцено енергетске безбедности различитих комбинованих сценарија енергетског развоја сектора природног гаса, користе се израчунате вредности N-1 индекса расположивости за пројекције развоја за 2020. годину као најближу краткорочну пројекцију. Применом идентичног поступка који је описан у оквиру пете главе и који је употребљен за анализу парцијалних индикатора D2 и D3, проналазе се специфичне вредности фази скупа за парцијални индикатор Распољивост (S1) за комбиноване сценарије SC1-SC6 (Табела 6.21).

Табела 6.21. Специфичне вредности фази скупа за парцијални индикатор Распољивост (S1) за комбиноване сценарије SC1-SC6

SC \ j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
μ_{S1-SC1}	0	0	0	0,500	1,000	1,000	0,500	0	0	0
μ_{S1-SC2}	0	0	0	0,500	1,000	1,000	0,500	0	0	0
μ_{S1-SC3}	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
μ_{S1-SC4}	0	0	0	0	0	0,324	0,981	0,981	0,019	0,019
μ_{S1-SC5}	0	0	1	1	0,333	0	0	0	0	0
μ_{S1-SC6}	0,382	0,382	0,618	0,618	0,204	0	0	0	0	0

6.6.1.2.2.2 Парцијални индикатор Диверсификација извора и праваца (S2)

Индекс диверсификације извора и праваца снабдевања природним гасом (ИДУПС – индекс диверсификације увозних права снабдевања) се најчешће користи за праћење овог параметра. Индекс даје меру диверсификације увозних праваца снабдевања на основу капацитета природног гаса расположивих за снабдевање. Индекс се рачуна на следећи начин ([ENTSOG, 2015](#)):

$$IDUPS = \sum_i^{granica X} (\sum_k^{TI} \%TI_k granica X_i)^2 + \sum_m (\%LNG terminal)^2 \quad (6.5)$$

где су:

$\%T_{kgranicaX}$ – процентуални удео техничког капацитета на тачки интерконекције X која припада граничном прелазу са државом i, у односу на укупни увозни капацитет,

$\%LNG\ terminal$ - процентуални удео техничког капацитета ТНГ терминала m у односу на укупни увозни капацитет.

Мање вредности индекса указују на већу диверсификацију праваца снабдевања. Имајући у виду већ споменуто једну увозну руту, вредност овог индекса за Републику Србију је тренутно 10.000.

Успостављање нових интерконекција је од кључног значаја за побољшање диверсификације извора и праваца снабдевања, а самим тим и позитивније вредности ИДУПС-а. У Табели 6.22 су приказане вредности индекса у случају реализација планираних пројеката за остварење интерконекција са гасоводним системима Бугарске, Румуније и Хрватске. На тај начин би ИДУПС значајно напредовао. Уколико би дошло и до спајања са другим могућим правцима снабдевања природним гасом (Јужни коридор, Турски ток, ТНГ терминали у Грчкој и Хрватској), имали би нове правце снабдевања (други долазни правац руског гаса, веза са Азербејџаном и каспијском регијом, могућност допремања гаса из Северне Африке преко Италије, као и са ТНГ терминала из Грчке и Хрватске).

Табела 6.22 ИДУПС у случају реализације предвиђених инфраструктурних пројеката

S2	постојеће стање				Нове интерконекције		Интерконекција + ТНГ терминал + проширење ПСГ
	Мађарска	Бугарска	Румунија	Хрватска	Потпуна реализација		
ИДУПС	10000	6007	6224	6348	3282		

Одређивање директног утицаја предложених инфраструктурних пројеката на промену индикатора који дефинишу степен развоја тржишта природног гаса није могуће. Међутим, чињеница је да би потенцијално реализовање пројеката нових интерконекција утицало на расположивости кроз смањење

транзитних трошкова, отварање нових праваца и извора снабдевања природним гасом, као и укључивања складишта природног гаса у регионално тржиште, али и повећања броја учесника на тржишту природног гаса. Све ово би водило ка квалитативном и квантитативном унапређењу тржишта природног гаса.

Применом идентичног поступка који је описан у оквиру пете главе и који је употребљен за анализу парцијалних индикатора D2, D3 и S1, проналазе се специфичне вредности фази скупа за парцијални индикатор Диверсификација извора и праваца (S2) за сценарије SC1-SC6 (Табела 6.23).

Табела 6.23. Специфичне вредности фази скупа за парцијални индикатор Диверсификација извора и праваца (S2) за комбиноване сценарије SC1-SC6

SC \ j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
μ_{S2-SC1}	0	0	0.452	0.726	0.697	0.548	0.274	0	0	0
μ_{S2-SC2}	0	0	0.452	0.726	0.697	0.548	0.274	0	0	0
μ_{S2-SC3}	0	0	0	0.149	0.298	0.530	0.851	0.702	0	0
μ_{S2-SC4}	0	0	0	0.149	0.298	0.530	0.851	0.702	0	0
μ_{S2-SC5}	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
μ_{S2-SC6}	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Резултати анализе парцијалног индикатора Диверсификација извора и праваца (S2) указује да су вредности специфичног фази скупа доминантно функција врсте сценарија инфраструктурног развоја који сачињава комбиновани сценарио. Поменуте вредности идентичне су за по 2 комбинована сценарија који садрже у себи БАУ сценарио инфраструктурног развоја (SC1и SC2), ОПТ сценарио инфраструктурног развоја (SC3 и SC4) и ПЕС сценарио инфраструктурног развоја (SC5 и SC5). На саме вредности фази скупа не утиче пројекција потрошње.

6.6.1.2.2.3 Парцијални индикатор Развоја гасне инфраструктуре (S3)

Парцијални индикатор Развој гасне инфраструктуре се дефинише употребом степена реализације планираних инфраструктурних пројеката (једначина 4.5). На основу података из Табеле 6.5, одређују се вредност Степена реализације инфраструктурних пројеката (SRIP) за комбиноване сценарије развоја што је приказано у оквиру Табеле 6.24 SRIP се добија узимајући у обзир однос достигнутог проширење капацитета предвиђеног пројекцијом развоја и укупно могућег проширење капацитета предвиђено реализацијом свих инфраструктурних пројеката. Нове интерконекије са Бугарском (дневни капацитет 4.93 милиона m³), Хрватском (дневни капацитет 4.1 милиона m³) и Румунијом (дневни капацитет 4.38 милиона m³), уз проширење капацитета ПСГ Банатски Двор на планираних 800 милиона m³ (дневни капацитет 9.96 милиона m³), дају могућности пораста дневне доступности природног гаса из интерконекија за 122%, тј. пораста укупне дневне доступности гаса за 146.5% (интерконекије и подземно складиште). У случају реализација свих планираних инфраструктурних пројеката максимални дневни капацитет природног гаса из свих расположивих извора снабдевања би био 23.37 милиона m³, наспрам садашњих 15.95 милиона m³.

Табела 6.24 Вредност степена реализације инфраструктурних пројеката (SRIP) за комбиноване сценарије развоја

S3	SC 1	SC 2	SC 3	SC 4	SC 5	SC 6
SRIP	0.443	0.539	0.835	1	0.238	0

Употребом поступка презентованог у оквиру Главе 5., а везаном за нумеричке улазне податке, парцијални индикатор Развој гасне инфраструктуре (S3) се анализира уз проналажење специфичних вредности фази скупа за комбиноване сценарије SC1-SC6 (Табела 6.25).

Табела 6.25. Специфичне вредности фази скупа за парцијални индикатор
Развој гасне инфраструктуре (S3) за комбиноване сценарије SC1-SC6

SC \ j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
μ_{S3-SC1}	0	0	0.279	0.639	0.813	0.721	0.361	0	0	0
μ_{S3-SC2}	0	0	0	0.459	0.917	0.944	0.541	0.083	0	0
μ_{S3-SC3}	0	0	0	0	0	0.168	0.510	0.510	0.490	0.490
μ_{S3-SC4}	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
μ_{S3-SC5}	0	0	0,865	0,933	0,420	0,135	0,067	0	0	0
μ_{S3-SC6}	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0

У случају сценарије Оптимистичног инфраструктурног развоја, у којима је предвиђена реализација три нове интерконеције уз проширење капацитета подземног складишта и разматрање изградње нових капацитета за складиштење, очекивано је да ће доћи идо пораста степена гасификације, јер уз већу доступност гаса очекује се и развој и постизање стабилности на тржишту природног гаса, како националног, тако и регионалног.

6.6.1.2.2.4 Анализа робусности сигурности снабдевања природним гасом

Детаљна анализа развоја енергетског сектора природног гаса кроз праћење одређеног индикатора пружа могућности интензивног проучавања пројекција понашања и осетљивости поменутог индикатора.

У случају природног гаса, најизраженија специфичност овог сектора у Републици Србији јесте у ствари начин и могућности снабдевања. Кроз многе анализе је успостављен акценат посматрања синтезног индикатора сигурности снабдевања (*European Commission, 2014; Kovacevic, 2009*). Сигурност снабдевања је препозната као појам којим се може обухватити и индиковати развој сектора природног гаса, и то увођењем N-1 индикатора

који је ближе дефинише. Индикатор описује способност гасног система да одговори на захтеве за потражњом природног гаса у екстремним околностима. Индикатор N-1 приказује дневну оперативну флексибилност гасне инфраструктуре, пратећи максималне расположиве количине природног гаса из свих постојећих извора као и максималну дневну потрошњу гаса у Републици Србији у двадесетогодишњем периоду.

Република Србија представља потрошача природног гаса средњег нивоа, са ограниченим опцијама снабдевања. Сигурност снабдевања примарно је повезана са доступношћу енергетских извора, као и разноврсношћу праваца снабдевања енергентом и либералношћу тржишта. Покренута гасном кризом крајем прве деценије 21. века, а у складу са општим трендом анализа и тестирања могућих прекида снабдевања које је законодавство ЕУ предвидело, Република Србија је такође активно разматрала ситуацију обуставе испоруке природног гаса из Русије преко Украјине (*Kovacevic, 2009*). Наиме, од 6. јануара 2009. године сви гасоводи који су водили преко Украјине до осталих земаља Средње и Југоисточне Европе су остали затворени у трајању од три недеље. Гасни сектори различитих земаља су другачије доживели и пребродили ову кризу. За Србију, коју карактерише висока увозна зависност, ова криза је била огроман тест, превасходно због сектора Топлана и функције даљинског грејања, где је у том моменту око 7000MWt инсталисаног капацитета користило природни гас као примарно гориво (*Kovacevic, 2009*). Истовремено, биле су доступне мале залихе лож уља, најчешће због буџетских ограничења локалних топлана. У рафинеријама су постојале одређене количине неких тешких горива, али због ограничених прерађивачких капацитета ове количине тешких горива нису могле бити коришћене у пуном обиму (*Kovacevic, 2009*). Криза је превазиђена искључењем индустријског сектора са мреже, увозом 4.7 милиона m³ дневно, као и увозом алтернативног горива (лож уља) из Босне и Херцеговине (*Kovacevic, 2009*).

Према (*European Commission, 2014*), спроведен је специфичан тест робусности како би се истражиле последице могуће обуставе транспорта природног гаса преко Украјине. Тежина последица разматрана је тестом смањења и прекида

снабдевања природним гасом (*European Commission, 2014*). Извршени тест показује недостатак природног гаса (у процентима) у случајевима 30-дневних и 90-дневних прекида испоруке природног гаса из Русије. Урађени су тестови за развој инфраструктуре у 2009. и 2014. години.

Резултати показују да је прекид снабдевања природним гасом кроз Украјину за 30 и 90 дана са нивоом развоја инфраструктуре као што је био 2009. (*European Commission, 2014; Kovacevic, 2009*) довео до потпуног застоја у потрошњи природног гаса у Србији. Ситуација се знатно побољшала до 2014. године, када је подземно складиште ПСГ Банатски Двор постало оперативно. Тренутно, Србија би требала имати довољно природног гаса за 30 дана прекида снабдевања, док би за 90 дана постојао мањак увозног гаса од 13,7% (*European Commission, 2014*). Наравно, ови резултати важе само за једну сезону. Без додатних рута снабдевања, Србија не би могла да попуни подземна складишта, што би се одразило на снабдевање гасом следеће године.

Анализа могућности Србије да ублажи снабдевање гасом преко Украјине показује да, у случају БАУ сценарија, недостатак од 13,7% количине за 90-дневну редукцију снабдевања може бити покривена за једну зимску сезону, због додатних капацитета (интерконекија са Бугарском или проширени капацитет ПСГ-а). Међутим, БАУ сценарио инфраструктурног развоја није могао да обезбеди одржива решења за дуже периоде. Током кризе у 2009. години, максимална предвиђена количина природног гаса путем постојеће интерконекије са Мађарском износила је 4,7 милиона m³ дневно. Овај износ, чак и ако га је могуће обезбедити, није довољан (заједно са износом из интерконекије са Бугарском) да се омогући несметано и технички изводљиво утискивање гаса у ПСГ и да се испуни годишња потражња свих потрошача, чак и у случају Референтног сценарија потрошње, посебно за пројекције 2025. године. Према томе, сценариј БАУ, у случају трајног прекида снабдевања гасом преко Украјине, вероватно би довео до смањења потрошње гаса након 2020. године, уз промену врсте горива у индустрији и сектору домаћинствима. Питање замене горива (тј. замене природног гаса) никада није разматрано у стратегијама енергетског развоја или другим

планским документима Републике Србије. Може се претпоставити да се у сектору домаћинства (стамбене јединице за једну породицу) може релативно лако постићи замена горива коришћењем огревног дрвета, угља, ТНГ-а, топлотних пумпи, електричне енергије итд. Осим тога, таква решења захтевају додатна улагања, док нека од њих, ако се примене у великој мери представљају опасност за стабилност електричне мреже (у случају масовног коришћења топлотне енергије употребом електричних грејача) или за околину (у случају употребе дрвета или угља, или у случају коришћења електричне енергије за грејање, јер се електрична енергија у Србији углавном производи од угља ниске топлотне моћи). У индустријском сектору, избор горива за замену гаса зависи од конкретних индустријских процеса, али несумњиво доводи до високих инвестиционих трошкова и утиче на профитабилност пословања.

Најзначајнији проблем настаје у пројекцији замене горива у системима даљинског грејања. Ови системи постоје у 57 градова и општина у Србији. Преко 600.000 домаћинстава (или скоро 30% свих домаћинстава у земљи) и око 8 милиона квадратних метара у јавном и комерцијалном сектору снабдевају се топлотном енергијом преко система даљинског грејања (*Министарство рударства и енергетике, 2016*) и то доминантно у зградама са више спратова без инфраструктуре за употребу било којих других средстава за грејање, осим уређаја за електричну енергију. Системи даљинског грејања тренутно су готово у потпуности засновани на фосилним горивима (природни гас 76%, тешко ложиво уље 13%, угљак 10% и биомаса 1%) (*Министарство рударства и енергетике, 2016*). Што се тиче замене енергента у системима централног грејања, стратешки правац (*Република Србија, 2015*) је био замена угља и лож уља биомасом и природним гасом као еколошки прихватљивијим горивима. Хипотетички, технички расположива биомаса и други потенцијали ОИЕ (отпадни, соларни, геотермални) могли би да задовоље комплетну потрошњу топлотне енергије (*Република Србија, 2015*), али поред веома високих улагања у такву акцију, потребно је урадити значајне напоре у области организације и законодавства, и такав процес би могао да траје деценијама.

Карактеристични индикатор N-1, у тренутној ситуацији, има вредности око 40%, што сврстава Србију у земље које се одликују ниским вредностима индикатора, осетно нижим у односу на просечне вредности за чланице ЕУ, али и ниже од већине најнижих вредности за ЕУ земље.

Изведени тест осетљивости уз претпоставке најављеног престанка снабдевања гасом преко Украјине, показује осетни пад вредности N-1 индикатора, који ни у најоптимистичнијој комбинацији сценарија не би достигао вредности индикатора тренутног стања.

Оно што је карактеристично за инфраструктурно оптимистичне сценарије јесте да, у случају реализације интерконекција за нове руте снабдевања за југоисточну Европу и изградње регионалног система за ТНГ-а, ОПТ сценариј би био готово неосетљив на разматране прекиде снабдевања природним гасом из Украјине.

6.6.1.2.3 Индикатор еколошке прихватљивости (Е)

Природни гас се у великој мери у готово свим секторима, осим једним делом у индустрији где је сировина, користи за производњу топлотне енергије сагоревањем. Као последица поменутог поступка настају гасовити продукти сагоревања који се емитују у атмосферу. Генерално, поменуте продукте сагоревања делимо на гасове изазиваче ефекта стаклене баште и друге полутанте. Природни гас сагорева без стварања чађи и чврстог пепела. У продуктима сагоревања такође нема или има у јако малој мери угљенмооксида и сумпороксида. Најдоминантнији производи сагоревања су угљендиоксид и азотни оксиди. И поред тога, повећање употребе природног гаса, посебно у сектору комбиновање производње електричне и топлотне енергије може допринети знатном смањењу емисија одређених штетних материја кроз супституцију енергената који се тренутно употребљавају (угаљ, мазут итд.).

6.6.1.2.3.1 Парцијални индикатор Емисија гасова стаклене баште (Е1)

Емисија гасова стаклене баште може посматрати кроз анализу емисије CO₂, пошто је емисија других гасова са ефектом стаклене баште занемарљива. Посматрајући сценарије потрошње природног гаса може се пројектовати укупна количине емитованог CO₂ у различитим пројекцијама потреба за природним гасом до 2025. године и то коришћењем IPCC емисионих фактора при процени директне емисије (*IPCC, 2006*). Када је у питању природни гас као гориво, емисија CO₂ се стандардно процењује на 1.9 kg/m³ природног гаса који сагорева или 56kg/GJ произведене енергије (*IPCC, 2006*).

Количина емитованог CO₂ је директно повезана са пројекцијама потрошње природног гаса. У табели 6.26 се налазе пројекције потрошње природног гаса по секторима апсолутно и специфично по јединици произведене енергије. Истовремено, у табели се налази и количина емитованог CO₂, до које се дошло употребом коефицијента емисије угљендиоксида (једначина 4.6).

Табела 6.26. Пројекције потрошње природног гаса и емисије CO₂

Сценарио	РЕФЕРЕНТНИ СЦЕНАРИО		СЦЕНАРИО ИНТЕНЗИВНЕ ПОТРОШЊЕ		јединице
	2020	2025	2020	2025	<i>kco₂ kg/GJ</i>
Сектор	2020	2025	2020	2025	56.1
Домаћинства	269.570	305.172	341.591	379.267	милиона m ³
Топлане	602.335	641.740	683.183	767.325	
Индустрија и остали	938.095	1129.669	1855,226	2203.408	
Укупно	1810	2076.581	2880	3350	
топлотна моћ	33.338	33.338	33.338	33.338	MJ/m ³
Домаћинства	8986925	10173824	11387961	12644003	GJ
Топлане	20080644	21394328	22775955	25581081	
Индустрија и остали	31274211	37660905	61849524	73457215	
Укупно	60341780	69229057	96013440	111682300	
Емисија CO₂	3385174	3883750	5386354	6265377	t CO ₂

Неопходно је напоменути, да се кроз овај парцијални индикатор не посматра укупна апсолутна вредност емисије, већ промена емисије у односу на капацитете постројења која користе природни гас. Потреба да се парцијални индикатори нумерички свде на емисије по јединици произведене енергије се јављају због идеје да се на најреалнији начин упореде сценарији интензивне потрошње природног гаса и референтни сценарио у коме је потреба за гасом осетно мања. Истовремено, на овај начин се избегава посматрање емисије као апсолутне вредности везане за употребу једног енергента, занемарујући уштеде и предности који интензивнија потрошња природног гаса доноси кроз нпр. супституцију фосилних горива лошијих еколошких карактеристика.

За комбиноване сценарије, који у себи садрже Оптимистичке сценарије инфраструктурног развоја, укупно емитована количина је умањена за ону количину гаса која је емитована употребом гаса за производњу електричне енергије. Разлог овога је потреба да се у обзир узму бенефити суституције лигнита као примарног енергента за производњу електричне енергије, природним гасом. Ако се посматра целокупан енергетски сектор, закључује

се да се количина емитованих гасова стаклене баште ипак смањује иако се интензивније троши природни гас.

Сценарио интензивне потрошње предвиђа већу потрошњу природног гаса у поређењу са Референтним сценаријем, преваходно због пројекција изградње гасних електрана за комбиновану производњу електричне и топлотне енергије. За 2020. годину, на основу пројекције потрошње, за Референтни и Сценарио интензивне потрошње, постоји разлика у емисији CO₂ у износу од нешто преко 2 милиона тоне, тј. око 37%. Сличан однос је и за пројекције за 2025. годину (увећање количине емисије за 38% или 2.38 милиона тона CO₂).

За комбиноване сценарије који се састоје из BAU сценарија инфраструктурног развоја (SC1 и SC2), количина емитованог угљен-диоксида је једнака вредностима израчунатим за пројекције потрошње.

Услед немогућности обезбеђивања потребних количина природног гаса у случају комбинованог сценарија SC5 и SC6 количина емитованог угљендиоксида расте услед потреба надокнађивања енергетских потреба коришћењем енергента који доприноси већој емисији CO₂.

У табели 6.27 се налазе нумерички улазни подаци парцијалног индикатора Емисије гасова стаклене баште (E1) за комбиноване сценарије (SC1-SC6).

Табела 6.27. Нумерички улазни подаци парцијалног индикатора Емисије гасова стаклене баште (E1) за комбиноване сценарије

E1	SC 1	SC 2	SC 3	SC 4	SC 5	SC 6
10 ³ t CO ₂	3385	5386	2877	3232	4401	6433

Поступком описаним у оквиру пете главе, а на основу вредности емитоване количине гасова са ефектом стаклене баште, одређује се специфичан фази скуп за парцијални индикатор Емисија гасова стаклене баште (E1) за комбиноване сценарије SC1-SC6 (Табела 6.28).

Табела 6.28. Специфичне вредности фази скупа за парцијални индикатор Емисије гасова стаклене баште (E1) за комбиноване сценарије SC1-SC6

SC \ j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
μ_{E1-SC1}	0	0	0	0.098	0.196	0.461	0.902	0.804	0	0
μ_{E1-SC2}	0	0	0.675	0.837	0.548	0.325	0.163	0	0	0
μ_{E1-SC3}	0	0	0	0	0	0.170	0.514	0.514	0.486	0.486
μ_{E1-SC4}	0	0	0	0	0	0.277	0.839	0.839	0.161	0.161
μ_{E1-SC5}	0	0	0	0.463	0.925	0.950	0.537	0.075	0	0
μ_{E1-SC6}	0.926	0.926	0.074	0.074	0.024	0	0	0	0	0

6.6.1.2.3.2 Парцијални индикатор Емисије полутаната (E2)

За емисије полутаната који настају сагоревањем природног гаса, приметно је да емисија чврстих честица не постоји, као ни емисија сумпорових оксида, изузев у случају када у састав природног гаса улази водоник-сулфид. У контексту посматраних полутаната, употреба природног гаса даје емисије оксида азота, али су оне најмање у односу на стандардна фосилна горива. Наиме, природни гас у свом саставу може да садржи азот, као баласт, али је обично реч о малом проценту. Истовремено, природни гас као гасовито гориво карактерише могућност доброг мешања са ваздухом, што спречава стварање тзв „депова“ богате смеше, која стимулише промтни механизам стварања оксида азота.

Ако се комбиновани сценарији са оптимистичним инфраструктурним развојем у себи посматрају у апсолутним физичким величинама њихов допринос би, секторски, показивао највећу количину емисије полутаната. Са друге стране, ОПТ сценарији инфраструктурног развоја предвиђају увођење гасних електрана чиме би била спроведена супституција угља, па би се кумулативна емисија полутаната на нивоу целокупног сектора Енергетике

смањила. Очекиваном супституцијом енергената природним гасом долази до потпуне елиминације емисије оксида сумпора и чврстих честица, као и осетног смањења укупне емисије оксида азота.

Количина емитованог NO_x је директно повезана са пројекцијама потрошње природног гаса. У табели 6.29 се налазе пројекције потрошње природног гаса по секторима апсолутно и специфично по јединици произведене енергије. Истовремено, у табели се налази и количина емитованог NO_x , до које се дошло употребом коефицијента емисије оксида азота (Табела 4.2).

Табела 6.29. Пројекције потрошње природног гаса и емисије NO_x

Сценарио	РЕФЕРЕНТНИ СЦЕНАРИО		СЦЕНАРИО ИНТЕНЗИВНЕ ПОТРОШЊЕ		јединице
	2020	2025	2020	2025	$\text{kg NO}_x/\text{GJ}$
Сектор	<i>2020</i>	<i>2025</i>	<i>2020</i>	<i>2025</i>	0.1
Домаћинства	269.570	305.172	341.591	379.267	милиона m^3
Топлане	602.335	641.740	683.183	767.325	
Индустрија и остали	938.095	1129.669	1855.226	2203.408	
Укупно	1810	2076.581	2880	3350	
топлотна моћ	33.338	33.338	33.338	33.338	MJ/m^3
Домаћинства	8986925	10173824	11387961	12644003	GJ
Топлане	20080644	21394328	22775955	25581081	
Индустрија и остали	31274211	37660905	61849524	73457215	
Укупно	60341780	69229057	96013440	111682300	
Емисија NO_x	6034	6923	9601	11168	kg NO_x

За комбиноване сценарије који се састоје из BAU сценарија инфраструктурног развоја (SC1 и SC2), количина емитованих оксида азота је једнака вредностима израчунатим за пројекције потрошње.

Услед немогућности обезбеђивања потребних количина природног гаса у случају комбинованог сценарија SC5 и SC6 количина емитованог NO_x расте услед потреба надокнађивања енергетских потреба коришћењем енергента који доприноси већој емисији оксида азота.

У табели 6.30 се налазе нумерички улазни подаци парцијалног индикатора Емисије полутаната (E2) за комбиноване сценарије (SC1-SC6).

Табела 6.30. Нумерички улазни подаци парцијалног индикатора Емисије полутаната (E2) за комбиноване сценарије

E2	SC 1	SC 2	SC 3	SC 4	SC 5	SC 6
kg NO _x	6034	9601	5123	5761	7844	11526

На основу вредности емитоване количине полутаната, изузев гасова са ефектом стаклене баште, одређује се специфичан фази скуп за парцијални индикатор Емисија полутаната (E2) за комбиноване сценарије SC1-SC6 употребом поступка презентованог у оквиру Главе 5. а везаног за нумеричке улазне податке (Табела 6.31).

Табела 6.31. Специфичне вредности фази скупа за парцијални индикатор Емисија полутаната (E2) за комбиноване сценарије SC1-SC6

SC \ j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
μ_{E2-SC1}	0	0	0	0	0	0.282	0.853	0.853	0.147	0.147
μ_{E2-SC2}	0	0	0.675	0.837	0.548	0.325	0.163	0.675	0	0
μ_{E2-SC3}	0	0	0	0	0	0.099	0.301	0.301	0.699	0.699
μ_{E2-SC4}	0	0	0	0.204	0.408	0.168	0.508	0.508	0.492	0.492
μ_{E2-SC5}	0	0	0.755	0.381	0.762	0.841	0.619	0.238	0	0
μ_{E2-SC6}	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0

6.6.2 Рангирање исхода применом АХП методе

Приликом формирања исхода max-min фази композиције за сваку комбинацију одређује се исход у чије дефинисање се укључује АХП критеријумска анализа.

Матрица поређења елемената, као и вредности степена конзистентности и тежинских коефицијената за парцијалне и синтезне индикаторе су приказане у оквиру табеле 6.32.

Табела 6.32. Поређење утицаја парцијалних на синтезни индикатор, степен коензистентности и тежински коефицијенти за различите парцијалне индикаторе

ДРУШТВЕНО-ЕКОНОМСКА ПРИМЕЊИВОСТ		Администр. примењивост	Економска оправданост	Доступност	CR	0,070669	Wi %
	Администр. примењивост	1	2	0,142857			14,97
	Економска оправданост	0,5	1	0,166667			9,91
	Доступност	7	6	1			75,13
СИГУРНОСТ СНАБДЕВАЊА		Расположивост	Диверсиф. извора и праваца	Развој гасне инфраструкт.	CR	0,033375	Wi %
	Расположивост	1	0,333333	0,2			10,62
	Диверсиф. извора и праваца	3	1	0,333333			26,05
	Развој гасне инфраструкт.	5	3	1			63,33
ЕКОЛОШКА ПРИХВАТЉИВОСТ		Емисија ГХГ	Емисија полутаната	Индиректни еко. ефекат	CR	0,074734	Wi %
	Емисија ГХГ	1	3	5			61,94
	Емисија полутаната	0,333333	1	4			28,42
	Индиректни еко. ефекат	0,2	0,25	1			9,64

Синтезни и парцијални индикатори у процесу композиције синтезног индикатора Енергетске безбедности су третирани помоћу Сатијеве АХП скале, што омогућује наглашавања утицаја одређеног парцијалног индикатора у опису синтезног индикатора и свођења субјективног утицаја аутора модела на минимум.

6.6.3 Анализа резултата математичког моделирања оцене енергетске безбедности за сектор природног гаса

Употребом специфичних фази скупова којима су дефинисани парцијални индикатори, у првом нивоу синтезе се дефинишу синтезни индикатори Друштвено-економске примењивости (D), Сигурности снабдевања (S) и Еколошке прихватљивости (E) композицијом претходно описаних парцијалних индикатора. У другом нивоу синтезе проналази се оцена енергетске безбедности као фази композиција индикатора Друштвено-економске примењивости (D), Сигурности снабдевања (S) и Еколошке прихватљивости (E). Сваки од шест комбинованих сценарија је подвргнут анализи кроз математички модел. Поступак се одвија пратећи алгоритам описан у 5. глави (јеначине 5.27-5.33). На основу анализе парцијалних индикатора дефинисана су три фази броја за синтезне индикаторе D, S и E. Посматрајући све могуће комбинације, издвајају се оне које задовољавају $\mu_{D,S,E}^{j=1, \dots, 10} \neq 0$ и за сваку такву се одређује исход α .

За сваку комбинацију даље се рачуна минимум, па се онда групишу комбинације са заједничким исходима. У последњој фази се за заједничке исходе бира максимум од понуђених минимума, чиме се формира max-min композиција за оцену енергетске безбедности.

Резултати за сваки сценарио су приказани табеларно.

- Комбиновани сценарио 1 (SC1)

За комбиновани сценарио 1 резултати су приказани у оквиру Табеле 6.33, 6.34 и 6.35, где се могу видети резултати анализе у првом нивоу синтезе, као и у Табели 6.36 где је приказана оцена енергетске безбедности за посматрани сценарио.

Табела 6.33 Друштвено-економска примењивост Сценарио 1

ДРУШТВЕНО-ЕКОНОМСКА ПРИМЕЊИВОСТ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
АДМИНИСТРАТИВНА ПРИМЕНЉИВОСТ	0,080	0,080	0,560	0,720	0,505	0,333	0,200	0,040	0	0
ЕКОНОМСКА ОПРАВДАНОСТ	0	0	0,388	0,694	0,740	0,612	0,306	0	0	0
ДОСТУПНОСТ	0	0	0,143	0,572	0,904	0,857	0,428	0	0	0

Процена рел. тежина - сума	0,150	0,099	0,751
----------------------------	-------	-------	-------

Табела 6.34 Сигурност снабдевања Сценарио 1

СИГУРНОСТ СНАБДЕВАЊА	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
РАСПОЛОЖИВОСТ	0	0	0	0,5	1	1	0,5	0	0	0
ДИВЕРСИФИКАЦИЈА ИЗВОРА И ПРАВАЦА	0	0	0,452	0,726	0,697	0,548	0,274	0	0	0
РАЗВОЈ ГАСНЕ ИНФРАСТРУКТУРЕ	0	0	0,279	0,639	0,813	0,721	0,361	0	0	0

Процена рел. тежина - сума	0,106	0,260	0,633
----------------------------	-------	-------	-------

Табела 6.35 Еколошка прихватљивост Сценарио 1

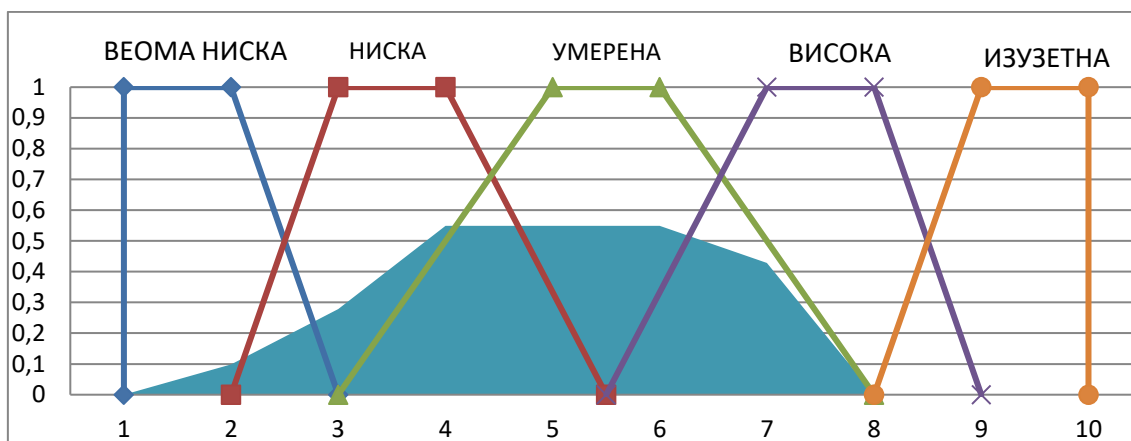
ЕКОЛОШКА ПРИХВАТЉИВОСТ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ЕМИСИЈА ГХГ	0	0	0	0,098	0,196	0,461	0,902	0,804	0	0
ЕМИСИЈА ПОЛУТАНАТА	0	0	0	0	0	0,282	0,853	0,853	0,147	0,147
ИНДИРЕКТНИ ЕКОЛОШКИ ЕФЕКАТ	0	0	0,27	0,5	0,549	0,549	0,5	0,27	0	0

Процена рел. тежина - сума	0,619	0,284	0,096
----------------------------	-------	-------	-------

Табела 6.36 Енергетска безбедност Сценарио 1

SC 1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ДРУШТВЕНО-ЕКОНОМСКА ПРИМЕЊИВОСТ	0	0,143	0,572	0,720	0,720	0,720	0,428	0	0	0
СИГУРНОСТ СНАБДЕВАЊА	0	0,279	0,639	0,726	0,726	0,697	0,361	0	0	0
ЕКОЛОШКА ПРИХВАТЉИВОСТ	0	0	0	0,098	0,196	0,461	0,549	0,549	0,147	0
ЕНЕРГЕТСКА БЕЗБЕДНОСТ	0	0,098	0,279	0,549	0,549	0,549	0,428	0	0	0

Овај сценарио представља комбинацију планираног умереног развоја инфраструктуре уз коришћење природног гаса које одговара историјском тренду. Графички приказ оцене ЕБ је приказан на слици 6.10.



Слика 6.10 Комбиновани сценарио 1 – оцена ЕБ

За овај сценарио је вредност енергетске безбедности се у свом највећем делу налази у области умерене ЕБ, са благим померајем на лево ка пољу које описује доминантно умерену и нижу енергетску безбедност.

Комбиновани сценарио 2 (SC2)

За комбиновани сценарио 2 резултати су приказани у оквиру Табеле 6.37, 6.38 и 6.39, где се могу видети резултати анализе по критеријумима, као и у Табели 6.40 где је регистрована укупна оцена енергетске безбедности за посматрани сценарио.

Табела 6.37 Друштвено-економска примењивост Сценарио 2

ДРУШТВЕНО-ЕКОНОМСКА ПРИМЕЊИВОСТ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
АДМИНИСТРАТИВНА ПРИМЕНЉИВОСТ	0,020	0,020	0,480	0,680	0,558	0,433	0,300	0,100	0	0
ЕКОНОМСКА ОПРАВДАНОСТ	0	0	0,904	0,952	0,394	0,096	0,048	0	0	0
ДОСТУПНОСТ	0	0	0	0,462	0,924	0,949	0,538	0,076	0	0

Процена рел. тежина - сума	0,150	0,099	0,751
----------------------------	-------	-------	-------

Табела 6.38 Сигурност снабдевања Сценарио 2

СИГУРНОСТ СНАБДЕВАЊА	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
РАСПОЛОЖИВОСТ	0	0	0	0,5	1	1	0,5	0	0	0
ДИВЕРСИФИКАЦИЈА ИЗВОРА И ПРАВАЦА	0	0	0,452	0,726	0,697	0,548	0,274	0	0	0
РАЗВОЈ ГАСНЕ ИНФРАСТРУКТУРЕ	0	0	0	0,414	0,827	0,884	0,586	0,173	0	0

Процена рел. тежина - сума	0,106	0,260	0,633
----------------------------	--------------	--------------	--------------

Табела 6.39 Еколошка прихватљивост Сценарио 2

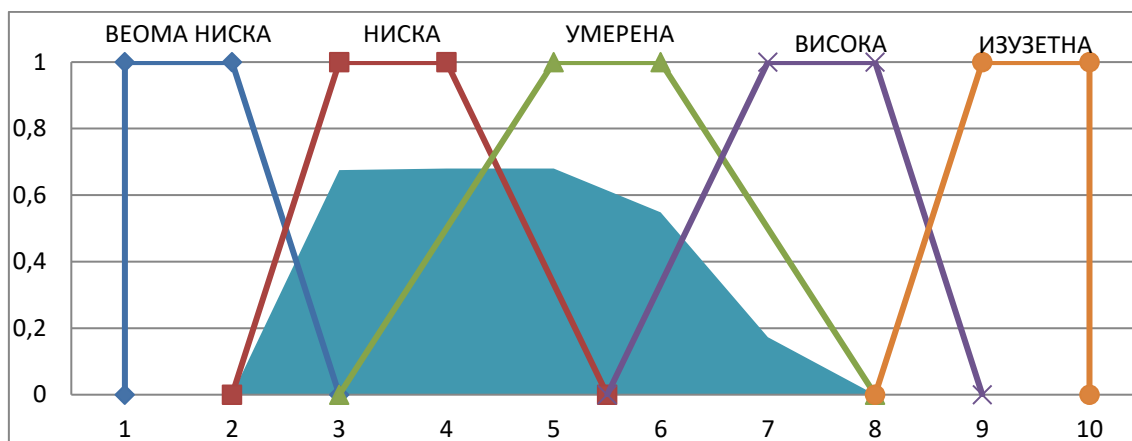
ЕКОЛОШКА ПРИХВАТЉИВОСТ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ЕМИСИЈА ГХГ	0	0	0,675	0,837	0,548	0,325	0,163	0	0	0
ЕМИСИЈА ПОЛУТАНАТА	0	0	0,675	0,8378	0,5488	0,325	0,163	0	0	0
ИНДИРЕКТНИ ЕКОЛОШКИ ЕФЕКАТ	0	0	0,08	0,44	0,746	0,786	0,56	0,2	0	0

Процена рел. тежина - сума	0,619	0,284	0,096
----------------------------	--------------	--------------	--------------

Табела 6.40 Енергетска безбедност Сценарио 2

SC 2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ДРУШТВЕНО- ЕКОНОМСКА ПРИМЕЊИВОСТ	00	0	0,462	0,680	0,680	0,680	0,433	0,076	0	0
СИГУРНОСТ СНАБДЕВАЊА	0	0	0,414	0,726	0,726	0,697	0,548	0,173	0	0
ЕКОЛОШКА ПРИХВАТЉИВОСТ	0	0	0,675	0,786	0,548	0,325	0,163	0	0	0
ЕНЕРГЕТСКА БЕЗБЕДНОСТ	0	0	0,675	0,680	0,680	0,548	0,173	0	0	0

Овај сценарио представља комбинацију умереног планираног развоја инфраструктуре уз интензивно коришћење природног гаса. Графички приказ оцене ЕБ је приказан на слици 6.11.



Слика 6.11 Комбиновани сценарио 2 – оцена ЕБ

Приметно је и да је за овај сценарио вредност енергетске безбедности померена на лево ка пољу које описује умерену и доминантно нижу енергетску безбедност. У овом сценарију је енергетска безбедност још лошија услед потенцијалне немогућности задовољења пројектованих потреба за гасом уз пратећи инфраструктурни развој.

- Комбиновани сценарио 3 (SC3)

Резултати комбинованог сценарија 3 су приказани у оквиру Табеле 6.41, 6.42 и 6.43, где се могу налазити информације из анализе парцијалних индикатора, као и у Табели 6.44 где је приказана укупна оцена енергетске безбедности за посматрани сценарио. Сценарио 3 карактерише интензиван инфраструктурни развој у комбинацији са очекиваном потрошњом која прати постојећи тренд.

Табела 6.41 Друштвено-економска примењивост Сценарио 3

ДРУШТВЕНО-ЕКОНОМСКА ПРИМЕЊИВОСТ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
АДМИНИСТРАТИВНА ПРИМЕНЉИВОСТ	0,220	0,220	0,640	0,710	0,351	0,140	0,070	0	0	0
ЕКОНОМСКА ОПРАВДАНОСТ	0	0	0	0,472	0,943	0,962	0,528	0,057	0	0
ДОСТУПНОСТ	0	0	0	0,289	0,577	0,717	0,711	0,423	0	0

Процена рел. тежина - сума	0,150	0,099	0,751
----------------------------	-------	-------	-------

Табела 6.42 Сигурност снабдевања Сценарио 3

СИГУРНОСТ СНАБДЕВАЊА	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
РАСПОЛОЖИВОСТ	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
ДИВЕРСИФИКАЦИЈА ИЗВОРА И ПРАВАЦА	0	0	0	0,149	0,298	0,530	0,851	0,702	0	0
РАЗВОЈ ГАСНЕ ИНФРАСТРУКТУРЕ	0	0	0	0	0	0,168	0,510	0,510	0,490	0,490

Процена рел. тежина - сума	0,106	0,260	0,633
----------------------------	--------------	--------------	--------------

Табела 6.43 Еколошка прихватљивост Сценарио 3

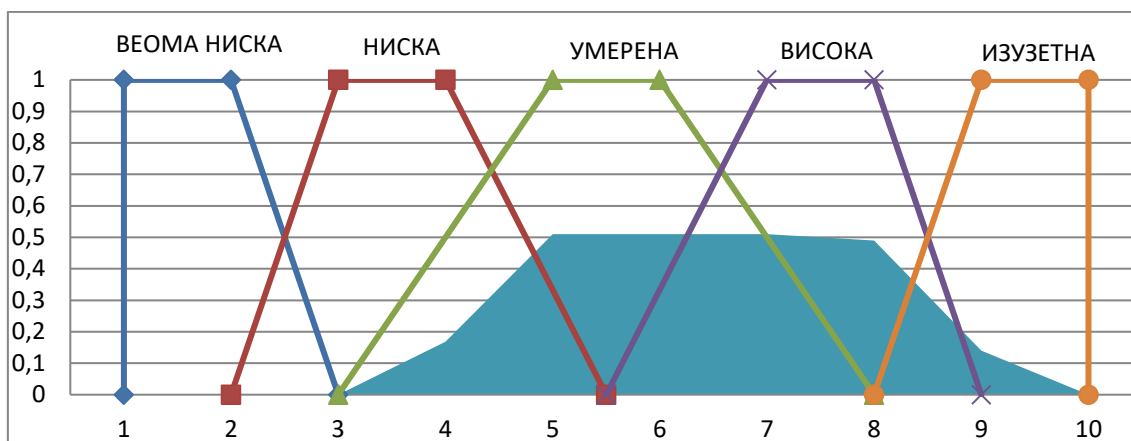
ЕКОЛОШКА ПРИХВАТЉИВОСТ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ЕМИСИЈА ГХГ	0	0	0	0	0	0,169	0,51	0,513	0,486	0,486
ЕМИСИЈА ПОЛУТАНАТА	0	0	0	0	0	0,099	0,301	0,301	0,698	0,698
ИНДИРЕКТНИ ЕКОЛОШКИ ЕФЕКАТ	0,02	0,02	0,34	0,58	0,592	0,533	0,4	0,16	0	0

Процена рел. тежина - сума	0,619	0,284	0,096
----------------------------	--------------	--------------	--------------

Табела 6.44 Енергетска безбедност Сценарио 3

SC 3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ДРУШТВЕНО- ЕКОНОМСКА ПРИМЕЊИВОСТ	0	0	0,289	0,577	0,710	0,710	0,528	0,140	0	0
СИГУРНОСТ СНАБДЕВАЊА	0	0	0	0	0,168	0,510	0,510	0,510	0,490	0
ЕКОЛОШКА ПРИХВАТЉИВОСТ	0	0	0	0	0	0,169	0,513	0,513	0,486	0,486
ЕНЕРГЕТСКА БЕЗБЕДНОСТ	0	0	0	0,168	0,51	0,51	0,51	0,49	0,14	0

Графички приказ оцене ЕБ је приказан на слици 6.12. Очекивано један од највиших резулата енергетске безбедности је постигнут кроз овај сценарио. То је посебно изражено у оквиру синтезног индикатора Сигурности снабдевања где је очигледан развој инфраструктуре уз повећање доступних извора и рута за снабдевања природним гасом.



Слика 6.12 Комбиновани сценарио 3 – оцена ЕБ

Вредност енергетске безбедности у сценарију 3 се у свом највећем делу налази десно у оквиру поља које описује умерену, а са мало мањом површином захвата промењиву високе енергетске безбедности. Овај сценарио одликује и неповољни аспект административне примењивости који захтева велики ангажман, али је истовремено загарантована економска оправданост уз високу еколошку прихватљивост.

- Комбиновани сценарио 4 (SC4)

Слична, па и још боља ситуација са оценом енергетске безбедности је у комбинованом сценарију 4. У оквиру Табеле 6.45, 6.46 и 6.47 се налазе вредности специфичних фази скупова парцијалних индикатора. Табелом 6.48 се даје укупна оцена енергетске безбедности за комбиновани сценарио 4.

Табела 6.45 Друштвено-економска примењивост Сценарио 4

ДРУШТВЕНО-ЕКОНОМСКА ПРИМЕЊИВОСТ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
АДМИНИСТРАТИВНА ПРИМЕНЉИВОСТ	0,260	0,260	0,600	0,670	0,338	0,140	0,070	0	0	0
ЕКОНОМСКА ОПРАВДАНОСТ	0	0	0	0,243	0,486	0,655	0,757	0,514	0	0
ДОСТУПНОСТ	0	0	0	0,204	0,408	0,603	0,796	0,592	0	0

Процена рел. тежина - сума	0,150	0,099	0,751
----------------------------	-------	-------	-------

Табела 6.46 Сигурност снабдевања Сценарио 4

СИГУРНОСТ СНАБДЕВАЊА	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
РАСПОЛОЖИВОСТ	0	0	0	0	0	0,324	0,981	0,981	0,019	0,019
ДИВЕРСИФИКАЦИЈА ИЗВОРА И ПРАВАЦА	0	0	0	0,149	0,298	0,530	0,851	0,702	0	0
РАЗВОЈ ГАСНЕ ИНФРАСТРУКТУРЕ	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

Процена рел. тежина - сума	0,106	0,260	0,633
----------------------------	-------	-------	-------

Табела 6.47 Еколошка прихватљивост Сценарио 4

ЕКОЛОШКА ПРИХВАТЉИВОСТ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ЕМИСИЈА ГХГ	0	0	0	0	0	0,277	0,839	0,839	0,161	0,161
ЕМИСИЈА ПОЛУТАНАТА	0	0	0	0	0	0,168	0,508	0,508	0,492	0,492
ИНДИРЕКТНИ ЕКОЛОШКИ ЕФЕКАТ	0	0	0	0,030	0,060	0,205	0,470	0,440	0,480	0,480

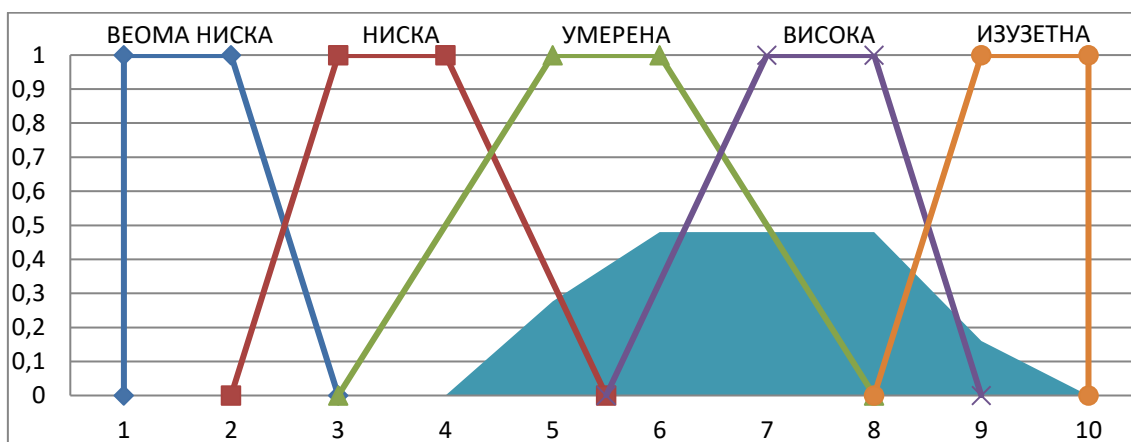
Процена рел. тежина - сума	0,619	0,284	0,096
----------------------------	-------	-------	-------

Табела 6.48 Енергетска безбедност Сценарио 4

SC 4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ДРУШТВЕНО-ЕКОНОМСКА ПРИМЕЊИВОСТ	0	0	0,204	0,408	0,603	0,670	0,670	0,338	0	0
СИГУРНОСТ СНАБДЕВАЊА	0	0	0	0	0	0	0,530	0,851	0,851	0
ЕКОЛОШКА ПРИХВАТЉИВОСТ	0	0	0	0	0	0,277	0,480	0,480	0,480	0,161
ЕНЕРГЕТСКА БЕЗБЕДНОСТ	0	0	0	0	0,277	0,48	0,48	0,48	0,385	0,161

Графички приказ оцене ЕБ је приказан на слици 6.13. Сценарио интензивне потрошње, праћен оптимистичким развојем гасне инфраструктуре, помера границе резултата енергетске безбедности (ЕБ) на десно, још више у област коју описује лингвистичка промењива висока енергетска безбедност. Донекле је било и очекивано да ће овај сценарио највишег развоја инфраструктуре показати добре резултате.

Овај сценарио је дао највишу оцену енергетске безбедности. На ово је првенствено утицао индикатор сигурности снабдевања, имајући у виду положај Србије и број активних извора са природним гасом, као и степен увозне зависности, али и парцијални индикатор Доступности који је веома добро оцењен.



Слика 6.13 Комбиновани сценарио 4 –оцена ЕБ

Вредност енергетске безбедности у сценарију 4 се у свом највећем делу налази десно у оквиру поља које описује високу енергетску безбедност. Овај сценарио има за нијансу лошије оцене по питању емисија полутаната у

односу на комбиновани сценарио 3, и то услед интензивирања индустријског развоја и увећане потрошње природног гаса.

- Комбиновани сценарио 5 (SC5)

Комбиновани сценариј 5 представља комбинацију пројекција развоја код којих је инфраструктура остала на тренутном нивоу, без нових интерконеције или проширења складишта. Сценарио 5 одликује референтна потрошња гаса, тј. потрошња гаса на основу историјског тренда. Док је сценарио 6 везан за интензивно повећање потреба за гасом.

У Табели 6.49, 6.50 и 6.51 се могу видети резултати анализе синтетских индикатора. Укупна оцена енергетске безбедности за комбиновани сценарио 5 је приказана у Табели 6.52.

Табела 6.49 Друштвено-економска примењивост Сценарио 5

ДРУШТВЕНО-ЕКОНОМСКА ПРИМЕЊИВОСТ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
АДМИНИСТРАТИВНА ПРИМЕНЉИВОСТ	0,280	0,280	0,660	0,690	0,278	0,060	0,030	0,000	0,000	0,000
ЕКОНОМСКА ОПРАВДАНОСТ	1,000	1,000	0	0	0	0	0	0	0	0
ДОСТУПНОСТ	0	0	0,755	0,877	0,494	0,245	0,123	0	0	0

Процена рел. тежина - сума	0,150	0,099	0,751
----------------------------	--------------	--------------	--------------

Табела 6.50 Сигурност снабдевања Сценарио 5

СИГУРНОСТ СНАБДЕВАЊА	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
РАСПОЛОЖИВОСТ	0	0	1	1	0,33	0	0	0	0	0
ДИВЕРСИФИКАЦИЈА ИЗВОРА И ПРАВАЦА	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
РАЗВОЈ ГАСНЕ ИНФРАСТРУКТУРЕ	0	0	0,865	0,933	0,420	0,135	0,067	0	0	0

Процена рел. тежина - сума	0,106	0,260	0,633
----------------------------	--------------	--------------	--------------

Табела 6.51 Еколошка прихватљивост Сценарио 5

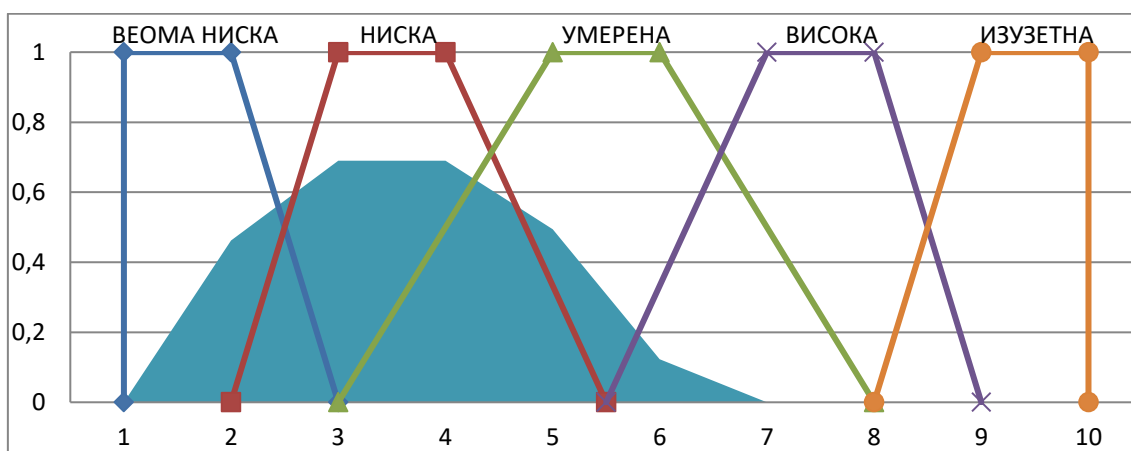
ЕКОЛОШКА ПРИХВАТЉИВОСТ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ЕМИСИЈА ГХГ	0	0	0	0,463	0,925	0,950	0,537	0,075	0	0
ЕМИСИЈА ПОЛУТАНАТА	0	0	0	0,381	0,762	0,841	0,619	0,238	0	0
ИНДИРЕКТНИ ЕКОЛОШКИ ЕФЕКАТ	0,700	0,700	0,280	0,290	0,112	0,020	0,010	0	0	0

Процена рел. тежина - сума	0,619	0,284	0,096
----------------------------	-------	-------	-------

Табела 6.52 Енергетска безбедност Сценарио 5

SC 5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ДРУШТВЕНО-ЕКОНОМСКА ПРИМЕЊИВОСТ	0	0,690	0,690	0,690	0,494	0,123	0,030	0	0	0
СИГУРНОСТ СНАБДЕВАЊА	0	0,933	0,933	0,420	0,135	0	0	0	0	0
ЕКОЛОШКА ПРИХВАТЉИВОСТ	0	0	0	0,463	0,700	0,700	0,537	0,075	0	0
ЕНЕРГЕТСКА БЕЗБЕДНОСТ	0	0,463	0,69	0,69	0,494	0,123	0	0	0	0

Графички приказ оцене ЕБ је приказан на слици 6.14.



Слика 6.14 Комбиновани сценарио 5 – оцена ЕБ

Резултати у оквиру сценарија 5 су са јако малим расипањем, доминантно груписни у оквиру ниске енергетске безбедности.

- Комбиновани сценарио 6 (SC6)

Комбиновани сценарији 6 одликује стагнација инфраструктурног развоја, без реализације ниједне нове интерконекције нити проширења капацитета

друге врсте. Сценарио 6 је везан за интензивно повећање потреба за гасом, па је осетљивост у оквиру парцијалног индикатора сигурности снабдевања очекивана. У Табели 6.53, 6.54 и 6.55 се могу видети резултати анализе парцијалних индикатора, док се у Табели 6.56 налази укупна оцена енергетске безбедности за комбиновани сценарио 6, док је графичко решење приказано на Слици 6.15.

Табела 6.53 Друштвено-економска примењивост Сценарио 6

ДРУШТВЕНО-ЕКОНОМСКА ПРИМЕЊИВОСТ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
АДМИНИСТРАТИВНА ПРИМЕНЉИВОСТ	0,400	0,400	0,580	0,590	0,211	0,020	0,010	0	0	0
ЕКОНОМСКА ОПРАВДАНОСТ	1,000	1,000	0	0	0	0	0	0	0	0
ДОСТУПНОСТ	0	0	0,556	0,778	0,627	0,444	0,222	0	0	0

Процена рел. тежина - сума	0,150	0,099	0,751
----------------------------	-------	-------	-------

Табела 6.54 Сигурност снабдевања Сценарио 6

СИГУРНОСТ СНАБДЕВАЊА	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
РАСПОЛОЖИВОСТ	0,382	0,382	0,618	0,618	0,204	0	0	0	0	0
ДИВЕРСИФИКАЦИЈА ИЗВОРА И ПРАВАЦА	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
РАЗВОЈ ГАСНЕ ИНФРАСТРУКТУРЕ	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Процена рел. тежина - сума	0,106	0,260	0,633
----------------------------	-------	-------	-------

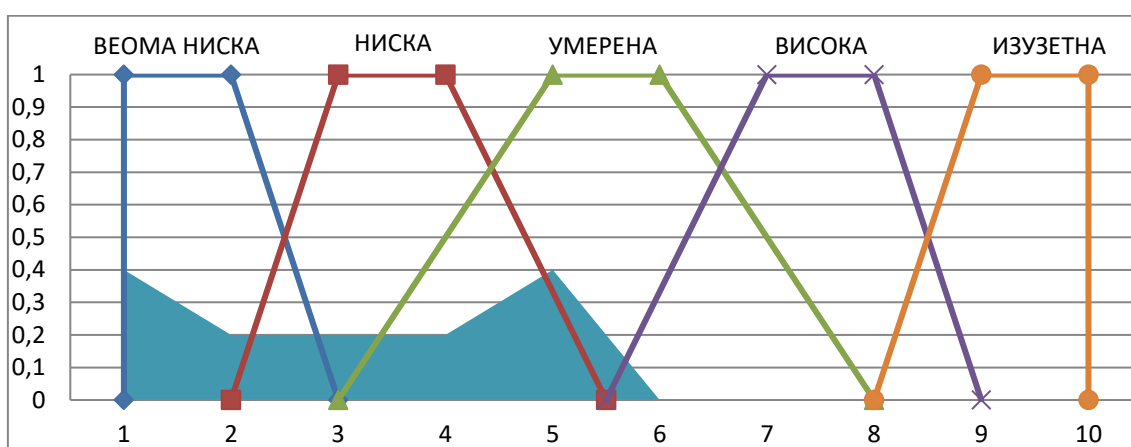
Табела 6.55 Еколошка прихватљивост Сценарио 6

ЕКОЛОШКА ПРИХВАТЉИВОСТ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ЕМИСИЈА ГХГ	0,926	0,926	0,074	0,074	0,024	0	0	0	0	0
ЕМИСИЈА ПОЛУТАНАТА	1,000	1,000	0	0	0	0	0	0	0	0
ИНДИРЕКТНИ ЕКОЛОШКИ ЕФЕКАТ	0,740	0,740	0,260	0,260	0,086	0,000	0	0	0	0

Процена рел. тежина - сума	0,619	0,284	0,096
----------------------------	-------	-------	-------

Табела 6.56 Енергетска безбедност Сценарио 6

SC 6	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ДРУШТВЕНО-ЕКОНОМСКА ПРИМЕЊИВОСТ	0	0,556	0,590	0,590	0,590	0,222	0,010	0	0	0
СИГУРНОСТ СНАБДЕВАЊА	1	1	0	0	0	0	0,618	0	0,618	0
ЕКОЛОШКА ПРИХВАТЉИВОСТ	0,740	0,740	0,074	0,740	0,074	0,074	0	0	0	0
ЕНЕРГЕТСКА БЕЗБЕДНОСТ	0,556	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0	0,01	0



Слика 6.15 Комбиновани сценарио 6 – оцена ЕБ

Ситуација у оквиру комбинованог сценарија 6 је слична као и у претходном комбинованом сценарију 5. Пројекција инфраструктурног развоја не предвиђа додатну изградњу инфраструктурних капацитета, а потребе за гасом су велике, па је оцена енергетске безбедности за комбиновани сценарио 6 најнижа у односу на све друге комбинације.

6.6.3.1 *Квантификација оцене енергетске безбедности*

Оцена енергетске безбедности се квантификује кроз тежиште површине као број у опсегу од 0 до 10. Тај број говори о самој енергетској безбедности, и то тако да пораст вредности тежишта представља виши ниво ЕБ. Оцена енергетске безбедности по синтезним индикаторима у форми доминантног тежишног резултата који представља фокус геометријског поља одређеног комбинованог сценарија је приказана у Табели 6.59.

Табела 6.59 Тежишта енергетске безбедности и синтезних индикатора за различите комбинације сценарија

	SC 1	SC 2	SC 3	SC 4	SC 5	SC 6
<i>Друштвено-економска примењивост</i>	4.305	4.670	4.975	5.355	3.119	3.285
<i>Сигурност снабдевања</i>	4.048	4.824	7.066	8.068	2.662	2.281
<i>Еколошка прихватљивост</i>	6.058	4.103	8.079	7.691	4.398	1.183
ЕНЕРГЕТСКА БЕЗБЕДНОСТ	4.527	4.259	6.140	7.176	3.266	2.738

Тежишта геометријских фигура које су приказане на сликама од 6.11 до 6.16, показују на још један начин сумирану нумеричку оцену појма енергетске безбедности сценарија развоја гасног сектора. Из већ поменутих разлога, комбиновани сценарији 3 и 4 имају највише оцене, што је и графички потврђено. Уколико би требало лингвистички изразити енергетску безбедност она би услучају сценарија 4 била највиша и могла би бити описана атрибутом висока ЕБ, док је у случају сценарија 3 опис ближи умерена ЕБ. У случају комбинованих сценарија 1 и 2, ЕБ би била ниска, док је за сценарио 5 и 6 лингвистичка оцена ЕБ веома ниска. На сличан начин би, посматрајући исту табелу, могли бити тумачени и парцијални индикатори у оквиру сваког комбинованог сценарија. Кроз тежишта геометријских фигура парцијалних индикатора се такође може сагледати и међусобна интерактивност индикатора, као и њихов допринос укупној оцени енергетске безбедности одређеног комбинованог сценарија.

6.6.3.2 Идентификација оцене енергетске безбедности

Идентификација се обавља употребом „Best-fit” методе, која служи за трансформацију оцене енергетске безбедности у форму која дефинише степен припадности оцене енергетске безбедности одређеном фази скупу или лингвистичкој промењивој - веома ниска, ниска, умерена, висока, изузетна.

Применом израза 5.34-5.37 на Комбиновани сценарио SC1 добијају се резултати идентификације приказани у Табели 6.57.

$$d_i(EB_{SC1}, \text{„веома ниска"}) = \sqrt{\sum_{k=1}^{10} \mu_M^k - \alpha_{LV_i}^k} = \quad (6.6)$$

$$\sqrt{(0-1)^2 + (0.098-1)^2 + (0.278-0)^2 + (0.549-0)^2 + (0.549-0)^2 + (0.549-0)^2 + (0.428-0)^2 + (0-0)^2 + (0-0)^2 + (0-0)^2} = 1.726$$

На основу резултата из Табеле 6.57, минимално растојање је $d_3=d_{min}$. Тада важи:

$$\alpha_1 = \frac{1}{d_1/d_{3min}} = \frac{1}{1.726/0.708} = 0.410 \quad (6.7),$$

као и:

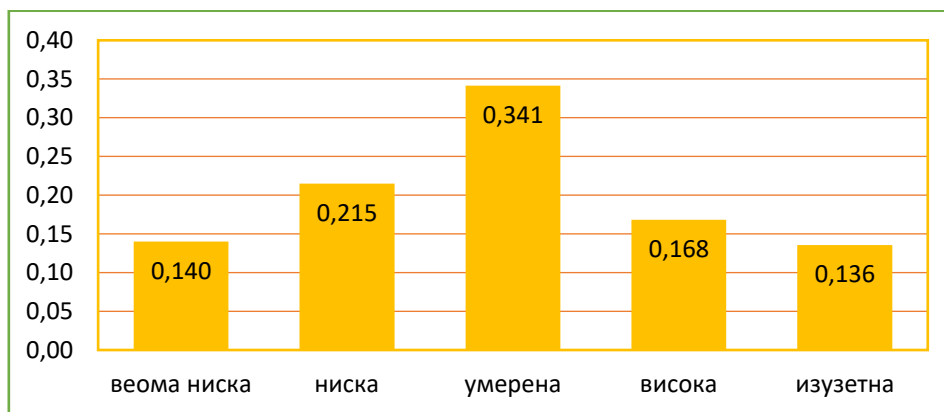
$$\beta_1 = \frac{\alpha_1}{\sum_{n=1}^{10} \alpha_i} = \frac{0.410}{0.410 + 0.630 + 1 + 0.493 + 0.397} = 0.140 \quad (6.8)$$

Табела 6.57. Идентификација оцене енергетске безбедности комбинованог сценарија SC1

Растојање	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Σ
d_{i1}	1	0.813	0.078	0.302	0.302	0.302	0.184	0	0	0	1.726
d_{i2}	0	0.010	0.520	0.203	0.047	0.302	0.184	0	0	0	1.125
d_{i3}	0	0.010	0.078	0.002	0.203	0.203	0.005	0	0	0	0.708
d_{i4}	0	0.010	0.078	0.302	0.302	0.047	0.327	1	0	0	1.436
d_{i5}	0	0.010	0.078	0.302	0.302	0.302	0.184	1	0	0	1.782
Релативно растојање		Нормализација									
α_{i1}	0.410		β_{i1}		0.140						
α_{i2}	0.630		β_{i2}		0.215						
α_{i3}	1		β_{i3}		0.341						
α_{i4}	0.493		β_{i4}		0.168						
α_{i5}	0.397		β_{i5}		0.136						

На основу табеле 6.57 оцена енергетске безбедности за Комбиновни сценарио SC1 се може приказати као (Слика 6.16):

$$EB_{SC1}=(0.140/\text{"веома ниска"}, 0.215/\text{"ниска"}, 0.341/\text{"умерена"}, 0.168/\text{"висока"}, 0.136/\text{"изузетна"}) \quad (6.9)$$



Слика 6.16 Оцена енергетске безбедности SC1

Аналогно описаном поступку, може се извршити идентификација степена припадности оцене енергетске безбедности адекватним LV за преосталих 5 комбинованих сценарија (SC2-SC6), што је приказано у оквиру Табеле 6.58.

Табела 6.58. Идентификација припадности оцене енергетске безбедности адекватној LV (SC2-SC6)

ЕВ	веома ниска	ниска	умерена	висока	изузетна
ЕВ _{SC2}	0.126	0.298	0.255	0.137	0.185
ЕВ _{SC3}	0.144	0.159	0.273	0.274	0.151
ЕВ _{SC4}	0.135	0.137	0.198	0.277	0.253
ЕВ _{SC5}	0,150	0,355	0,168	0,128	0,199
ЕВ _{SC6}	0,195	0,214	0,243	0,165	0,183

Црвеном бојом су означени доминантни резултати идентификације припадности оцене енергетске безбедности адекватној LV за све комбиноване сценарије.

6.6.3.3 *Анализа робусности*

Промена резултата оцене енергетске безбедности у зависности од произвољне промене сваког индикатора представља основу за анализу робусности математичког модела којим се оцењује енергетска безбедност. Применом методе која је модификација Монте Карло методе, тј. решавање проблема са интерпретацијом вероватноће⁴ (*Kroese, D. et al., 2014*), су третирани сви парцијални индикатори и то у 4 различитих варијанте:

- Повећање вредности експертских и нумеричких улазних података за 10%;
- Повећање вредности експертских и нумеричких улазних података за 20%;
- Смањење вредности експертских и нумеричких улазних података за 10%;
- Смањење вредности експертских и нумеричких улазних података за 20%.

Овакав приступ даје могућности истраживања утицаја било којег парцијалног индикатора као елемента који може допринети промени оцене енергетске безбедности, чиме се за почетак смањује обим истраживања могућих пројекција промена, али и покривају најразличитије опције потенцијалних промена у појавама које индикатори описују.

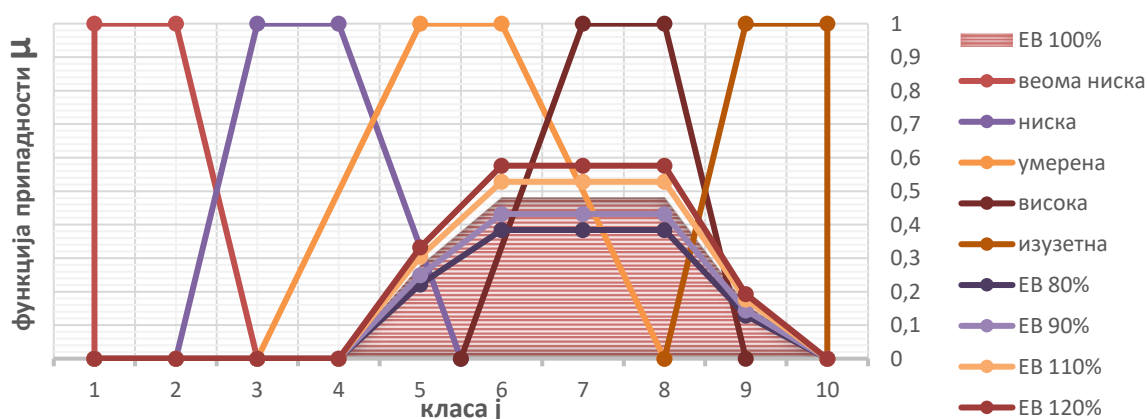
Оваква анализа је примењена и у моделу који је оцењивао енергетску безбедност сценарија развоја сектора природног гаса. На примеру најбоље оцењеног сценарија се може видети осетљивост модела на промене улазних података. У табели 6.59 су приказани резултати анализе робусности за Комбиновани сценарио 4 (SC4_{AO}), кроз поређење са претходним резултатима за Комбиновани сценарио 4 (SC4).

⁴ енгл. "interpretation of probability" (*Hastings, W. K., 1970*)

Табела 6.59 Специфичне вредности фази скупа за анализу робусности за Комбиновани сценарио 4 (SC4_{AO})

Промене улазних података	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SC4	0	0	0	0	0.277	0.48	0.48	0.48	0.161	0
SC4 _{AO 0.8}	0	0	0	0	0.222	0.384	0.384	0.384	0.128	0
SC4 _{AO 0.9}	0	0	0	0	0.249	0.432	0.432	0.432	0.144	0
SC4 _{AO 1.1}	0	0	0	0	0.305	0.528	0.528	0.528	0.177	0
SC4 _{AO 1.2}	0	0	0	0	0.332	0.576	0.576	0.576	0.193	0

На примеру комбинованог сценарија 4, анализа робусности је показала да, при смањењу вредности експертских и нумеричких улазних података за 10 и 20% (Слика 6.17), долази до смањења површине коју заузима оцена енергетске безбедности, тј. умањује се њен удео припадности адекватним вредностима лингвистичких промењивих. Услед равномерне промене улазних података, облик фигуре који описује оцену енергетске безбедности за SC4 остаје веома сличан. На слици 6.17 су контурним линијама приказане промене оцене енергетске безбедности у случају анализе робусности модела, док је површином означен графички приказ оцене енергетске безбедности за комбиновани сценарио из студије случаја.



Слика 6.17 Графички приказ анализе робусности SC4_{AO} при смањењу и повећању вредности експертских и нумеричких улазних података за 10 и 20%

Сличним поступком се долази и до резултата који показују осетљивост оцене енергетске безбедности у случају повећања вредности експертских и нумеричких улазних података за 10 и 20% (Слика 6.17). Може се приметити повећање површине коју заузима оцена енергетске безбедности, тј. повећава се њен удео припадности адекватним вредностима лингвистичких промењивих. Услед равномерне промене улазних података, облик фигуре који описује оцену енергетске безбедности за SC4 остаје готово идентичан само са увећаном максималном висином. Као и у случају смањења вредности улазних података, на сликама је кроз површину фигуре графички приказана оцена енергетске безбедности у случају анализе робусности, док су контурном линијом приказане границе оцене енергетске безбедности за комбиновани сценарио из студије случаја за сектор природног гаса.

Аналогно са овим поступком може се спровести тест робусности математичког модела за сваки комбиновани сценарио енергетског развоја сектора природног гаса.

7 ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА

Значај природних ресурса у енергетици не јењава ни у другој деценији XXI века, чак делује да је сада утицај енергетике на политичке одлуке, економију и друштвено дејство најизраженији икада. Методологијом предложеном у оквиру дисертације је покушано да се, пратећи тренутна начела политике Европске Уније, анализира и оцени ситуација по питању енергетске безбедности енергетских сектора у Републици Србији. Република Србија је чланица Енергетске заједнице и као таква преузела је и основна начела и обавезе ове Заједнице која дефинишу и ставове енергетске политике ЕУ. Неки од тих ставова су побољшање стања животне средине, употреба ОИЕ, повећање енергетске ефикасности, и то нарочито у вези са природним гасом и електричном енергијом. Други ставови се тичу унапређења тржишта и развијања конкурентности. Један од најважнијих стратешких задатака јесте јачање сигурности снабдевања енергијом, тј. подизање нивоа енергетске независности и самодовољности.

Дисертација разматра различите сценарије енергетског развоја, анализирајући исте кроз призму општег друштвеног, политичког и економског развојног миљеа. Путем пројекција стратешких планова дефинише се однос заједнице према енергетским субјектима, као и конвенционалним и неконвенционалним енергентима.

Енергетска безбедност је заузела централно место саме дисертације. Кроз њу се огледа и допринос напорима за боље тумачење фактора који утичу на енергетску безбедност, путем имплементације нове методологије за оцену енергетске безбедности. Само дефинисање појма енергетске безбедности повезано је са низом изазова, па је утврђивање нове методологије драгоцено само по себи. Дакле, ова дисертација је допринос напорима за боље тумачење фактора који утичу на енергетску безбедност, кроз имплементацију нове методологије за мерење енергетске безбедности.

Оцена енергетске безбедности је формирана развојем интегралне анализе сценарија енергетског развоја која је укључила нову методологију којом су се

идентификовали енергетски, економски, еколошки, друштвени и технички индикатори који их прате. Сам математички модел је заснован на употреби теорије фази скупова. Поступак израде интегралне анализе сценарија енергетског развоја и формирања синтезног модела је следећи:

- Успостављање индикаторске структуре и пропозиција парцијалних и синтезних индикатора увођењем одговарајућих лингвистичких променљивих за сваки индикатор, које су дефинисане у координатном систему функција припадности (μ) и класа као репрезента јединице мере индикатора (j). За потребе анализе је развијен модел са три синтезна индикатора – Друштвено-економска примењивост, Сигурност снабдевања и Еколошка прихватљивост. У оквиру синтезног индикатора друштвено-економске примењивости су парцијални индикатори Административна примењивост, Економска оправданост и Доступност. Парцијални индикатори Распољивост, Диверсификација извора и праваца и Развој инфраструктуре прецизније описују синтезни индикатор Сигурности снабдевања. Синтезни индикатор Еколошке прихватљивости је анализиран помоћу парцијалних индикатора Емисије ГХГ и Полутаната уз Индиректан еколошки ефекат;
- Фазификација улазних података кроз експертске процене и нумеричке улазне податке;
- Рангирање употребом методе Analytic Hierarchy Process (АХП), коју карактерише могућност наглашавања утицаја одређеног парцијалног индикатора у опису синтезног индикатора и свођења субјективног утицаја аутора модела на минимум;
- Композиција парцијалних индикатора на ниво синтезног. Композиција представља завршни корак у изради методологије интегралне анализе. Приликом процене нивоа енергетске безбедности одређеног сценарија енергетског развоја, неопходно је повезати све утицаје парцијалних индикатора. Синтеза се обавља помоћу одговарајућег фази модела заснованог на max-min композицији. Овај модел има за циљ да успостави

мерљивост и упоредивост појма енергетске безбедности у оквиру различитих сценарија енергетског развоја.

Као основна одлика модела којим је вршена анализа сценарија енергетског развоја по питању енергетске безбедности јесте његова универзалност у примени, тј. могућност употребе за различите енергетске секторе. То је последица креирања униформне групе синтензних индикатора уз пратеће парцијалне индикаторе. Анализа парцијалних индикатора је специфичност сваке посебне студије случаја.

Као студија случаја, кроз рад је анализирана енергетска безбедност сектора природног гаса Републике Србије. Српска енергетска политика је у последњих 25 година константно промовисала природни гас као еколошки прихватљив, технички доступнији и економски исплативији енергент. Снабдевање природним гасом у Србији карактерише висока увозна зависност (преко 80%). Гас се увози преко једне руте, доминантно из Русије кроз Украјину, интерконекцијом између Србије и Мађарске.

Реалне пројекције у гасном сектору Републике Србије указују да се очекује да ће се увоз повећати, због смањења количине произведеног гаса из домаћих налазишта и предвиђене повећане потражње за гасом. У таквом окружењу, осигурање енергетски безбедног снабдевања потрошача један је од највиших приоритета српске енергетске политике. Недавно усвојен Програм имплементације Стратегије развоја енергетике утврдио је листу инфраструктурних пројеката у сектору природног гаса, чија имплементација треба да побољша тренутну ситуацију.

Ефекти пројектованих промена у сектору природног гаса истражени су кроз шест сценарија развијених као комбинација три сценарија који претпостављају финализацију различитих инфраструктурних пројеката и два сценарија који претпостављају различиту потребу за гасом до 2025. године. Сценарији инфраструктурног развоја гасног сектора описују тренутну ситуацију гасне инфраструктуре кроз ПЕС сценарио, као и пројекције развоја подземног складишта и увођења нових интерконекција, тј. рута снабдевања природним гасом кроз БАУ и ОПТ сценарио. Референтни

сценарио потрошње природног гаса је заснован на историјском тренду пораста потрошње природног гаса праћеном порастом БДП-а и применом мера енергетске ефикасности из Акционог плана. Сценарио интензивне потрошње природног гаса предвиђа пораст потрошње уз обавезну реализацију интерконекције ка новим изворима снабдевања. Поред интерних инфраструктурних пројекта, за потребе детаљне анализе сигурности снабдевања, разматрао се инфраструктурни развој кроз реализоване, започете и предвиђене пројекти који се односе на природни гас у региону, као и могућност повезивања са неким од будућних гасоводних токова. Овде се превасходно мисли на Јужни гасни коридор и пратеће структурне пројекте (ТАП, ТАНАП и Интерконектор Грчка-Бугарска), као и планирани Турски ток.

За сваки сценарио је карактеристично да је еколошки ефекат употребе природног гаса веома повољан, као и да, у сваком сценарију интерконекција са Мађарском и даље представља највећи извор снабдевања природним гасом.

Радам у дисертацији се тежило представљању и оцени енергетске безбедности анализираних пројекција развоја и потрошње система природног гаса у Србији, уз истовремену анализу могућности реакције сектора природног гаса на прекид снабдевања гасом. Неке од поменутих сценарија развоја гасоводног система могу ублажити привремене или трајне прекиде снабдевања природним гасом преко Украјине, док су неки други сценарији потпуно немоћни или, другим речима енергетски небезбедни.

Као доминантни индикатор у сектору природног гаса у Републици Србији се издваја Сигурност снабдевања превасходно због једног извора гаса (Русија) и једног правца снабдевања гасом (преко Украјине интерконекцијом са Мађарском). Очекивано, најниже вредности оцене енергетске безбедности се јављају у ПЕС сценаријима инфраструктурног развоја, тј. ако постојећа инфраструктура остане иста у будућности. У овим случајевима, сигурност снабдевања је на неприхватљиво ниском нивоу, далеко испод просечног нивоа у земљама ЕУ, а сам систем сектора природног гаса је веома осетљив на смањење могућности снабдевања. Сценарији развоја сектора природног

гаса који садрже пројекције оптимистичног инфраструктурног развоја су сценарији који померају енергетску безбедност сектора природног гаса на виши ниво. Приметно је да амбициознија реализација инфраструктурних пројеката Републици Србији доноси задовољавајуће нивое енергетске безбедности, без ограничења чак и у случају трајног прекида снабдевања гасом преко Украјине. Пројекти унапређена и реализације гасне инфраструктуре су веома захтевни и са финансијског аспекта, као и потребног времена, па се не може очекивати ускоро увођене свих планираних интерконекција. Оптималан развој инфраструктуре би следио БАУ сценарио до 2020., односно ОПТ сценарио до 2025.

Међутим, изградња нових интерконекција и повећање капацитета подземног складишта природног гаса су неопходни, али не и довољни предуслови за подизање енергетске безбедности. Пуна валоризација нових инвестиција је могућа једино уз изградњу међународних рута, што ће донети алтернативне правце снабдевања, као и нове изворе природног гаса.

Дисертација је оцени енергетске безбедности приступила са различитих аспеката (друштвени, економски, енергетски и технички, еколошки и сл.) са циљем презентовања што реалнијег описа енергетске безбедности различитих сценарија развоја сектора природног гаса. Може се закључити да се добијене критеријумске зависности могу користити при дефинисању енергетске безбедности било ког енергетског система, а изведена методологија интегралне анализа сценарија енергетског развоја може свој општи карактер прилагодити, уз адекватну индикаторску анализу, свакој индивидуалној пројекцији енергетског развоја.

8 ЛИТЕРАТУРА

УНДП, Стратешко планирање и развој јавних политика, Приручник за стратешко планирање, 2010., доступно на: http://www.ba.undp.org/content/dam/bosnia_and_herzegovina/docs/Research&Publications/Democratic%20Governance/Handbook%20for%20Strategic%20Planning%20and%20a%20Handbook%20for%20Policy%20Development/Prirucnik%20za%20stratesko%20planiranje%20latinicna%20verzija.pdf

Wang, J.J., Jing, Y.Y., Zhang, C.F., Zhao, J.H., Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 13 (9), 2009, pp. 2263-227

Kruyt, B., Van Vuuren, D.P., de Vrijes, H.J.M., Groenenberg, H., Indicators for energy security, *Energy Policy*, Volume 37, 2010, pp. 2166–2181

Downs, E.S., The Chinese security debate, *China Q*, Volume 177, 2014, pp. 21–41

Dyer, H., Trombetta, M.J., The concept of energy security: broadening, deepening transforming, *International handbook of energy security*, Edward Elgar Publishing Limited, 2013, pp. 3–18

Geels, F.V., The impact of the financial–economic crisis on sustainability transitions: financial investment, governance and public discourse, *Environ Innov Soc Transit*, 2013, Volume 6, pp. 67–95.

Bradshaw, M.J., The geopolitics of global energy security, *Geogr Compass*, 2009, Volume 3(5), pp. 1920–37.

Ismailescu, I., Kazemi, H., The reaction of emerging market credit default swap spreads to sovereign credit rating changes, *J Bank Financ* 2010, Volume 34(12), pp. 2861–73.

Sovacool, B.K., Mukherjee, I., Drupady, I.M., D’Agostino, A.L., Evaluating energy security performance from 1990 to 2010 for eighteen countries, *Energy*, Volume 36, 2011, pp. 5846–5853

M. Kanellakis, G. Martinopoulos, T. Zachariadis, European energy policy — a review, *Energy Policy*, Volume 62, 2013, pp. 1020–1030

Radovanovic, M., Filipovic, S., Pavlovic, D., Energy security measurement – A sustainable approach, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 68, 2017, pp. 1020–1032

Augustis, J., Krikstolaitis, R., Martisauskas, L., Peciulyte, S., Energy security level assessment technology, *Appl Energy*, Volume 97 (2012), pp. 143–149

Simpson, A., The environment–energy security nexus: critical analysis of an energy 'love triangle' in Southeast Asia, *Third World Q*, Volume 28, 2007, pp. 539–554

Weber, K., Martinsen, D., From system cost minimization to sustainability maximization—A new fuzzy program approach to energy systems analysis, *Fuzzy Sets and Systems*, 2013, Volume 231, pp. 1-25

Golušin, M., Munitlak-Ivanović, O., Andrejević, A., Vučenov, S., Survey of socio economic growth in SE Europe – new conceptual frame for sustainability metrics, *J Econ. Surv*, Volume 28, 2014, pp. 152–168

Umbach, F., Global energy security and the implications for the EU, *Energy Policy*, Volume 38, 2010, pp. 1229–1240

Vivoda, V., Evaluating energy security in the Asia-Pacific region: a novel methodological approach, *Energy Policy*, Volume 38, 2010, pp. 5258–5263

McCarthy, R.W., Ogden, J.M., Sperling, D., Assessing reliability in energy supply systems, *Energy Policy*, Volume 35, 2007, pp. 2151–2162

Checchi, A., Behrens, A., Egenhofer, C., Long-term energy security risks for Europe: a sector-specific approach (Working document), Centre for European Policy Studies, Brussels, 2009

Jansen, J.C., Seebregts, A.J., Long-term energy services security: what is it and how can it be measured and valued?, *Energy Policy*, Volume 38, 2010, pp. 1654–1664

Gnansounou, E., Assessing the energy vulnerability: case of industrialized countries, *Energy Policy*, Volume 36, 2008, pp. 3734–3744

Molyneaux, L., Wagner, L., Froome, C., Foster J., Resilience and electricity systems: a comparative analysis, *Energy Policy*, Volume 47, 2012, pp. 188–201

Cherp, A., Jewell, J., The three perspectives on energy security: intellectual history, disciplinary roots and the potential for integration, *Curr Opin Environ Sustain*, Volume 3, 2011, pp. 1–11

Radovanovic M., Filipovic S., Golusin, V., Geo-economic approach to energy security measurement – principal component analysis, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 82, 2018, pp. 1691–1700

Hedberg, A. Europe's energy security – is the Energy Union the answer?, *European Policy Centre*, Brussels; 2015.

European Commission, Commission Staff Working Document, In-depth study of European Energy Security, accompanying the document communication from the Commission to the Council and the European Parliament: European energy security strategy, Brussels, 2014, доступно на: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/20140528_energy_security_study.pdf

Patlitzianas, K.D., Doukas, H., Kagiannas, AG, Psarras, J., Sustainable energy policy indicators: review and recommendations, *Renew Energy*, 2008, Volume 33, pp. 966–973.

Loschel. A., Moslener. U., Rubbelke, D.T.G., Indicators of energy security in industrialized countries. *Energy Policy*, 2010, Volume 38, pp, 1665–71.

Greene, D.L. Measuring energy security: can United States achieve oil independence?, *Energy Policy*, 2010, Volume 38, pp. 1614–21.

Filipović, S., Verbič, M., Radovanović, M., Determinants of energy intensity in the European Union: A panel data analysis, *Energy*, 2015, Volume 92(3), pp. 547–55.

Chang, M.C., Energy intensity, target level of energy intensity, and room for improvement in energy intensity: an application to the study of regions in the EU, *Energy Policy*, 2014, Volume 67, pp. 648–55.

Costa-Campi, M.T., del Rio, P., Trujillo-Baute, E., Trade-offs in energy and environmental policy, *Energy Policy* 2017, Volume 10, pp. 415–418.

Muller-Kraenner, S., *Energy security*. New York, Earthscan, 2015.

Esakova, N., European energy security: analyzing the Eu-Russia energy security regime in terms of independence theory, Springer, 2013.

Mansson, A., Johansson, B., Nilsson, L.J., Assessing energy security. Energy, 2014, Volume 73, pp. 1–14.

Cherp, A., Johansson, T.B., Patwardhan. A., Nakicenovic, N., Gomez-Echeverri, L., Energy and security, Toward asustainable future, Cambridge University Press, 2012, pp.325–84.

Scheepers, M., Seebregts, A., De Jang J., Maters, H., EU standards for energy security of supply, ECN/Clingendael International Energy Program Petten, The Netherlands, European Commission, Directorate-General for Energy and Transport, 2007.

Gupta E., Oil vulnerability index of oil-importing countries, Energy Policy 2008, Volume 36, pp. 1195–211.

Von Hippel, D., Suzuki, T., Williams, J.H., Savage, T., Hayes, P., Energy security and sustainability in Northeast Asia, Energy Policy, 2013, Volume 39, pp. 6719–6730.

Blyth, W., Lefevre, N., Energy security and climate change, Paris, International Energy Agency, 2004.

Le Coq, C., Paltseva, E., Measuring the security of external energy supply in the European Union, Energy Policy, 2011, Volume 37, pp. 4474–81.

IEA, International Energy Agency, Energy Security and Climate Policy - Assessing Interactions, 2007, доступно на: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/energy_security_climate_policy.pdf

***, Summary Report, Risk of Energy Availability Common Corridors for Europe Supply Security, Project funded by ECFP7 under the theme “Energy Security of Supply”, Final Workshop, Brussels, 2011.

US Chamber of commerce, Index of US Energy Security Risk, 2012, Washington DC, 2011.

Global Energy Institute, INDEX OF U.S. ENERGY SECURITY RISK, 2017, доступно на:

<https://www.globalenergyinstitute.org/sites/default/files/USIndexFinal2PDF.pdf>

US Chamber of commerce, International Index of Energy Security Risk, 2015Ed. Washington DC, 2015.

Jewell, J., The IEA model of short-term energy security (MOSES) primary – energy sources and secondary fuels, Paris, International Energy Agency, 2011., доступно на:

https://www.researchgate.net/publication/254439192_The_IEA_Model_of_Short-Term_Energy_Security_MOSES_Primary_Energy_Sources_and_Secondary_Fuels

Badea, A.C, Rocco, C.M, Tarantola, S., Bolado, R., Composite indicators for security of energy supply using ordered weight averaging, Reliab Eng Syst Safety, 2011, Volume 96, pp. 651–662., доступно на: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832010002814>

World Economic Forum, Global Energy Architecture Performance Index Report 2015, Geneva, 2015, доступно на: http://www3.weforum.org/docs/WEF_GlobalEnergyArchitecture_2015.pdf

Rosenzweig, M. L., Species Diversity in Space and Time. Cambridge University Press, New York, 1995

Börjeson, L., Höjer, M., Dreborg, K.H., Ekvall, T., Finnveden, G., Scenario types and techniques: Towards a user's guide, Futures, Volume 38 (7), 2006, pp. 723-739

Van Notten, Ph.W.F., Rotmans, J., Van Asselt, M.B.A., Rothman, D.S., An updated scenario typology: an attempt at synthesis, Futures, Volume 35 (5), 2003, pp. 423–443

Carlsson-Kanyama, A., Dreborg, K., Moll, H., Padovan, D., Participative backcasting: A tool for involving stakeholder in local sustainability planning, Futures, Volume 40, 2008. pp. 34-46

Vergragt, P., Quist, J., Backcasting for sustainability: Introduction to the special issue, Technological Forecasting and Social Change, Volume 78, 2011, pp. 747–755

- Quist, J., Backcasting for a sustainable future-the impact after 10 years, Eburon academic publishers, Delft, The Netherlands, 2007
- IPBES, Science and policy for people and nature, Policy support tools and methodologies, 2019, доступно на: <https://www.ipbes.net/exploratory-scenarios>
- Robinson, J., Energy backcasting: a proposed method of policy analysis, Energy Policy, Volume 10 (4), 1982, pp. 337-344
- Lovins, A.B., Soft energy paths: toward a durable peace, Friends of the Earth International / Ballinger Publishing Company, Cambridge MA, 1977
- Holmberg, J., Robèrt, K.H., Backcasting: a framework for strategic planning, International Journal of Sustainable Development and World Ecology, Volume 7 (4), 2000, pp. 291-308
- Zivkovic, M., Pereverza, K., Pasichnyi, O., Madzarevic, A., Ivezic, D., Kordas, O., Exploring scenarios for more sustainable heating: The case of Niš, Serbia, Energy, Volume 115, Part 3, 2016, pp. 1758-1770
- Quist, J., Vergragt, P., Past and future of backcasting: the shift to stakeholder participation and a proposal for a methodological framework, Futures, Volume 38 (9), 2006, pp. 1027-1045
- Zadeh, L., Fuzzy sets, Information and Control, 1965, Volume 8, pp. 338-353
- Suganthi, L., Anand Iniyan, S., Samuel, A., Applications of fuzzy logic in renewable energy systems – A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015 Volume 48, pp. 585-607
- Zadeh, L.A., The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning, III Information Sciences, 1975, Volume 9 (1), pp. 43-80
- Buckley, J.J., The multiple judge, multiple criteria ranking problem: A fuzzy set approach, Fuzzy sets and systems, Volume 13, 1984, pp. 25-37
- Haans, M., Applied fuzzyArithmetic – an introduction with engineering applications, Springer, 2005.

- Petrovic, D., Tanasijevic, M., Milic, V., Lilic, N., Stojadinovic, S., Svrkota, I., Risk assessment model of mining equipment failure based on fuzzy logic, *Expert Systems with Applications*, 2014, Volume 41, pp. 8157–8164
- Reveiz, A., Leon, C., Operational risk management using a fuzzy logic inference system, *Borradores de Economia*, 2009, Volume 574, pp. 1–30.
- Hocine, A., Kouaissah, N., Bettahar, S., Benbouziane, M., Optimizing renewable energy portfolios under uncertainty: A multi-segment fuzzy goal programming approach, *Renewable Energy*, 2018, Volume 129, pp. 540-552
- Klir, G., *Fuzzy sets and fuzzy logic*, Prentice Hall P T R , Neew Jersey, USA, 1997.
- Belohlavek, R., *Fuzzy Relational Systems: Foundations and Principles*, Kluwer, New York, 2002.
- Buckley, J.J., Eslami, E., Feuring, T., *Fuzzy mathematics in economics and engineering*, Springer, 2002
- Pap, E., *Fazi mere i njihova primena*, Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno matematički fakultet Novi Sad, 1999
- Bortolan, G., Degani, R., A review of some methods for ranking fuzzy subsets, *Fuzzy sets and systems*, Volume 15, 1985, pp. 1-19,
- Konidari, P., Mavrakis D., A multi-criteria evaluation method for climate change mitigation policy instruments, *Energy Policy*, Volume 35, 2007, pp. 6235–6257
- HHI, Herfindahl-Hirschman индекс, 2018 доступно на: <http://www.investopedia.com/terms/h/hhi.asp>
- Jingzheng, R., Sovacool, B.K., Quantifying, measuring, and strategizing energy security: Determining the most meaningful dimensions and metrics, *Energy*, Volume 76, 2014, pp. 838-849
- Tanasijevic, M., Zivkovic, M., Ivezic, D., Madzarevic, A., Model for assessing the security of heat supply, X IIPP Symposium, Belgrade 2014, pp. 137-143

ENTSOГ, European Network of Transmission System Operators for Gas, Ten Year Network Development Plan 2015 – Anex F - Methodology, <http://www.entsog.eu/publications/tyndp>

Scheraga, J., Leary, N., Improving the efficiency of policies to reduce CO₂ emissions, Energy Policy, Volume 20 (5), 1992, pp 394-404

IEA, CO₂ Emissions from Fuel Combustion, 2018a, доступно на: <https://webstore.iea.org/co2-emissions-from-fuel-combustion-2018-highlights>

IPCC, Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2006

Lide. D.R., CRC Handbook of Chemistry and Physics, Boca Raton, 2006

Holleman, A. F., Wiberg, E., Inorganic Chemistry, San Diego: Academic Press. ISBN 0-12-352651-5, 2001

EPA, United States Environmental Protection Agency, Sulphur oxide ,2018

Soud, H., Fukasawa, K., Developments in NO_x abatement and control, IEACR/89, IEA Coal Research, London, 1996.

Carpenter, A., Davidson, R., NO_x emissions and control, IEA Clean Coal Centre, London, UK, 2006.

IEA, NO_x Emissions from Fuel Combustion, 2018b, доступно на: <https://webstore.iea.org/co2-emissions-from-fuel-combustion-2018-highlights>

Henry, W.M., Knapp, K.T. ,Compound forms of fossil fuel fly ash emissions, Environmental Science Technology 2010, Volume 4, pp. 450-456

Jovašević-Stojanović, M., Bartonova, A., Current State of Particulate Matter Research and Management in Serbia, CICEQ, Volume 16 , 2010, pp. 207-212

Ђукић П., Ђукановић С., Одрживи развој: економско-еколошки изазови, Технолошко-металуршки факултет, Београд, 2015

Babic, Z., Plazibat, N., Ranking of enterprises based on multicriterial analysis, International Journal of Production Economics, 1998, Volume 56–57, pp. 29-35

Macharis, C., Springael, J., De Brucker, K., Verbeke, A., PROMETHEE and AHP: The design of operational synergies in multicriteria analysis.: Strengthening

PROMETHEE with ideas of AHP, European Journal of Operational Research, 2004, Volume 153(2), pp. 307-317

Ivezic, D., Tanasijevic, M., Ignjatovic, D., Fuzzy approach to dependability performance evaluation, Quality and Reliability Engineering International, 2008, Volume 24(7), pp. 779–792.

Zadeh, L.A., Fuzzy Logic = Computing with words, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Volume 4(2), 1996, pp. 103-111.

Kundu, S., The min–max composition rule and its superiority over the usual max–min composition, Fuzzy Sets & Systems, Volume 93, 2008, pp. 319–329

WEC, World Energy Resources Report, 2016, доступно на: <https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2016/10/World-Energy-Resources-Full-report-2016.10.03.pdf>

IEA, Extended World Energy Balances, OECD/IEA, Paris, 2015

Републички Завод за статистику Републике Србије, Укупан енергетски биланс у 2016., Београд, 2017а, доступно на: <http://www.stat.gov.rs/WebSite/userFiles/file/Energetika/2017-10-06/Ukupan%20energetski%20bilans,%202016.pdf>

АЕРС – Агенција за енергетику Републике Србије, Годишњи извештај 2017, Београд, 2018, доступно на: <https://www.aers.rs/Files/Izvestaji/Godisnji/Eng/AERS%20Annual%20Report%202017.pdf>

АЕРС – Агенција за енергетику Републике Србије, Годишњи извештај 2016, Београд, 2017, доступно на: <https://www.aers.rs/Files/Izvestaji/Godisnji/Eng/AERS%20Annual%20Report%202016.pdf>

Министарство рударства и енергетике, Енергетски биланс Р. Србије за 2017. годину, Службени гласник, број 110/2016, доступно на: <http://www.mre.gov.rs/doc/efikasnost-izvori/EN%20BILANS%20ZA%202017%2012.12.2016.pdf>

Републички Завод за статистику Републике Србије, Биланс природног гаса у 2016, Београд, 2017b, доступно на: <http://webrzs.stat.gov.rs/WebSite/userFiles/file/Energetika/2017-10-06/Bilans%20prirodnog%20gasa,%202016.pdf>

Министарство рударства и енергетике, Енергија у Србији, 2013, доступно на: http://mre.gov.rs/doc/efikasnost-izvori/Brosura%20Energija%20u%20Srbiji%202013_%20ENERGY%20IN%20SERBIA%202013.pdf

АЕРС – Агенција за енергетику Републике Србије, Годишњи извештај 2012, Београд, 2013, доступно на: <https://www.aers.rs/Files/Izvestaji/Godisnji/Eng/AERS%20Annual%20Report%202012.pdf>

АЕРС – Агенција за енергетику Републике Србије, Годишњи извештај 2013, Београд, 2014, доступно на: <https://www.aers.rs/Files/Izvestaji/Godisnji/Eng/AERS%20Annual%20Report%202013.pdf>

АЕРС – Агенција за енергетику Републике Србије, Годишњи извештај 2014, Београд, 2015, доступно на: <https://www.aers.rs/Files/Izvestaji/Godisnji/Eng/AERS%20Annual%20Report%202014.pdf>

АЕРС – Агенција за енергетику Републике Србије, Годишњи извештај 2015, Београд, 2016, доступно на: <https://www.aers.rs/Files/Izvestaji/Godisnji/Eng/AERS%20Annual%20Report%202015.pdf>

ЈП Србијагас, Транспорт природног гаса, Србија, 2017, доступно на: <http://www.srbijagas.co.rs/o-preduzecu/delatnost/transport/mapa-gasovoda.68.html>

Ivezić D., Danilović D., Živković M., and Madžarević A., Natural gas sector development for last 20 years, Energetika XIV, 2012., pp. 318–322

Ivezić D., Živković M., Danilović D., Madzarevic A., Tanasijevic M., The state and perspective of the natural gas sector in Serbia, Energy sources Part B - Economics planning and policy, Volume 11, 2016, pp. 1061-1067

Републички Завод за статистику Републике Србије, Енергетски биланс 2011, Београд, 2012, доступно на: <http://pod2.stat.gov.rs/ObjavljenePublikacije/G2012/pdf/G20125553.pdf>

Републички Завод за статистику Републике Србије, Енергетски биланс 2012, Београд, 2013, доступно на: http://www.stat.gov.rs/WebSite/repository/documents/00/01/22/54/SB-568-Energetski_bilansi,_2012.pdf

Републички Завод за статистику Републике Србије, Енергетски биланс 2013, Београд, 2014, доступно на: http://www.stat.gov.rs/WebSite/repository/documents/00/01/54/52/Energetski_bilansi_Republike_Srbije,_2013_-_konacni_podaci.pdf

Републички Завод за статистику Републике Србије, Енергетски биланс 2014, Београд, 2015, доступно на: http://www.stat.gov.rs/WebSite/repository/documents/00/02/03/45/SB-607-BILTEN_ENERGETIKE_2014.pdf

Републички Завод за статистику Републике Србије, Енергетски биланс 2015, Београд, 2016, доступно на: http://www.stat.gov.rs/WebSite/repository/documents/00/02/41/70/Energetski_bilansi_2015_-_konacni_podaci.pdf

EUR-Lex, The Energy Community Treaty - Summaries of EU legislation, 2017, доступно на: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=LEGISSUM%3A127074>

Energy community, Serbia – Gas, 2017a, available at: <https://www.energy-community.org/implementation/Serbia/Gas.html>

Energy community, Implementation Serbia, 2017b, доступно на: <https://www.energy-community.org/implementation/Serbia.html>

Thomson P., Derrick J., Energy 2018, Global Legal Insights, 6th Edition, 2018, ISBN: 978-1-911367-80-2, доступно на: <https://www.globallegalinsights.com/practice-areas/energy-laws-and-regulations>

Република Србија, Закон о потврђивању Споразума између Владе Републике Србије и Владе Руске Федерације о сарадњи у области нафтне и гасне привреде, Служени Гласник РС – Интернационални споразуми, No. 83/08, 2008

Brkic, D., Serbian gas sector in the spotlight of oil and gas agreement with Russia, Energy Policy 37, 2009., pp. 1925–1938, доступно на: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421509000640>

Lisiakiewicz R., Poland's conception of European security and Russia, Communist and Post-Communist Studies, Article in press, 2018., доступно на: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967067X18300199>

Bouwmeester M.C., Oosterhaven J., Economic impacts of natural gas flow disruptions between Russia and the EU, Energy Policy, Volume 106, 2017, pp. 288-297, доступно на: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030142151730174X>

Richter P.M., Holz F., All quiet on the eastern front? Disruption scenarios of Russian natural gas supply to Europe, Energy Policy, Volume 80, 2015, pp. 177-189, доступно на: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421515000336>

World Policy, Russia's soft power in the Balkan, 2017, доступно на: <https://worldpolicy.org/2017/07/13/russias-soft-power-in-the-balkans/>

D. D. Lazea, Domestic Politics and European Integration in Serbia. The Year 2012 and the Paradox of Moderate Nationalism, Procedia - Social and Behavioral Sciences, Volume 183, 2015, pp. 99-104, доступно на: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042815031262>

Tsereteli M., Can Russia's Quest for the New International Order Succeed?, *Orbis*, Volume 62/2, 2018, pp. 204-219, доступно на: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0030438718300085>

Tsygankov, A.P., The sources of Russia's fear of NATO, *Communist and Post-Communist Studies*, Article in press, 2018, доступно на: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967067X18300205>

Baumgarten natural gas hub, *Gas Connect Austria*, 2016, доступно на: <http://www.cegh.at/about-us>

European Commission, Gas and oil supply routes, 2017, available at: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/imports-and-secure-supplies/gas-and-oil-supply-routes>

BP Azerbaijan, South Caucasus pipeline, 2017, доступно на: https://www.bp.com/en_az/caspian/operationsprojects/pipelines/SCP.html

Trans Anatolian pipeline, Trans Anatolian natural gas pipeline project, 2017, available at: <http://www.tanap.com/tanap-project/why-tanap/>

Trans Adriatic Pipeline, TAP at a glance, 2017, доступно на: <https://www.tap-ag.com/the-pipeline>

Ausikac G., Rzayevabde G., Turkey in the geopolitics of energy, *Energy Policy*, Volume 107, 2017, pp. 539-547

Gazprom, Projects - Turk stream, 2016, доступно на: <http://www.gazprom.com/about/production/projects/pipelines/built/turk-stream/>

DEPA - Greek Public Gas Corporation, International activities, 2017, доступно на: <http://www.depa.gr/content/article/002005007/539.html>;

Amoirlis E.I., Andriosopoulos K., Challenges for a compliance officer in the liberalized EU energy market: A case study on the Greek gas transmission system operator, *Energy Policy*, Volume 110, 2017, pp. 117-125

GIE - Gas infrastructure Europe, GIE LNG Map Dataset, 2017, доступно на: <http://www.gie.eu/index.php/maps-data/lng-map>

INEA - Innovation and Networks Executive Agency, Studies for LNG terminal Krk: legal & financial advisory, FEED, main design, tender documentation for EPC, power supply system documentation, 2017., доступно на: <https://ec.europa.eu/inea/en/connecting-europe-facility/cef-energy/projects-by-country/croatia/6.5.1-0037-hr-s-m-14>

ЈП Србијагас, План развоја транспортног гасоводног система за период 2017.-2026. година, Нови Сад, 2016.

Market report, Serbia natural gas sector: prospects, market structure and strategy, 22 August 2016, EY

Madžarević, A., Ivezić, D., Živković, M., Tanasijević, M., Ivić, M., Assessment of vulnerability of natural gas supply in Serbia: State and perspective, Energy Policy, Volume 121, 2018, pp. 415-425

Република Србија, Министарство рударства и енергетике, Стратегија развоја енергетике Републике Србије до 2025. године са пројекцијама до 2030. године, Службени гласник РС, 101/2015, доступно на: <http://www.mre.gov.rs/doc/efikasnost-izvori/23.06.02016%20ENERGY%20SECTOR%20DEVELOPMENT%20STRATEGY%20OF%20THE%20REPUBLIC%20OF%20SERBIA.pdf>

Energy Community Treaty, Official Gazette of the Republic of Serbia, No. 62/06, 2006, доступно на : <https://www.aers.rs/FILES/EnergetskaZajednica/Eng/UGOVOR%200%20OSNIVANJU%20ZAJEDNICE%20ZA%20ENERGETIKU.pdf>

Министарство грађевинарства, саобраћаја и инфраструктуре, Јавни увид у нацрт просторног плана подручја посебне намене инфраструктурног коридора магистралног гасовода Ниш - Димитровград са елементима детаљне регулације и извештај о стратешкој процени утицаја просторног плана подручја посебне намене инфраструктуре, 2018, доступно на: <http://www.mgsi.gov.rs/lat/dokumenti/javni-uvид-u-nacrt-prostornog-plana-podrucja-posebne-namene-infrastrukturnog-koridora-0>

Министарство рударства и енергетике, Програм остваривања Стратегије развоја енергетике Републике Србије до 2025. године са пројекцијама до 2030. године за период 2017. до 2023. године, Предлог Уредбе, Србија, 2017.

OECD, Organization for Economic Co-operation and Development, Institutional Capacity and Climate Actions, Case Studies on Mexico, India and Bulgaria, prepared by F. Tudela, S. Gupta, V. Peeva, COM/ENV/EPOC/IEA/SLT, Volume 6, 2003, доступно на: [/http://pdf.wri.org/inst_capacity_climate_change.pdf](http://pdf.wri.org/inst_capacity_climate_change.pdf)

Канцеларија за европске интеграције, Национални програм за адаптацију законодавству ЕУ, 2014

BIZEE, Degree Days - Custom Degree Day Data, 2017, доступно на: <http://www.degree-days.net/>

EIA - Energy Information Administration, Natural Gas Reports, 2016, доступно на: <https://www.eia.gov/naturalgas/reports.php#/T202>

Kovacevic A., The Impact of the Russia–Ukraine Gas Crisis in South Eastern Europe, Oxford Institute for Energy Studies, 2009, доступно на: <https://www.oxfordenergy.org/wpcms/wp-content/uploads/2010/11/NG29-TheImpactoftheRussiaUkrainianCrisisinSouthEasternEurope-AleksandarKovacevic-2009.pdf>

Kroese, D. P. Brereton, T., Taimre, T., Botev, Z. I., *Why the Monte Carlo method is so important today*, WIREs Comput Stat., Volume 6, 2014, pp. 386—392. doi:10.1002/wics.1314.

Hastings, W. K., *Monte Carlo sampling methods using Markov chains and their applications*, Biometrika, 1970, Volume 57, pp. 97—109, ISSN 0006-3444. doi:10.1093/biomet/57.1.97

БИОГРАФИЈА

Александар Маџаревић је рођен 21. априла 1987. године у Ивањици. Похађао је Гимназију „Венејамин Маринковић“ у Ивањици, општи смер, коју је завршио 2006. године, а том приликом му је додељена диплома „Вук Караџић“ за постигнут изузетан општи успех током школовања. Исте године уписао је Машински факултет, Универзитет у Београду. Основне академске студије завршио је у року, са просечном оценом 9.41 (словима: девет и 41/100) и у јуну 2009. године одбранио је завршни рад под називом „Метан као погонско гориво у аутомобилској индустрији“, са оценом 10. Школске 2009/2010. године уписао је Дипломске академске студије на Машинском факултету, Универзитет у Београду, модул Процесна техника и заштита животне средине, у трајању од 2 године. Дипломске академске студије је завршио у року, са просечном оценом 9.25 (словима девет и 25/100) и у јулу 2011. године је одбранио завршни мастер рад под називом „Идејно решење постројења за смањење емисије угљен-диоксида из термоелектране снаге 320 MW“, са оценом 10. Тиме је стекао звање Дипломирани инжењер машинства – мастер. Школске 2011/2012. уписао је докторске студије на Рударско-геолошком факултету, Универзитет у Београду, на студијском програму Рударско инжењерство. У току докторских студија је положио све испите са просечном оценом 10.00.

Од 2011. године је запослен на Рударско-геолошком факултету у звању истраживача-приправника, од 2013. године као истраживач-сарадник финансиран са пројекта Министарства просвете, науке и технолошког развоја. Од 2014. године је на позицији асистента на Рударско-геолошком факултету.

Ожењен је и отац је троје деце.

Изјава о ауторству

Име и презиме аутора Александар Маџаревић

Број индекса P708/2011

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

Методологија интегралне анализе сценарија енергетског развоја

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

Потпис аутора

У Београду, 7. март 2019.

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

Методологија интегралне анализе сценарија енергетског развоја

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио.

1. Ауторство (CC BY)
2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)
3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)
6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци.
Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

Потпис аутора

У Београду, 7. март 2019.

1. **Ауторство.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

2. **Ауторство – некомерцијално.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.

3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.

4. **Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.

5. **Ауторство – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.

6. **Ауторство – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора Александар Маџаревић

Број индекса P708/2011

Студијски програм Рударско инжењерство

Наслов рада Методологија интегралне анализе сценарија енергетског развоја

Ментор проф.др Дејан Ивезић

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао ради похрањена у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског назива доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис аутора

У Београду, 7. март 2019.
