



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА



ПРИМЕНА КОХОНЕНОВИХ САМООРГАНИЗУЈУЋИХ МАПА У ОБЛАСТИ ЕНЕРГЕТСКЕ ОДРЖИВОСТИ ЗЕМАЉА

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Ментор:

ванр. проф. др Боривој Степанов

Кандидат:

Жељко Влаовић

Нови Сад, 2024. године

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА¹

Врста рада:	Докторска дисертација
Име и презиме аутора:	Жељко Влаовић
Ментор (титула, име, презиме, звање, институција):	др Боровој Степанов, ванредни професор, Факултет техничких наука
Наслов рада:	Примена Кохоненових самоорганизујућих мапа у области енергетске одрживости земаља
Језик публикације (писмо):	Српски (<u>ћирилица</u>) или (навести ћирилица или латиница) _____
Физички опис рада:	Унети број: Страница <u>117</u> Поглавља <u>7</u> Референци <u>151</u> Табела <u>11</u> Слика <u>60</u> Графикона _____ Прилога _____
Научна област:	Машинско инжењерство
Ужа научна област (научна дисциплина):	Термотехника, термоенергетика и управљање енергијом
Кључне речи / предметна одредница:	Енергетска одрживост, енергетска транзиција, енергетски индикатори, самоорганизујуће мапе.
Резиме на језику рада:	Енергетска одрживост подразумева покривање енергетских потреба на приступачан, сигуран, економски прихватљив и еколошки неутралан начин. Различити фактори, попут доступних ресурса, економске ситуације, цене напредних технологија, ефикасности коришћења енергије, инфраструктуре и енергетске политике, утичу на постизање високог нивоа енергетске одрживости. У оквиру дисертације примењена је класа неуронских мрежа са ненадгледаним учењем, конкретно Кохоненове самоорганизујуће мапе. Самоорганизујуће мапе су коришћене ради свођења вишедимензионог проблема на дводимензиони и лакшег тумачења резултата. Анализа обухвата поређење енергетске одрживости изабраних земаља помоћу самоорганизујуће мапе. Изабрани облик хексагоналне мапе је 6 x 6. Тумачење резултата је урађено на основу тополошке мапе и мапе која

¹ Аутор докторске дисертације потписао је и приложио следеће Обрасце:

5б – Изјава о ауторству;

5в – Изјава о истоветности штампане и електронске верзије и о личним подацима;

5г – Изјава о коришћењу.

Ове Изјаве се чувају на факултету у штампаном и електронском облику и не корице се са тезом.

	одређује дистанце између неурона. За имплементацију самоорганизујућих мапа коришћен је програмски пакет MATLAB. Сама анализа се заснива на релевантним базама података попут <i>Our World in Data</i>, <i>UN-Stats yearbook</i>, <i>U.S. Energy Information Administration</i>, <i>British Petroleum</i> и <i>IEA</i>. На основу изабраних енергетских индикатора као улазних података и величине хексагоналне мапе као резултат добија се самоорганизујућа мапа са позицијама земаља, која пружа јасан увид у тренутно стање енергетске одрживости. Првобитни број земаља је био 31, где је свака земља имала 28 енергетских индикатора, а потом је додато још 15 земаља са истим бројем индикатора које имају сличан ниво БДП-а са Србијом. На основу позиција земаља, идентификоване су високо рангиране земље по питању енергетске одрживости. Поређењем земаља могу се предложити стратегије за унапређење енергетске одрживости. У истраживању се примењује статистичка метода, а евалуација грешке врши се коришћењем грешке квантификације и тополошке грешке. Поред тога, извршено је поређење са још две статистичке методе, К-средње вредности и Анализе главних компоненти.
Датум прихватања теме од стране надлежног већа:	21.12.2023.
Датум одбране: (Попуњава одговарајућа служба)	
Чланови комисије: (титула, име, презиме, звање, институција)	Председник: др Дамир Ђаковић, редовни професор, Факултет техничких наука Члан: др Александар Анђелковић, ванредни професор, Факултет техничких наука Члан: др Ђорђије Додер, доцент, Факултет техничких наука Члан: др Миљан Марашевић, ванредни професор, Машински факултет у Краљеву Члан: др Мирослав Кљајић, ванредни професор, Факултет техничких наука
Напомена:	

KEY WORD DOCUMENTATION²

Document type:	Doctoral dissertation
Author:	Željko Vlaović
Supervisor (title, first name, last name, position, institution)	Borivoj Stepanov PhD, Associate Professor, Faculty of technical sciences
Thesis title:	Application of Kohonen's self-organizing maps in the field of energy sustainability of countries
Language of text (script):	Serbian language (_____ cyrillic _____) or (cyrillic or latin script) _____ language
Physical description:	Number of: Pages _____ 117 _____ Chapters _____ 7 _____ References _____ 151 _____ Tables _____ 11 _____ Illustrations _____ 60 _____ Graphs _____ Appendices _____
Scientific field:	Mechanical engineering
Scientific subfield (scientific discipline):	Thermotechnics, thermoenergetics and energy management
Subject, Key words:	Energy sustainability, energy transition, energy indicators, self-organizing maps
Abstract in English language:	Energy sustainability involves meeting energy needs in an accessible, secure, economically viable, and environmentally neutral manner. Various factors, such as available resources, economic conditions, prices of advanced technologies, energy efficiency, infrastructure, and energy policies, impact the achievement of a high level of energy sustainability. Within the dissertation, a class of unsupervised neural networks, specifically Kohonen Self-Organizing Maps (SOM), has been applied. SOMs were used to reduce a multidimensional problem to a two-dimensional one for easier interpretation of results. The analysis includes comparing the energy sustainability of selected countries using the Self-Organizing Map. The chosen shape of the hexagonal map is 6x6. Interpretation of results is done based on the topological map and a neighbor weight distances between neurons. MATLAB was used for implementing the Self-Organizing Maps. The analysis is based on relevant databases such as Our World in Data, UN-Stats yearbook,

² The author of doctoral dissertation has signed the following Statements:

5đ – Statement on the authority,

5b – Statement that the printed and e-version of doctoral dissertation are identical and about personal data,

5r – Statement on copyright licenses.

The paper and e-versions of Statements are held at the faculty and are not included into the printed thesis.

	U.S. Energy Information Administration, British Petroleum, and IEA. Based on selected energy indicators as input data and the size of the hexagonal map, a Self-Organizing Map with country positions is obtained, providing a clear insight into the current state of energy sustainability. The initial number of countries was 31, where each country had 28 energy indicators. After, 15 more countries with the same number of indicators and a similar GDP level to Serbia were added. High-ranking countries in terms of energy sustainability were identified based on country positions. Comparing countries can suggest strategies for improving energy sustainability. The research applies statistical methods, and error evaluation is performed using error quantification and topological error. Additionally, a comparison was made with two other statistical methods, k-means clustering, and Principal Component Analysis.
Accepted on Scientific Board on:	21.12.2023.
Defended: (Filled by the faculty service)	
Thesis Defend Board: (title, first name, last name, position, institution)	President: Damir Đaković PhD, full professor, Faculty of technical sciences Member: Aleksandar Anđelković PhD, associate professor, Faculty of technical sciences Member: Đorđije Doder PhD, assistant professor, Faculty of technical sciences Member: Miljan Marašević PhD, associate professor, Faculty of mechanical and civil engineering Member: Miroslav Kljajić PhD, associate professor, Faculty of technical sciences
Note:	

САДРЖАЈ

I	РЕЗИМЕ.....	9
II	САДРЖАЈ ИЛУСТРАЦИЈА.....	10
III	СПИСАК ТАБЕЛА.....	12
1.	УВОД - ЕНЕРГЕТСКА ТРИЛЕМА.....	13
2.	ОКВИР ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ.....	15
2.1	ПРЕДМЕТ ИСТРАЖИВАЊА.....	15
2.2	ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА.....	17
2.3	ХИПОТЕЗЕ.....	17
2.4	ФАЗЕ ИСТРАЖИВАЊА.....	18
3.	МУЛТИВАРИЈАБИЛНА АНАЛИЗА.....	18
3.1	КОХОНЕНОВЕ САМООРГАНИЗУЈУЋЕ МАПЕ.....	19
3.1.1	НЕУРОНСКЕ МРЕЖЕ.....	19
3.1.2	НЕУРОН.....	20
3.1.3	СТРУКТУРА СОМ.....	23
3.1.4	АЛГОРИТАМ.....	25
3.1.5	ПРИМЕНА САМООРГАНИЗУЈУЋЕ МАПЕ.....	27
3.1.6	ПРЕДНОСТИ И МАНЕ КОРИШЋЕЊА СОМ.....	27
3.1.7	ПРОГРАМСКИ ЈЕЗИК МАТЛАБ.....	28
3.1.8	АНАЛИЗА ГРЕШКЕ.....	31
3.1.9	ПРИКАЗ РЕЗУЛТАТА ПОМОЋУ СОМ.....	32
3.2	ТЕХНИКА КЛАСТЕРОВАЊА К-СРЕДЊЕ ВРЕДНОСТИ.....	36
3.3	АНАЛИЗА ГЛАВНИХ КОМПОНЕНТИ.....	37
3.3.1	КРАТАК ИСТОРИЈАТ.....	37
3.3.2	ДЕФИНИЦИЈА РСА.....	37
3.3.3	АЛГОРИТАМ РСА.....	38
3.3.4	СТАНДАРДИЗАЦИЈА ПОДАТАКА.....	38
3.3.5	КОРЕЛАЦИОНА И КОВАРИЈАЦИОНА МАТРИЦА.....	38
3.3.6	СОПСТВЕНЕ ВРЕДНОСТИ И СОПСТВЕНИ ВЕКТОРИ.....	39
3.4	ХИЈЕРАРХИЈСКО КЛАСТЕРОВАЊЕ.....	41
4.	ПРЕГЛЕД ПРИМЕНЕ САМООРГАНИЗУЈУЋИХ МАПА.....	42
4.1	ПРИМЕНА СОМ У САОБРАЋАЈУ.....	42
4.2	ПРИМЕНА У ТРГОВИНСКИМ ЛАНЦИМА.....	43

4.3	ПРИМЕНА СОМ У АНАЛИЗИ РАДА ВЕТРОТУРБИНА.....	43
4.4	ПРИМЕНА СОМ У КРИМИНАЛИСТИЦИ	44
4.5	ПРИМЕНА СОМ У ОБЛАСТИ ЕКОНОМИЈЕ	45
4.6	ПРИМЕНА СОМ У УГОСТИТЕЉСТВУ	46
4.7	ПРИМЕНА У МЕДИЦИНИ.....	47
4.8	ПРИМЕНА У ОБРАДИ СЛИКА.....	48
4.9	ПРИМЕНА У РОБОТИЦИ	49
4.10	ПРИМЕНА У ОБЛАСТИ СПОРТА	50
4.11	ПРИМЕНА У ОБЛАСТИ ОБРАЗОВАЊА.....	52
4.12	ПРИМЕНА У ОБЛАСТИ ЕНЕРГЕТИКЕ И КОРИШЋЕЊА ЕНЕРГИЈЕ.....	53
5.	ПРИМЕНА СОМ НА ЕНЕРГЕТСКУ ОДРЖИВОСТ ЗЕМАЉА	55
5.1	ИДЕЈА ДОКТОРАТА	55
5.2	ИЗАБРАНЕ ЗЕМЉЕ И УЛАЗНЕ ВРЕДНОСТИ.....	59
5.2.1	НОРМАЛИЗАЦИЈА ПОДАТАКА.....	65
5.3	АНАЛИЗА ДОБИЈЕНИХ РЕЗУЛТАТА	65
5.4	ДЕСКРИПТИВНА АНАЛИЗА ДОБИЈЕНИХ РЕЗУЛТАТА	66
5.5	АНАЛИЗА ПОЗИЦИЈЕ ЗЕМАЉА У ОДНОСУ НА ПРОМЕНУ ПОЈЕДИНАЧНИХ ПАРАМЕТАРА....	70
5.6	АНАЛИЗА ПОЗИЦИЈА ЗЕМАЉА ЗАПАДНОГ БАЛКАНА.....	75
5.7	АНАЛИЗА ДОБИЈЕНЕ СОМ МАПЕ	77
5.8	ПРОШИРЕЊЕ И АНАЛИЗА МОГУЋИХ ПРАВАЦА ЕНЕРГЕТСКЕ ТРАНЗИЦИЈЕ	80
5.9	АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА К-СРЕДЊЕ ВРЕДНОСТИ.....	88
5.10	АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА ХИЈЕРАРХИЈСКОГ КЛАСТЕРОВАЊА	99
6.	ЗАКЉУЧАК	101
7.	РЕФЕРЕНЦЕ	107

Захвалница

Посебну захвалносћ дујујем свом менијору, проф. др Боровоју Сћејанову, који ми је указао поверење и пружио савешће, безрезервну подршку и сујесћије у досадашњем научном и стручном усавршавању у области енергетике, као и при изради научних радова и докторске дисертације. Хвала Вам, професоре, на идеји за тему, досљудносћи, мотивацији и подстицању.

Захваљујем свим члановима комисије, ред. проф. др Дамиру Ђаковићу, ванр. проф. др Александру Анђелковићу, доц. др Ђорђију Додеру, ванр. проф. др Миљану Марашевићу и ванр. проф. др Мирославу Кљајићу, најпре на прихватању учешћа у комисији, али и на подршци и корисним сујесћијама током израде и уређења самог рада.

Својим колегама са Дејармана за енергетичку и процесну технику захваљујем на пријатељским савешћима, позитивној енергији и стимулативним дебајама.

Желео бих да захвалим и својим пријатељима што су били уз мене у најтежим тренуцима, пре свега, Давиду, Сергеју, Жељку, Луки, Милану, Маријани и Оливери. Без њихвих пријатеља не бих био човек какав јесам.

На крају, највећу захвалносћ дујујем породици, кумовима и родбини (ујаку, сестрини, шестки, али и осталима), пре свега својим родитељима на љубави, подршци, васпитању и разумевању које су ми пружили.

Моја највећа инспирација и извор снаге је моја бака Емица и овај рад је посвећен њој.

Жељко Влаовић

I РЕЗИМЕ

Енергетска одрживост подразумева покривање енергетских потреба на приступачан, сигуран, економски прихватљив и еколошки неутралан начин. Различити фактори, попут доступних ресурса, економске ситуације, цене напредних технологија, ефикасности коришћења енергије, инфраструктуре и енергетске политике, утичу на постизање високог нивоа енергетске одрживости.

У оквиру дисертације примењена је класа неуронских мрежа са ненадгледаним учењем, конкретно Кохоненове самоорганизујуће мапе. Самоорганизујуће мапе су коришћене ради свођења вишедимензионог проблема на дводимензиони и лакшег тумачења резултата. Анализа обухвата поређење енергетске одрживости изабраних земаља помоћу самоорганизујуће мапе. Изабрани облик хексагоналне мапе је 6 x 6. Тумачење резултата је урађено на основу тополошке мапе и мапе која одређује дистанце између неурона. За имплементацију самоорганизујућих мапа коришћен је програмски пакет MATLAB.

Сама анализа се заснива на релевантним базама података попут *Our World in Data*, *UN-Stats yearbook*, *U.S. Energy Information Administration*, *British Petroleum* и *IEA*. На основу изабраних енергетских индикатора као улазних података и величине хексагоналне мапе као резултат добила се самоорганизујућа мапа са позицијама земаља, која пружа јасан увид у тренутно стање енергетске одрживости. Првобитни број земаља је био 31, где је свака земља имала 28 енергетских индикатора, а потом је додато још 15 земаља са истим бројем индикатора које имају сличан ниво БДП-а са Србијом. На основу позиција земаља, идентификоване су високо рангиране земље по питању енергетске одрживости. На основу анализе уочени су примери добре и лоше праксе за поједине земље у погледу енергетске одрживости. Поређењем земаља могу се предложити стратегије за унапређење енергетске одрживости.

У истраживању се примењује статистичка метода, а евалуација грешке врши се коришћењем грешке квантификације и тополошке грешке. Поред тога, извршено је поређење са још две статистичке методе, К-средње вредности и Анализе главних компоненти.

II САДРЖАЈ ИЛУСТРАЦИЈА

Слика 1-1 Енергетска трилема [1]	13
Слика 1-2 Ураган Ијан (а), Рајна код Келна (б), камење глади на реци Елби, у Чешкој Републици (ц) и екстремне поплаве у Бангладешу (д).	15
Слика 2-1 Ниво концентрације CO ₂ током година [12].....	16
Слика 3-1 Типичан неурон са телом ћелије, дендритом и аксоном [18]	20
Слика 3-2 Модел вештачког неурона упрошћена форма [18]	21
Слика 3-3 Правоугаона (а) или хексагонална (б) топологија СОМ [19].....	22
Слика 3-4 Структура СОМ [20]	22
Слика 3-5 Пример СОМ и формирање кластера	23
Слика 3-6 Структура и приказ података	24
Слика 3-7 Структура промене радијуса у току тренирања мапе [20]	26
Слика 3-8 Архитектура СОМ у „Deep Learning Toolbox“ алату [25]	28
Слика 3-9 Распоред неурона према функцијама.....	29
Слика 3-10 Концепт комшилука на СОМ	29
Слика 3-11 Изглед коришћене хексагоналне мапе 6 x 6.....	31
Слика 3-12 Пример приказа дистанци између суседних неурона [27].....	31
Слика 3-13 Приказ У-матрице [29]	33
Слика 3-14 Кластеризација помоћу РГБ боја (а) неурони који су блиски означени су нијансама сиве боје, (б) неурони који су блиски означени су различитим бојама.....	34
Слика 3-15 Приказ У-матрице и појединих параметара	34
Слика 3-16 Приказ матрице сличности у комбинацији са У-матрицом.....	35
Слика 3-17 Кластеровање главних узрочника смрти Европских становника [31].....	35
Слика 3-18 Приказ истих резултата помоћу четири различите матрице [32]	36
Слика 3-19 Алгоритам хијерархијског кластеровања.....	41
Слика 3-20 Приказ резултата хијерархијског кластеровања.....	42
Слика 4-1 Приказ кластера(а) Формирани кластери помоћу „У“ матрице, (б) просечна брзина ветра (ц) просечна снага [60]	44
Слика 4-2 СОМ кластери 24-часовног груписања дана по брзинама ветра [61]	44
Слика 4-3 Појединачни параметри (а) проценат становништва Афроамериканаца; (а) проценат становништва Шпанског порекла, (ц) проценат становништва испод нивоа сиромаштва (ц); удаљеност до најближе полицијске станице (д). Црвена боја одговара високим вредностима, плава боја ниским вредностима.....	45
Слика 4-4 Карактеристике појединих варијабли унутар кластера [67].....	46
Слика 4-5 СОМ (а) Тополошка мапа кластера за дијагностификовање рака дојке, (б) мапа појединачних параметара [71].....	47
Слика 4-6 Уклањање објеката помоћу СОМ (а) почетна слика; (б) класификована слика; (ц) преуређена слика помоћу СОМ [73]	48
Слика 4-7 Процес обраде слике помоћу СОМ [75].....	49
Слика 4-8 Кластери кошаркаша добијени помоћу СОМ [80].....	50
Слика 4-9 СОМ са четири кластера (жута = кластер 1 (горе лево), светло плава = кластер 2 (горе десно), црвена = кластер 3 (доле лево), плава = кластер 4 (доле десно)) (лева колона). Број погодака за стандардну брзину трчања другог и број погодака за брзину трчања 30% већу [81]	51

Слика 4-10 (а) СОМ кластери, (б) погоци унутар кластера за три испитаника, (ц) Појединачни параметри за три кључна параметра [82]	52
Слика 4-11 (а) СОМ кластери (б) Тополошка мапа која представља процентуално решавање задатака током недеља [83].	53
Слика 4-12 Транзиција кластера 1 у погледу потрошње економског сектора од 2000. до 2015. године. [94]	54
Слика 5-1 СОМ Мапа сиромаштва [96]	55
Слика 5-2 Земље које су коришћене у анализи [96]	57
Слика 5-3 Приказ СОМ мапе преко две боје [97]	58
Слика 5-4 Приказ промене појединачних индикатора у анализи (а) очекивани животни век (б) неписменост одраслих (ц) удео трошкова хране у потрошњи домаћинства (д) удео трошкова здравствене неге у потрошњи домаћинства (е) број лекара по глави становника (ф) стопа смртности при порођају (на 1000 новорођених (г) проценат уписаних у високо образовање (х) удео домаћинства са најнижим примања која примају 20% или мање у односу на укупна примања [97].	59
Слика 5-5 Изабране земље [99]	60
Слика 5-6 СОМ мапа (а) добијене раздаљине између неурона, (б) распоред земаља на хексагоналној мапи 6 x 6 [107]	66
Слика 5-7 Опсервације на СОМ	67
Слика 5-8 Емисија CO ₂ по глави становника	71
Слика 5-9 Емисија CO ₂ по БДП-у	71
Слика 5-10 Параметар који мери емисију CO ₂ у односу на утрошен kWh	72
Слика 5-11 Удео угља у производњи електричне енергије	73
Слика 5-12 Удео природног гаса у производњи електричне енергије	74
Слика 5-13 Удео нуклеарне енергије у производњи електричне енергије	75
Слика 5-14 Земље западног Балкана на тополошкој мапи [123]	76
Слика 5-15 Тополошка мапа добијених резултата	79
Слика 5-16 Грешка квантизације и топологије	80
Слика 5-17 Позиције земаља које су накнадно додате у односу на Србију	83
Слика 5-18 Еволуција египатских капацитета обновљиве енергије у GW	86
Слика 5-19 Земље које имају регулативе за привлачење инвестиција у различитим државама	88
Слика 5-20 Приказ резултата методом К-средњих вредности	90
Слика 5-21 „Scree plot“ а) објашњена варијанса по појединачној главној компоненти б) кумулативна варијанса по главним компонентама	93
Слика 5-22 Би плот – позиције земаља и сопствени вектори променљивих	95
Слика 5-23 Објашњеност првих 10 варијабли у главним компонентама	97
Слика 5-24 Објашњеност прве 2 варијабли у главним компонентама	98
Слика 5-25 Хијерархијско кластеровање земаља помоћу дендограма	100

III СПИСАК ТАБЕЛА

Табела 5-1 Неки од параметара који су коришћени приликом израде мапе сиромаштва	56
Табела 5-2 Параметри енергетског одрживог модела	61
Табела 5-3 Вредности улазних параметара.....	63
Табела 5-4 Наставак табеле за улазне вредности.....	64
Табела 5-5 Стандардна девијација и средње вредности за улазне податке свих земаља.	65
Табела 5-6 Наставак табеле - Стандардна девијација и средње вредности за улазне податке свих земаља.	65
Табела 5-7 Цена пројекта „European Green Deal“	78
Табела 5-8 Улазни параметри за додате земље	81
Табела 5-9 Наставак табеле улазних параметара додатих земаља	82
Табела 5-10 Корелациона матрица	92
Табела 5-11 Приказ главних компоненти и енергетских индикатора	93

1. УВОД - ЕНЕРГЕТСКА ТРИЛЕМА

Енергија покреће све секторе и има кључну улогу у напретку економије, представљајући основ савремене цивилизације. Са обзиром на њен витални значај, растућа потреба за њом поставља државе и регионе пред све већи изазов постизања равнотеже између три кључна циља - енергетске сигурности, приступачности и одрживости.

Транзиција ка чистој енергији, уз истовремену сигурност, једнакост и одрживости, остаје комплексан изазов. Током протеклих година, више различитих криза истакло је значај постизања равнотеже у аспектима енергетске сигурности, приступачности и одрживости. Трилема као концепт је основни алат за пројектовање и развој нових путева земаља у њиховим енергетским транзицијама, уз истовремено праћење њиховог прогреса. Енергетска трилема се односи концептуални модел или оквир који помаже при анализирању изазова са којима се суочавају државе и региони приликом доношења одлука у вези са енергијом. Трилема укључује три кључна елемента или циља, а њихово постизање може бити међусобно супротстављено или захтевати равнотежу (слика 1-1). Три основна елемента у том контексту су енергетска сигурност, приступачност и одрживост.



Слика 1-1 Енергетска трилема [1]

Енергетска сигурност имплицира неопходност успостављања стабилног и непрекидног снабдевања енергијом. Такође, под овим се подразумевају довољни инсталирани капацитети производње, дистрибуције и складиштења енергије, уз узимање у обзир потенцијалних прекида у снабдевању, који могу бити проузроковани елементарним непогодама или другим факторима.

Земље са најбољим учинком у погледу енергетске сигурности су све развијене земље интегрисане у глобална енергетска тржишта где постоји универзални приступ приступачној и поузданој енергији. Све више земаља жели да искористи сопствени потенцијал тамо где је то могуће. За земље у развоју, Енергетска сигурност више представља аспект повећања приступа енергији.

Уз енергетску сигурност неопходно је постићи и економску цену енергије за кориснике. Циљ је обезбеђивање цене енергије које треба да буду правичне и економски оправдане. Овај аспект директно утиче на социјалну равнотежу, јер обезбеђује рационално коришћење ресурса. Приступ енергији је уско повезан са социо-економским показатељима као што су бруто домаћи производ (БДП) по глави становника или Индексом људског развоја Уједињених нација. Такође, на приступачност енергије утичу енергетске политике и инвестиције.

Одрживост, као трећи кључни фактор Трилема модела, се односи на смањење негативних утицаја енергетских система на еколошки, друштвени и економски аспект. То обухвата промовисање обновљивих извора енергије, унапређење енергетске ефикасности и смањење емисија гасова са ефектом стаклене баште. Уз то, одрживост укључује и социјалну правду, осигуравајући да енергетске политике не стварају неједнакости или нарушавају социјалну кохезију.

Изазов за државе и регионе је постићи равнотежу између ова три фактора, јер ослањање на један део може имати последице на преостала два. Трилема пружа оквир за разумевање ових сложених односа и помаже формулисању политика и стратегија које истовремено подржавају све три димензије. Уз све наведено, лидерима се пружа могућност да прилагоде своје енергетске политике, цене и партнере како би постигли сигурну, приступачну и одрживу енергетску будућност, узимајући у обзир специфичности њихових локалних околности и глобалних изазова.

Појаве у 2022. години послужиле су као подсетник на значај овог модела. Императив постизања равнотеже између енергетске безбедности, приступачности и еколошке одрживости тренутно је примарни фокус, а мноштво препрека на које су наишле земље сада је евидентније. Свет се тренутно суочава са глобалном енергетском кризом, иако се свака земља сусреће са кризом на јединствен начин. Услед пандемије КОВИД-19 изазвани су поремећаји у светским ланцима снабдевања. Сходно томе, како се глобална економија опорављала од пандемије 2021. године, снабдевање енергијом суочило се са изазовима у испуњавању растуће потражње, што је довело до пораста цена за све врсте горива. Након тога, рат у Украјини је додатно утицао, што је изазвало поремећај у транспорту природног гаса из Русије у Европу. У намери да се пронађу алтернативни извори природног гаса изазвана су додатна повећања цена гаса на међународном тржишту.

Земље које највише унапређују енергетску безбедност заправо чине свој енергетски микс диверсификованим. Један такав пример је интеграција у европску енергетску мрежу, чиме се постиже смањена зависност од увоза енергије од једног снабдевача и повећава се разноликост снабдевања и складиштења енергије.

Енергетска транзиција је у току и представља одговор на изазове са којима се свет суочава по питању климатских промена и потребе за смањењем зависности од фосилних горива. То свакако подразумева бржи прелазак са традиционалних извора енергије, попут угља и нафте, на обновљиве изворе као што су сунце, ветар, хидроенергија и биомаса. У том контексту, одрживост енергије представља кључни елемент у изградњи економски стабилних и еколошки одговорних земаља [1].

Екстремне временске непогоде су изазвале распрострањену девастацију и смртне случајеве 2022. године као резултат климатских промена, које су наставиле да праве штету (слика 1-2). Према извештају „NOAA“, најскупља елементарна непогода вредна милијарду долара у САД за 2022. годину био је ураган Ијан (слика 1-2 (а)). Материјална штета изазвана олујом се процењује на 112,9 милијарди долара. Поред урагана Харви 2017. и урагана Катрина 2005. године, ово чини ураган Ијан

трећим најскупљим ураганом за САД од 1980. године [2]. Најгора суша у Европи у последњих 500 година догодила се у лето 2022. Реке су пресушиле, велики пожари су беснели, а штете на усецима подигле су и онако високе цену хране услед рекордних температура и ниских падавина [3]. Суша на реци Рајни је феномен који се понавља, а водостај реке Рајне у Европи је пао на критично низак ниво [4] (слика 1-2 (б)). Камене глади (енг. „Hunger Stones“) је камење које се налази дуж река у централној Европи које носе натписе који обележавају протекле периоде суше и упозоравају на потенцијал глади и тешкоће [5] (слика 1-2 (ц)). Ово камење служи као историјски подсетник на разорне утицаје које суше могу да имају. У Бангладешу су рекордне поплаве изазвале хаос, што је погодило отприлике 7,2 милиона људи (слика 1-2 (д)) [6].



(а) [7]



(б) [3]



(ц) [8]



(д) [9]

Слика 1-2 Ураган Ијан (а), Рајна код Келна (б), камење глади на реци Елби, у Чешкој Републици (ц) и екстремне поплаве у Бангладешу (д).

Свако повећање степена загревања ће појачати ове претње, а чак и ограничавање пораста глобалне температуре на 1,5°C није безбедно за све. На овом нивоу загревања, на пример, 950 милиона људи широм светских сушних подручја ће искусити несташицу воде, топлотни удар и сушу, док ће удео глобалног становништва изложеног поплавама порасти за 24% [10].

2. ОКВИР ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

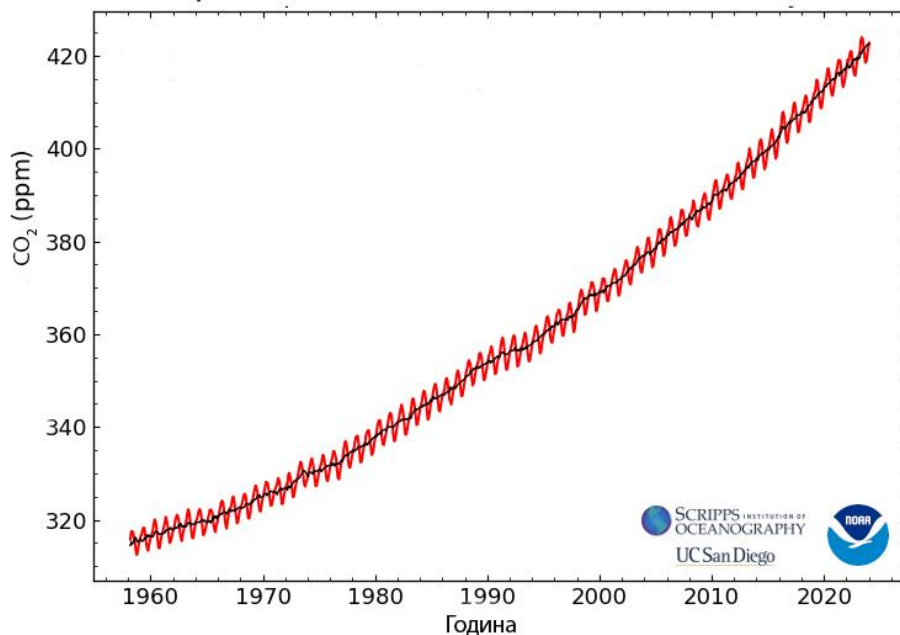
2.1 ПРЕДМЕТ ИСТРАЖИВАЊА

У протеклим годинама, ниво емисија гасова са ефектом стаклене баште је значајно порастао и допринео глобалном загревању. Последице глобалног загревања су свеprisутне и представљају све већи изазов човечанству. У последњим деценијама, забележен је значајан раст нивоа емисија гасова са ефектом стаклене баште, што је значајан допринос глобалном загревању. Овај пораст емисија представља глобални проблем који има дубоке и свеprisутне последице по околину и

климу. Последице глобалног загревања обухватају екстремне климатске услове, повећан ризик од природних катастрофа као што су поплаве и суше, отапање ледених капа на половима, и повећан ниво мора. Све ове појаве представљају значајан изазов за човечанство, захтевајући превентивне и адаптивне стратегије како бисмо очували здраву и одрживу околину за будуће генерације. Потребно је активно радити на смањењу емисија и промовисању одрживијих приступа у свим аспектима како би се ублажио негативан утицај глобалног загревања.

Снабдевање енергијом је један од битних узрочника гасова стаклене баште тако да се већи акценат ставља на прелазак са фосилних горива на искоришћење обновљивих извора енергије и унапређење енергетске ефикасности.

Ниво емисија угљен-диоксида (CO_2) у 2020. години био је 40% виши него што је био у 19. веку. Већина овог повећања CO_2 десила се од 1970. године, када је глобална потрошња енергије убрзано расла. Додатни CO_2 из сагоревања фосилних горива и уништавања шума пореметио је равнотежу CO_2 циклуса, јер су природни процеси који би могли обновити равнотежу сувише спори у поређењу са брзином којом људске активности доприносе порасту CO_2 у атмосфери [11]. Просечна концентрација мерена на опсерваторији Мауна Лоа на Хавајима порасла је са 316 ppm у 1959. години на више од 411 ppm у 2019. години (слика 2-1). Исте стопе пораста забележене су на бројним другим станицама широм света. Од пре индустријског периода, концентрација CO_2 у атмосфери повећала се за више од 40%, метан за више од 150%, а азотни оксиди за отприлике 20%. Више од половине повећања CO_2 се догодило од 1970. године [11].



Слика 2-1 Ниво концентрације CO_2 током година [12].

Енергетска одрживост је актуелна област у научним радовима што потврђује и велики број радова на ову тему. Неки од радова који се баве енергетском одрживошћу испитују различите утицаје енергетских фактора у овој области. На основу извештаја Светског енергетског савета под називом Извештај светске енергетске трилеме (енг. *World energy trilemma report*), који се бави енергетском одрживошћу, земље треба да уравнотеже: доступност и приступ енергији, енергетску безбедност и

одрживост животне средине како би изградиле чврсту основу за просперитет и конкурентност на пољу енергетске одрживости.

Обновљиви извори енергије имају централну улогу у постизању енергетске одрживости. Бројне препреке морају савладати на одговарајући начин да би земља померила ка одрживости. Ти аспекти укључују расположиве и доступе енергетске ресурсе, јачање ефикасности енергетских система, ублажавање утицаја енергетских система на животну средину и решавање животног стандарда, економије и приступачности, као и друштвене прихватљивости [13].

Предмет истраживања је степен енергетске одрживости изабраних земаља и анализа могућности како да се овај степен повећа коришћењем искустава земаља које се високо рангирају по питању енергетске одрживости. Под високим степеном енергетске одрживости једне земље се подразумева покривање потреба за енергијом тако да је оно свима доступно, да је снабдевање сигурно, да је економски прихватљиво и неутрално по животну околину. Висок степен енергетске одрживости се може постићи на различите начине. Како ће се постићи зависи од: доступних енергетских ресурса, доступних економских ресурса, цена напредних енергетских технологија, ефикасности коришћења енергије, расположиве инфраструктуре, енергетске политике, присутности енергетски интензивне индустрије (челичане, цементаре, фабрике стакла и др), степена приоритета декарбонизације друштва који је повезан са присутношћу других горућих проблема у друштву, као што је на пример решавање проблема сиромаштва. Јасан увид у тренутно стање енергетске одрживости једне земље пружају енергетски индикатори.

2.2 ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА

Циљ истраживања је одређивање потенцијалних праваца унапређења енергетске одрживости коришћењем метода Кохоненових самоорганизујућих мапа и модела енергетске одрживости који се базира на изабраном скупу енергетских индикатора. Остваривање енергетске одрживости је могуће на различите начине. На мапи се налази више места са високим степеном енергетске одрживости. То су циљана места за земље којима претходи развој у овом смислу. Позиција и могућности сваке земље су различити. Анализом циљаних места могу се пронаћи различити примери добре праксе у виду подстицаја енергетске политике и регулатива. Истраживање обухвата и поређење могућности земаља у развоју које имају сличне потенцијале али које нису постигле задовољавајући ниво енергетске одрживости. Такође, у оквиру истраживања упоредиће се земље са сличним БДП-ом по глави становника са Србијом и њихова остварења у енергетској транзиције.

2.3 ХИПОТЕЗЕ

- Применом вештачких неуронских мрежа на модел енергетске одрживости одређен са н индикатора је могуће кроз мапирање, приказом у две димензије, упоредити степен енергетске одрживости једне земље у односу на друге земље, а затим предвидети могуће путеве побољшања степена енергетске одрживости земље, и даљом анализом одредити оптималан пут који одговара свим специфичностима те земље.
- Такође, могуће је земље груписати са циљем идентификације разлога зашто једној групи земаља одговора одређени степен одрживости, при чему се из те анализе могу добити примери најбоље и најлошије праксе.

- Применом суперпонирања података који представљају економске параметре на добијену мапу енергетске одрживости може се анализирати веза између БДП по глави становника и енергетске одрживости.

2.4 ФАЗЕ ИСТРАЖИВАЊА

Истраживање у оквиру докторске дисертације је подељено у две целине. У првој целини биће приказан предмет истраживања, дефинисан проблем истраживања, преглед литературе, методологија и циљеви истраживања у области самоорганизујућих мапа и енергетске одрживости. Такође, у склопу ове целине ће бити представљене и хипотезе које су у вези са проблемом и предметом истраживања.

У оквиру друге целине биће извршена анализа добијених резултата помоћу самоорганизујуће мапе. Анализа резултата обухвата формирање кластера земаља са сличним енергетским показатељима. Потом ће бити извршена анализа позиција земаља које су накнадно додате и њихови примери добре праксе у области енергетике. Ради провере добијених резултата биће коришћене методе РСА (енг. *Principal Component Analysis*) и метода К-средњих вредности у сврху поређења. У закључку ће се сумирати резултати и констатовати потенцијални правци развоја, као и примери добре и лоше праксе појединих земаља.

3. МУЛТИВАРИЈАБИЛНА АНАЛИЗА

Последњих година, мултиваријабилна анализа је добила на значају у различитим научним дисциплинама, обухватајући проучавање једног или више скупова објеката. Ти скупови могу обухватати појединце, људске заједнице, природне појаве, предмете и појаве који су производ људске делатности [14].

Мултиваријабилна анализа (МА) је метода која пружа алате који су у могућности да открију одређене законитости у односима између варијабли. Применом ових метода повећава се скуп релевантних информација које се могу закључити из датог скупа података. Ова метода подразумева већи број варијабли. Сврха коришћења је анализа међусобног односа и објашњење или предвиђање на основу истог. Технике МА могу да се поделе у две групе: технике зависности (енг. *Dependence techniques*) и технике међузависности (енг. *Interdependence techniques*).

Технике међузависности претпостављају једнаку важност и улогу свих варијабли посматрајући их као независне. Код ових техника примарни циљ је утврдити однос између њих, најчешће са жељом да се пронађу групе варијабли које су сличне у својим варијацијама и да при томе њихово груписање има одређени смисао. У ову групу спадају следеће технике:

- Анализа главних компоненти,
- Факторска анализа,
- Кластер анализа,
- Кохоненове мапе,
- Кореспондентна анализа,
- Структуралне једначине,
- Вишедимензионално скалирање [15].

Кохоненове мапе су посебна техника која се користи у анализи и визуелизацији података, придружујући се другим познатим методама МА [16].

Код техника зависности постоји специфичан однос између варијабли где на једној страни имамо зависне (резултујуће) варијабле на које утицај врше независне варијабле. У ову групу спадају следеће технике:

- Вишеструка регресија и корелација
- Логит анализа
- Дискриминациона анализа
- Каноничка анализа
- Conjoint анализа
- AID, CHAID и CART анализа [15].

3.1 КОХОНЕНОВЕ САМООРГАНИЗУЈУЋЕ МАПЕ

3.1.1 НЕУРОНСКЕ МРЕЖЕ

3.1.1.1 УВОД

Већ неколико година, неуронске мреже (енг. *Artificial Neural Networks* - ANN) се користе за симулацију система обраде информација на основу топологије биолошких неуронских мрежа. Неуронске мреже су рачунарски системи који су инспирисани начином рада људског мозга. Иако су поједностављене верзије мозга, неуронске мреже су показале значајне резултате у различитим областима. Кључна разлика између неуронских мрежа и традиционалних рачунарских техника је њихова способност учења на основу искуства. Ове мреже могу анализирати експерименталне податке и научити везе између улазних и излазних информација, што им омогућава да примене научено знање.

Истраживања у области неуронских мрежа сведочи о постојању разноликости модела, а њихова класификација произилази из различитих карактеристика које поседују. Ови кључни критеријуми обухватају начин распростирања информација кроз мрежу, структуру слојева унутар модела и механизме повезивања неурона. Класификација мрежа може се вршити према типу распростирања информација, као што су (енг. *Feedforward neural networks*) које подразумевају проток података у једном смеру без повратних веза. Затим, број слојева унутар мреже представља значајан фактор у класификацији, обухватајући моделе са једним или више слојева. Додатно, класификација може узети у обзир начин повезивања неурона.

Оваква разноликост у класификацији неуронских мрежа пружа терен за даље истраживање и иновације у области машинског учења. Разумевање ових различитости доприноси развоју специфичних модела прилагођених различитим задацима, од оптимизације ресурса до постизања високих перформанси у решавању сложених проблема.

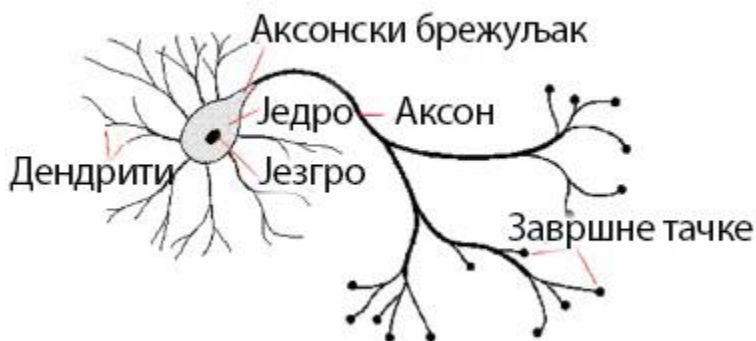
- Један слој неурона,
- Више слојева неурона,
- РБФ неуронска мрежа (енг. *Radial Basis Function*), мрежа која се састоји из улазног слоја, скривеног и излазног слоја неурона.
- вештачке неуронске мреже са повратном везом – рекурентне:

- Кохоненове самоорганизујуће мапе,
- компетитивне мреже,
- Хопфилд-ове мреже,
- ART модел [17].

У последње време, постаје све је учесталија употреба неуронских мрежа, које се називају "мреже за дубоко учење" (енг. *Deep Learning Networks*). Ове мреже су карактеризоване великим бројем неурона распоређених у много слојева. Оне су постигле резултате у ситуацијама где се ради о великим количинама података. Кључни фактор напретка дубоког учења лежи у доступним подацима, које омогућавају бројни јефтини сензори и интернет, уз истовремени напредак у рачунарима, њиховој брзини и способности за обраду огромних количина података [17].

3.1.2 НЕУРОН

Људски организам се састоји од огромног броја ћелија, процењених на милијарде, од којих свака има широк спектар специјализованих задатака. Примарни фокус је усмерен на ћелије унутар нервног система, који се сматра кључним системом људског тела. Нервни систем се састоји од две примарне класификације ћелијских компоненти, наиме неурона и глијалних ћелија. Глијалне ћелије, познате и као не-неуронске ћелије, испуњавају неколико функција укључујући одржавање хомеостазе и учешће у трансдукцији сигнала. Неурони служе као основне ћелијске јединице мозга. Мозак се састоји од многих неурона, од којих сваки садржи дендрите, тело ћелије и аксон (слика 3-1). Неурон има своје улазе и свој излаз. Људски мозак се састоји од око 10^{11} неурона. Они су међусобно повезани, а при томе сваки има приближно 10^4 веза са другим неуронима [17]. Слика 3-1, приказује анатомски састав стандардног неурона, са три различита домена. Дендрити дрвене пројекције неурона које преносе електрохемијску стимулацију примљену од других можданих ћелија и преносе је на ћелијску суму, укратко дендрити су улази неурона. Природни неурони имају по неколико стотина дендрита. Веза између дендрита и неурона је синапса. Последњи део неурона је аксон, односно неуронски излаз. Аксон је дуга пројекција неурона који преноси информације на различите неуроне, мишиће или жлезде. Неурони се разликују од других ћелија на неколико начина. Могу да комуницирају са другим ћелијама путем синапси. Синапса је структура која омогућава неуронима да проследи електричне или хемијске сигнале другим неуронима. Све у свему, неурони су ћелије које могу да комуницирају са другим неуронима путем синапсе као и друге делове тела путем електрохемијских сигнала који се шире од дендрита до аксома [18].



Слика 3-1 Типичан неурон са његовом ћелијом, дендритом и аксоном [18]

Уколико се посматра појединачни неурон путем математичке перспективе, најбољи начин да се он разуме јесте да се представи као улаз и излаз који пролази кроз чвор. Сваки дендрит даје сигнал са различитим тежинским векторима. Н дендрита ће бити дефинисано у чворовима улазног слоја као $x_1, x_2, \dots, x_n$ и одговарајуће n тежинске векторе као $w_{11}, w_{12}, \dots, w_{1n}$ где се w_{ij} односи на тежински вектор x_j на чвор i . Слика 3-2 приказује структуру једног неурона са три улазна чвора x_1, x_2, x_3 и њиховим одговарајућим тежинским коефицијентима w_1, w_2, w_3 .

Као и биолошки неурон, и вештачки има дендрите, синапсе и аксоне. Заправо, он представља основну јединицу за обраду сигнала унутар неуронске мреже. Сада се утицај биолошких веза мења утицајем појединих константи на рад неурона. Ово се највише односи на промене и опис рада синапси кроз синаптичке тежине. Преко сваког од дендрита стиже нека информација која се прослеђује неурону. Физички посматрано нису све информације од дендрита подједнако битне. Поједини дендрити носе различите информације, али на излазу треба да се појаве утицаји оних који су, за дати процес, валидни. Ова особина симболично се контролише синаптичким тежинама, које су бројне вредности, и са којима се множи информација са дендрита. Након синапси све скалиране величине од дендрита долазе до неурона где се збирно посматрају. Ако ова сума има вредност која је изнад прага посматраног неурона, неурон ће бити активиран, и поменути сигнал ће се кориговати својом функцијом. Укратко, функцију активације (*функција преноса је иначе њознаја као функција активације*) примењује се да би се унос претворио у коначну излазну вредност. Дата функција симболише интелигентну функцију мозга. Функција активације је обично нелинеарна функција преноса и неопадајућа [18].

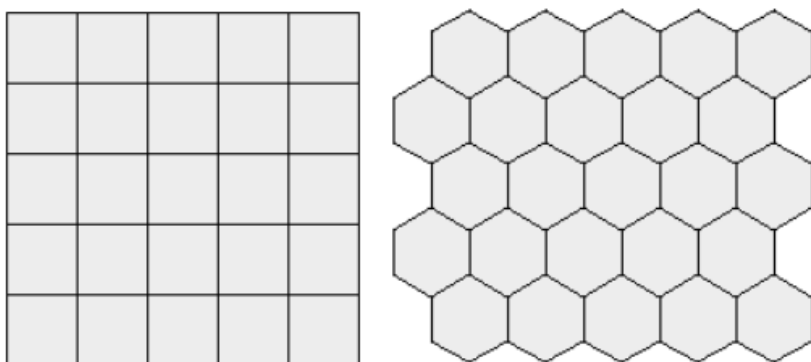


Слика 3-2 Модел вештачког неурона ујрошћена форма [18]

$$\mathbf{x} \rightarrow (w_{11}, w_{12}, \dots, w_{1n}) \begin{bmatrix} x_{11} \\ x_{12} \\ x_{13} \\ \vdots \\ x_{1n} \end{bmatrix} = w_{11}x_1 + w_{12}x_2 + \dots + w_{1n}x_n = \mathbf{w} \cdot \mathbf{x} + b \quad 3-1$$

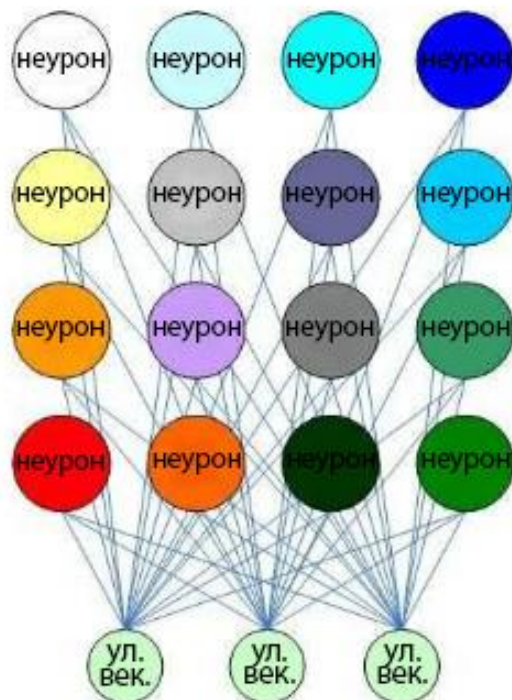
Математички гледано један неурон то је функција из $\mathbf{R}^n$ до $\mathbf{R}$ [18].

Самоорганизујуће мапе (енг. *Self-organizing maps*) које је развио научник Теуво Кохонен користе се као модел неуронске мреже када је потребна класификација. Самоорганизујућа мапа укратко SOM је метод учења без надзора који поседује једноставну структуру. SOM се користе за смањење димензионалности скупа података уз очување основне структуре података. SOM мапе функционишу тако што податке групишу у дводимензионалну структуру "чворова", а затим мапирају сваки неурон на дводимензиони приказ. Најчешћи облик мапе је правоугаони или хексагонални облик неурона (слика 3-3). SOM је неуронска мрежа са једним слојем где су неурони постављени дуж n димензионалне мреже.



Слика 3-3 Правоугаона (а) или хексагонална (б) топологија СМ [19]

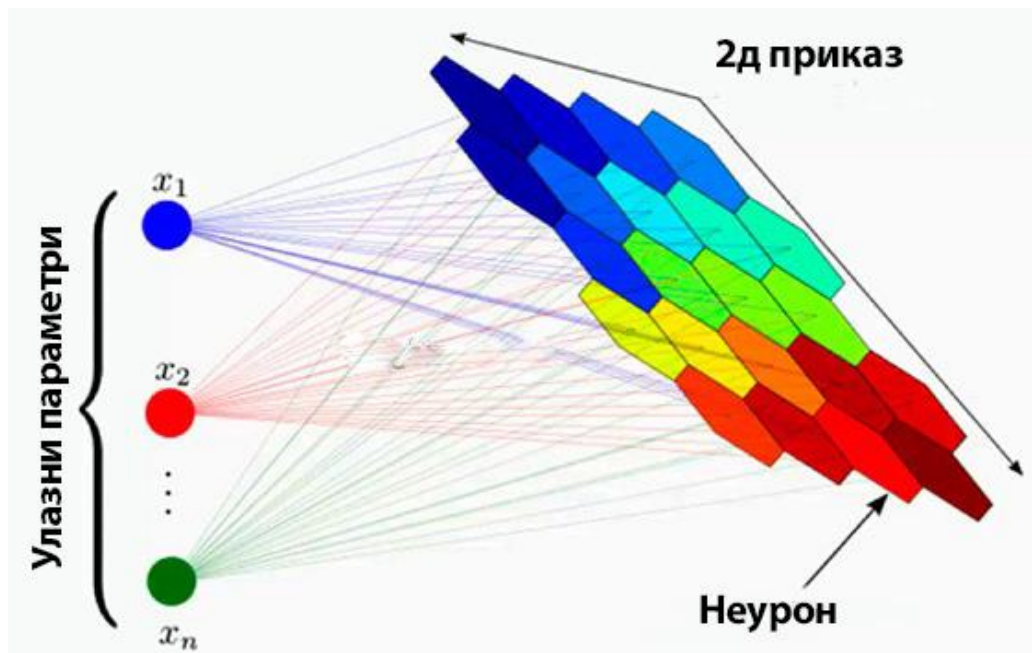
Структура СМ је представљена на слици 3-4. Слика 3-4 је у овом случају 4 x 4 мрежа. Сваки излазни неурон на мапи је повезан са сваким улазним параметром. За ову 4 x 4 мрежу, постоје $4 \times 4 \times 3 = 48$ конекција. Улазни параметри нису међусобно повезани. Неурони су организовани на дводимензиони начин, јер 2-д координатна мрежа олакшава визуелизацију резултата. У овој поставци, сваки неурон на мапи има јединствену (i,j) координату. Те координате олакшавају израчунавање растојања између њих. Због веза само са улазним подацима, неурони на мапи немају податак о „комшилуку“, односно осталим неуронима [20].



Слика 3-4 Структура СМ [20]

Овакав приступ омогућава визуелизацију података на изузетно транспарентан начин, пружајући јаснији увид у структуру и карактеристике датог скупа података. СМ представља моћан алат који се често користи у анализи података, посебно у контексту машинског учења. Примарна функција

SOM је груписање података на основу сличности, што олакшава идентификацију кластера који могу бити скривени у великим скуповима података. Такође, омогућена је визуелизација међусобних односа између различитих елемената података. Кроз истицање корелација између различитих неурона на мапи, могу се идентификовати трендови, аномалије или кључне карактеристике скупа података. Пример једне SOM где се могу уочити различити кластери приказана је на слици 3-5. Слика 3-5 представља SOM хексагоналног типа, а при томе се може уочити прелаз од горњег десног угла мапе где су неурони означени плавом бојом и транзицију ка доњем десном углу где су неурони означени црвеном бојом. Овакав вид приказивања података омогућава интуитивно разумевање, где је просторно повезивање између хексагона кључно за тумачење односа.



Слика 3-5 Пример SOM и формирање класиџера

SOM се разликују од других неуронских мрежа зато што оне користе компетитивно учење што је супротно учењу базираном на корекцијама грешака (као што су алгоритам учења са повратним ширењем, (енг. *the Back-Propagation learning algorithm*), као и због тога што користе функцију суседства како би сачувале тополошке особине улазног простора.

3.1.3 СТРУКТУРА SOM

SOM се састоје се од два слоја неурона, тачније улазног слоја и излазног слоја. Процес учења без надзора, односно тренирања мапе подразумева технику у којој се неурони такмиче међусобно за позицију. Прва итерација почиње покретањем тежинских неурона. У следећем кораку насумично се бира један улазни вектор. Неурони се потом међусобно надмећу упоређујући са одабраним улазним вектором. Неурон који побеђује је најближи одабраном улазном вектору, где се удаљеност мери еуклидским растојањем (формула 3-2). Неурон о којем је реч назива се победнички неурон (енг. *BMU – Best matching neuron*).

$$\|x - w_i\| = \min \|x - w_j\|, j = 1, 2, K, N \quad 3-2$$

Циљ СОМ мреже је не само да пронађе репрезентативни неурон за дати улазни скуп за обучавање у смислу минималног растојања, већ, такође, и да формира тополошко мапирање улазног простора на неуроне (често се среће назив „лепеза“) неурона.

Детаљније објашњење пружа слика 3-6 која приказује структуру СОМ. Улога ВТА (победник узима све – енг. *Winner takes all* - WTA) слоја је да пореди све излазе из слоја за мапирање (односно растојање $x-w_i$) и да генерише претходно наведени индекс ВМУ. Сваки неурон у излазном слоју прима исте улазе. Након тога у фази учења, само ВМУ и његови најближи суседи мењају своје синоптичке везе [21].

Ако је СОМ успешно истренирана онда ће блиски неурони бити мапирани један близу другог, у неким ситуацијама може се десити да имају исту позицију. Стога, као што је већ речено, СОМ омогућава „очување топологије“ у смислу да су суседства (колико је могуће више) очувана кроз процес мапирања [22].

Императив је да се сваком новоуведеном улазном вектору одмах додели позиција на мапи у току процедуре мапирања. На крају процеса постоји један неурон који се појављује као победник ВМУ. Тај неурон заправо поседује излазне податке који најбоље одговарају улазним параметрима. Утврђивање тога може се постићи израчунавањем еуклидске удаљености између улазних вектора и вектора тежине.

Генерално, без обзира колико се мрежа тренира, увек ће постојати нека разлика између било ког датог улазног податка и неурона на мапи. Ово је ситуација идентична вектору квантизације, где постоји одређена разлика између улаза и излаза. Ова разлика се назива грешка квантизације и користи се као мера колико добро неурони представљају улазне податке [23].

У суштини, примена СОМ мапа представља снажан алат за анализу података, који истовремено омогућава груписање, визуелизацију и редукцију димензионалности, чиме доприноси бољем разумевању и интерпретацији сложених скупова података. Детаљнија структура је приказана на слици 3-6.



Слика 3-6 Структура и приказ података

3.1.4 АЛГОРИТАМ

1. Задавање тежинских коефицијената w_{ij} користећи случајну вредност.
2. Одабир вредности улазног вектора x_k .
3. Понављање за све неуроне на мапи:
 - (а) Прорачун еуклидског растојања између улазног вектора $x_{(t)}$ и тежинског вектора w_{ij} повезаног са првим нейроном, где је $t_{i,j} = 0$.
 - (б) Одређивање неурона који има најмању раздаљину.
4. Одређивање (ВМУ) или неурона са најмањом удаљеношћу од свих израчунатих.
5. Одређивање тополошке функције $\beta_{ij(t)}$ и њеног радијуса $\sigma(t)$ ВМУ на мапи.
6. Ажурирање позиција „комшилука“ у односу на ВМУ.
7. Понављање итерације док се не достигне изабран број итерација.

Једначина 3-1 је главна функција учења. $W(t+1)$ је нова, 'ново научена', вредност датог неурона. Временом, ова једначина у суштини представља дате неуроне као тренутно изабрани улазни вектор. Неврон који се веома разликује од тренутног улазног вектора „научиће“ више од неурона који је веома сличан тренутном улазном вектору. Разлика између неурона и улазног вектора су одређене подешавањем тренутне стопе учења $\alpha(t)$ [20]. Ажурирање варијабли се врши на основу следећих формула. Тежински коефицијент унутар суседства се ажурирају као:

$$\begin{aligned} w_{ij}(t+1) &= w_{ij}(t) + \alpha_i(t)[x(t) - w_{ij}(t)], \text{ или} \\ w_{ij}(t+1) &= w_{ij}(t) + \alpha_i(t)\beta_{ij}(t)[x(t) - w_{ij}(t)] \end{aligned} \quad 3-1$$

Где је:

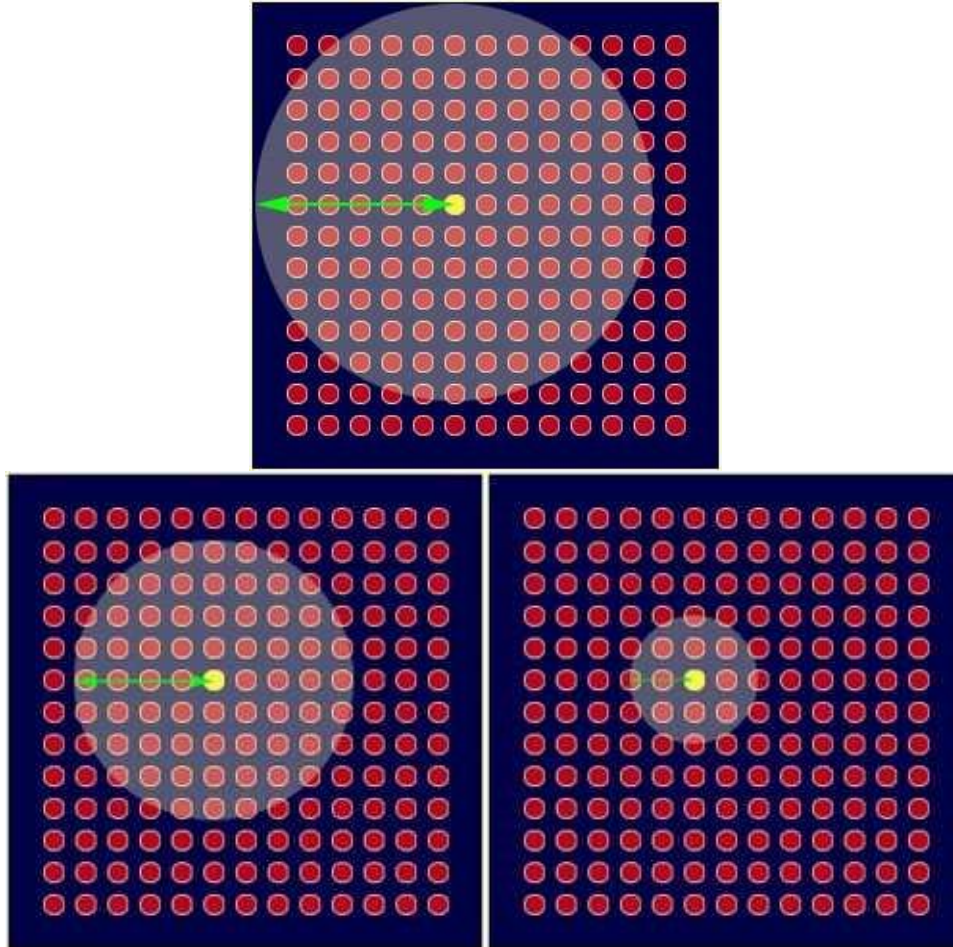
- t - је тренутна итерација.
- n - је укупан број итерације.
- i - је координата реда неурона на мапи.
- j - је координата колоне неурона на мапи.
- $w_{ij}(t)$ је тежински коефицијент између неурона i, j у координатној мрежи
- $x_{(t)}$ - је улазни вектор на итерацији t .
- $\alpha(t)$ је стопа учења, која се смањује са временом у интервалу $[0, 1]$, да би се осигурало да мрежа конвергира.
- $\beta_{ij(t)}$ је функција суседства, монотono се смањује и представља неуроне i, j , тј. њихове удаљености од ВМУ-а, и утицај који има на стопу учења на итерацији t .
- $\sigma(t)$ је радијус функције у суседству, који одређује колико далеко се суседски неурони ажурирају у 2-д мрежи приликом ажурирања вектора. Временом се постепено смањује.

Радијус и стопа учења експоненцијално опадају са временом:

$$\sigma(t) = \sigma_0 \cdot \exp\left(\frac{-t}{\lambda}\right), \quad \text{где је } t = 1, 2, 3 \dots n \quad 3-2$$

$$\alpha(t) = \alpha_0 \cdot \exp\left(\frac{-t}{\lambda}\right), \quad \text{где је } t = 1, 2, 3 \dots n \quad 3-3$$

Са обзиром да једначине 3-2 и 3-3 имају опадајућу експоненцијалну функцију, када је $t=0$ то представља максимум. Како се тренутни број итерације – t , повећава, оне се приближавају нули, што представља циљ. У формули 3-2 радијус је највећи и цело окружење се мења (слика 3-7), а како се приближава нули радијус се смањује и на крају се мења само ВМУ (жути неурон). Одабир функције опадања $\alpha(t)$ се може кориговати у складу са потребама корисника (једначина 3-3) [20].



Слика 3-7 Сиркуиура промене радијуса у току тренирања маје [20]

Утицај функције у суседству $\beta_{ij}(t)$ се израчунава помоћу формуле:

$$\beta_{ij}(t) = \exp\left(\frac{-d^2}{2\sigma^2(t)}\right), \text{ где је } t = 1, 2, 3 \dots n \quad 3-4$$

Еуклидска дистанца између вектора тежине сваког неурона и тренутног улазног вектора се израчунава по формули:

$$\|\vec{x} - \vec{w}_{ij}\| = \sqrt{\sum_{t=0}^n [\vec{x}(t) - \vec{w}_{ij}(t)]^2} \quad 3-5$$

ВМУ је изабран са свих израчунатих растојања од неурона као онај са најмањим:

$$d = \min(\|\vec{x} - \vec{w}_{ij}\|) = \min\left(\sqrt{\sum_{t=0}^n [\vec{x}(t) - \vec{w}_{ij}(t)]^2}\right)$$

3.1.5 ПРИМЕНА САМООРГАНИЗУЈУЋЕ МАПЕ

Упркос једноставности СОМ алгоритма мапа се може користити за следеће сврхе:

- 1) Кластеризација (тип груписања). Ово је вероватно најчешћа примена СОМ. У том контексту, СОМ се користи као алтернатива к-средњим вредностима груписању са обзиром на фиксни број “к” кластера, СОМ ће поделити доступне податке у “к” различите групе. Главна предност СОМ-а у овом случају је у томе што је мање склона локалној минимизацији од традиционалног алгоритма к-средњих вредности. Додатна предност СОМ алгоритма је да су кластери добијени тополошки распоређени.
- 2) Анализа података и визуелизација је најважнија примена СОМ. У овом случају, СОМ се користи као алгоритам нелинеарне пројекције, мапирање н-димензионалних података на 2-д мрежу. СОМ на тај начин може да буде алтернатива РСА пројекцијама.
- 3) Сортирање вишедимензионалних података помоћу тополошког сортирања СОМ.
- 4) Налажење података који одступају. СОМ ће генерално презентовати области улазног параметра и при томе има могућност у откривању података који се не уклапају у групу или дати кластер [23].

3.1.6 ПРЕДНОСТИ И МАНЕ КОРИШЋЕЊА СОМ

3.1.6.1 ПРЕДНОСТИ

- Смањење вишедимензионалних података:
 - СОМ чине комплексне и вишедимензионалне податке једноставнијим за разумевање јер смањују димензионалност података.
- Приказивање оригиналних података:
 - Важно је напоменути да коришћење СОМ не доводи до губитка података, јер се оригинални подаци приказују у тополошком приказу. Овај приступ одржава тополошке односе унутар улазног простора груписањем у излазном простору.
 - Тополошки односи представљају начин на који се просторно распоређени подаци приказују у односу на своје међусобне везе. На пример, ако су два неурона близу један другом у оригиналном простору, очување тополошких односа значи да ће и на мапи СОМ-а бити близу један другом.
- Одржавање дистанци између неурона:
 - СОМ задржавају тополошке односе између података кроз груписање. Сви битни односи између података остају нетакнути.
- Класификација података:
 - СОМ ефикасно решава различите проблеме класификације, пружајући истовремено свеобухватну информацију. То значи да могу прецизно извршити кластеризацију података док истовремено пружају користан преглед.
- Боља визуелизација података:

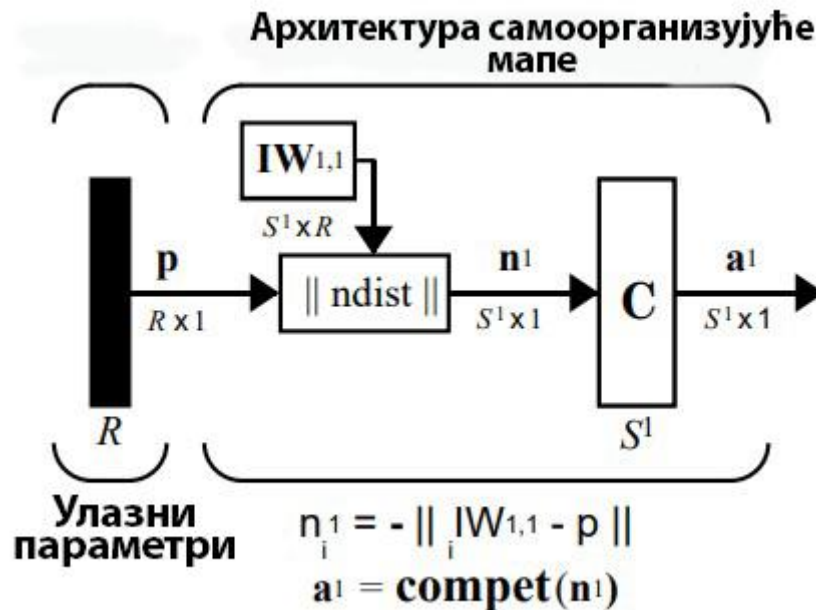
- Коришћење СОМ олакшава визуализацију података, чинећи их прегледнијим. Ова техника омогућава лакше уочавање узорака или груписања унутар скупа података, чиме се олакшава интерпретација информација.

3.1.6.2 МАНЕ

- Неопходно је имати све податке.
- У зависности од скупа података може се захтевати конфигурација рачунара за обраду података.
- Дуготрајна припрема и обука:
 - Тренирање СОМ може трајати дуже у односу на остале процесе.
- Тешкоће у утврђивању оптималне величине мапе:
 - Утврђивање оптималне величине мапе може бити изазовно. Различите ситуације могу захтевати различите величине мапа, а одређивање најбоље величине може бити тешко и зависи од специфичности проблема [24].

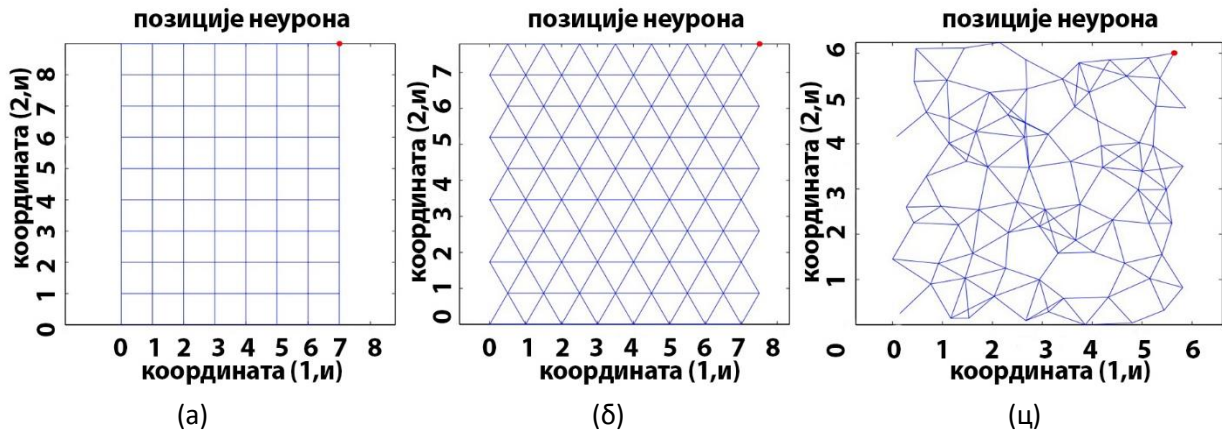
3.1.7 ПРОГРАМСКИ ЈЕЗИК МАТЛАБ

У програмском пакету MATLAB је спроведена анализа СОМ помоћу додатног алата за машинско учење (енг. *Deep Learning Toolbox*). *Deep Learning Toolbox* обезбеђује оквир за конструисање и имплементацију неуронских мрежа са алгоритмима, унапред припремљеним моделима и апликацијама. Овај алат омогућава кориснику да једноставно креира и тренира комплексне неуронске мреже, чиме се пружа флексибилност у приступу решавања проблема. Посебно, СОМ представљају моћан алат унутар овог сета алата. Интеграција СОМ у *Deep Learning Toolbox* омогућава корисницима да истраже и анализирају комплексне односе између података на интуитиван начин [25]. Архитектура компетитивне мреже унутар алата *Deep Learning toolbox* је приказана на слици 3-8:



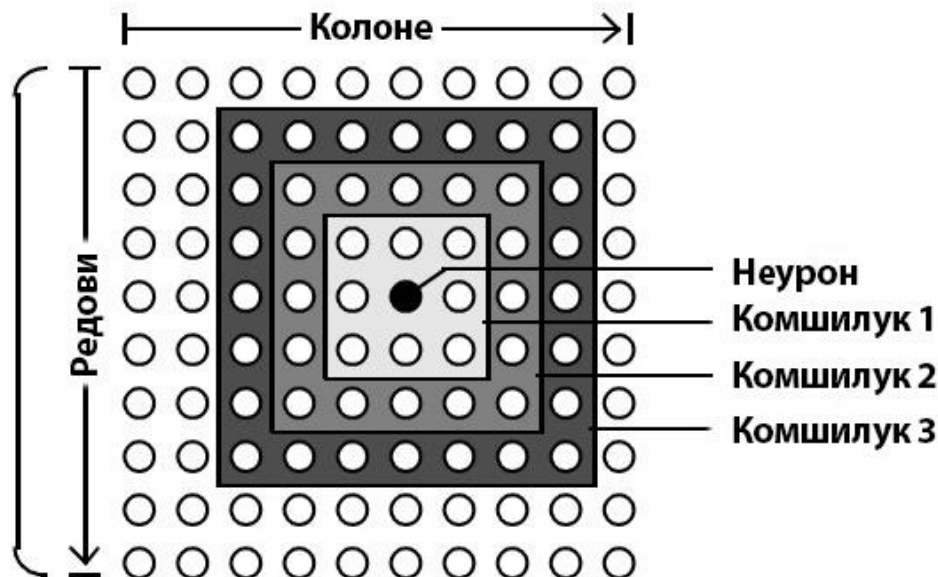
Слика 3-8 Архитектура СОМ у „Deep Learning Toolbox“ алату [25]

Неурони су распоређени према тополошкој функцији. Доступне функције у алату су: „gridtop“, „hextop“ или „randtop“, које имају могућност да распореде неуроне у координатној мрежи, хексагоналној или насумичној топологији. Раздаљине између неурона се израчунавају из њихових положаја са функцијом даљине. Постоје четири функције на даљину, „dist“, „boxdist“, „linkdist“ и „mandist“. Сва три тополошка приказа распореда неурона су приказани на слици 3-9.



Слика 3-9 Распоред неурона према функцијама

Од посебног значаја је функција „dist“, која је претходно разматрана и користи се за рачунање еуклидске удаљености од датог неурона до свих других неурона у мапи, што резултује матрицом димензија $M \times M$, где је M број неурона у мапи. На слици 3-10 приказан је концепт "комшилука", односно суседстава.



Слика 3-10 Концепт комшилука на СОМ

Функција „boxdist“ користи се за генерисање удаљености које представљају удаљености различитих суседстава око одређеног неурона, пружајући додатну флексибилност у прилагођавању процеса учења према специфичностима проблема. Важно је напоменути да се процес учења у СОМ одвија за сваки вектор независно од тога да ли је мрежа тренирана директно (помоћу функције „trainr“) или

адаптивно (помоћу функције „*trains*“). Кључна функција „*learnsom*“ представља механизам за учење неурона, где се након одређивања победничког неурона, победнички неурон и његово суседство адаптирају.

Табела 3-1 Коришћене вредности приликом обучавања мапе

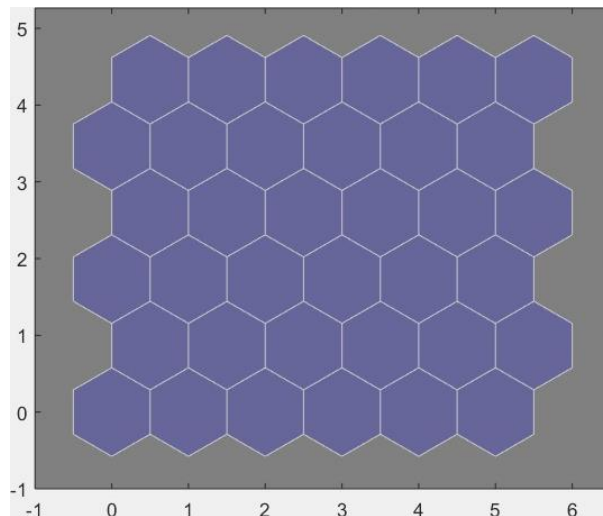
Стопа учења	0,9
Број епоха	200
Корак опадајуће функције током обуке	0,02
Удаљеност суседства током обуке	1

Ова фаза траје током преосталог дела тренинга или прилагођавања. Удаљеност између суседних неурона остаје непромењена на вредности прилагођене фази подешавања (која обично укључује само блиске суседе, тј. обично 1). Стопа учења наставља да се смањује од стопе учења за изабрани корак, али веома споро. Мали радијус суседства и веома споро смањење стопе учења фино подешавају мрежу, одржавајући притом поредак научен у претходној фази стабилним. Број епоха за део тренинга усмереног на подешавање (или временски кораци за адаптацију) требало би да буде знатно већи од броја корака у фази поретка, јер фаза подешавања обично траје знатно дуже. Ова фаза траје током преосталог дела тренинга или прилагођавања. Удаљеност између суседних неурона остаје непромењена на вредности прилагођене фази подешавања (која обично укључује само блиске суседе, тј. обично 1). Стопа учења наставља да се смањује од стопе учења за фазу подешавања, али веома споро. Мали радијус суседства и веома споро смањење стопе учења фино подешавају мрежу, одржавајући притом поредак научен у претходној фази стабилним.

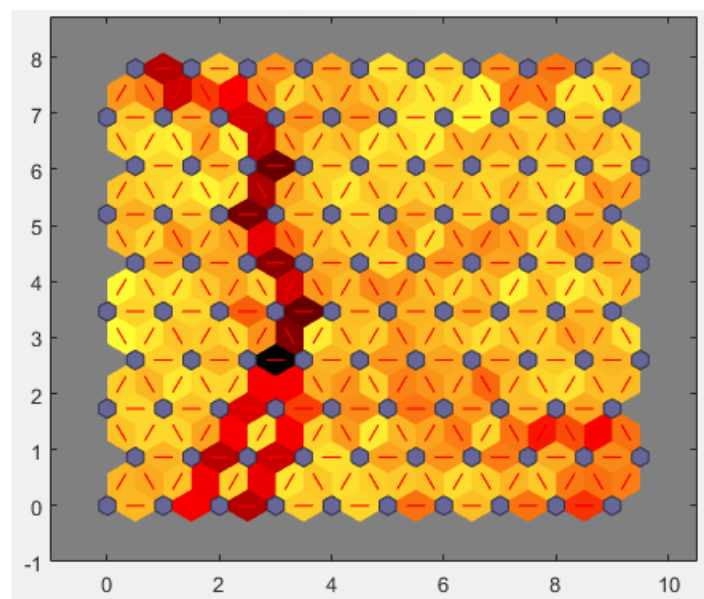
Са обзиром да је број кластера непознат, препорука за број кластера је величину хексагоналне мапе се добија преко формуле [26]:

$$M = 5\sqrt{N} \quad 3-7$$

Одабрана величина хексагоналне мапе је 6 x 6, што је резултирало генерисањем 36 неурона (слика 3-11). Сваки неурон је дефинисан са 28 параметара и представљен хексагоном. Свака земља има позицију на мапи унутар хексагона који одговара најближем неурону на основу његовог вектора од 28 параметара. Степен блискости одређен је израчунавањем еуклидске дистанце, као што је већ речено. Подаци који су коришћени у анализи су нормализовани и сви параметри су сматрани једнако битним, јер нису примењени тежински фактори. Сваки неурон је идентификован по свом положају на мрежи на основу координата редова и колона.



Слика 3-11 Изглед коришћене хексагоналне мапе 6 x 6



Слика 3-12 Пример приказа дистанци између суседних неурона [27]

На слици 3-12 приказане су дистанце између суседних неурона (енг. *Neighbor weight distances*). У процесу обучавања суседни неурони који су слични, њихове удаљености се постепено смањују како се мрежа обучава. Удаљености са светлијим нијансама указују на неуроне који су блиски. Овај приказ бојама доприноси интерпретацији тополошких карактеристика мапе и омогућава лакше препознавање груписања података [27].

3.1.8 АНАЛИЗА ГРЕШКЕ

3.1.8.1 ГРЕШКА КВАНТИЗАЦИЈЕ

У оквиру СОМ, грешка квантизације (енг. *Quantization error - QE*) има важну улогу као мера која процењује степен приказивања и повезивања између улазних података и неурона на мапи. Оригинално ова грешка предложена од стране Кохонена. *QE* се често користи као основни

показатељ квалитета ових мапа. Заправо представља просечну удаљености између улазног вектора и његовог ВМУ на мапи, која се сматра. Формула за израчунавање просечне квантизационе грешке може се дефинисати на следећи начин:

$$QE = \frac{\sum_{t=1}^T \|x(t) - BMU(t)\|}{T} \quad 3-8$$

Где је:

- QE - квантизациона грешка,
- T - број узорака,
- $x(t)$ – улазни вектор узорка,
- ВМУ – неурон који најбоље одговара улазном податку на узорку (t).

Ова формула заправо представља средњу вредност удаљености између сваког узорка и његове ВМУ на мапи. Мања вредност квантизационе грешке указује на боље прилагођавање мапе подацима, док већа вредност може указивати на слабију способност мреже да прецизно мапира простор података. Стога, праћење овог параметра може бити кључно у процени перформанси и прилагодљивости неуронске мреже током учења. Један од начина да се смањи грешка QE се може постићи повећањем броја излазни неурона [28].

3.1.8.2 ТОПОЛОШКА ГРЕШКА

Најчешћа мера квалитета за очување топологије јесте грешка топологије (енг. *Topology error - TE*), која се може изразити као проценат улазних вектора где два најближа неурона нису један поред другог. TE се рачуна на следећи начин:

$$TE = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T u(x(t)) \quad 3-9$$

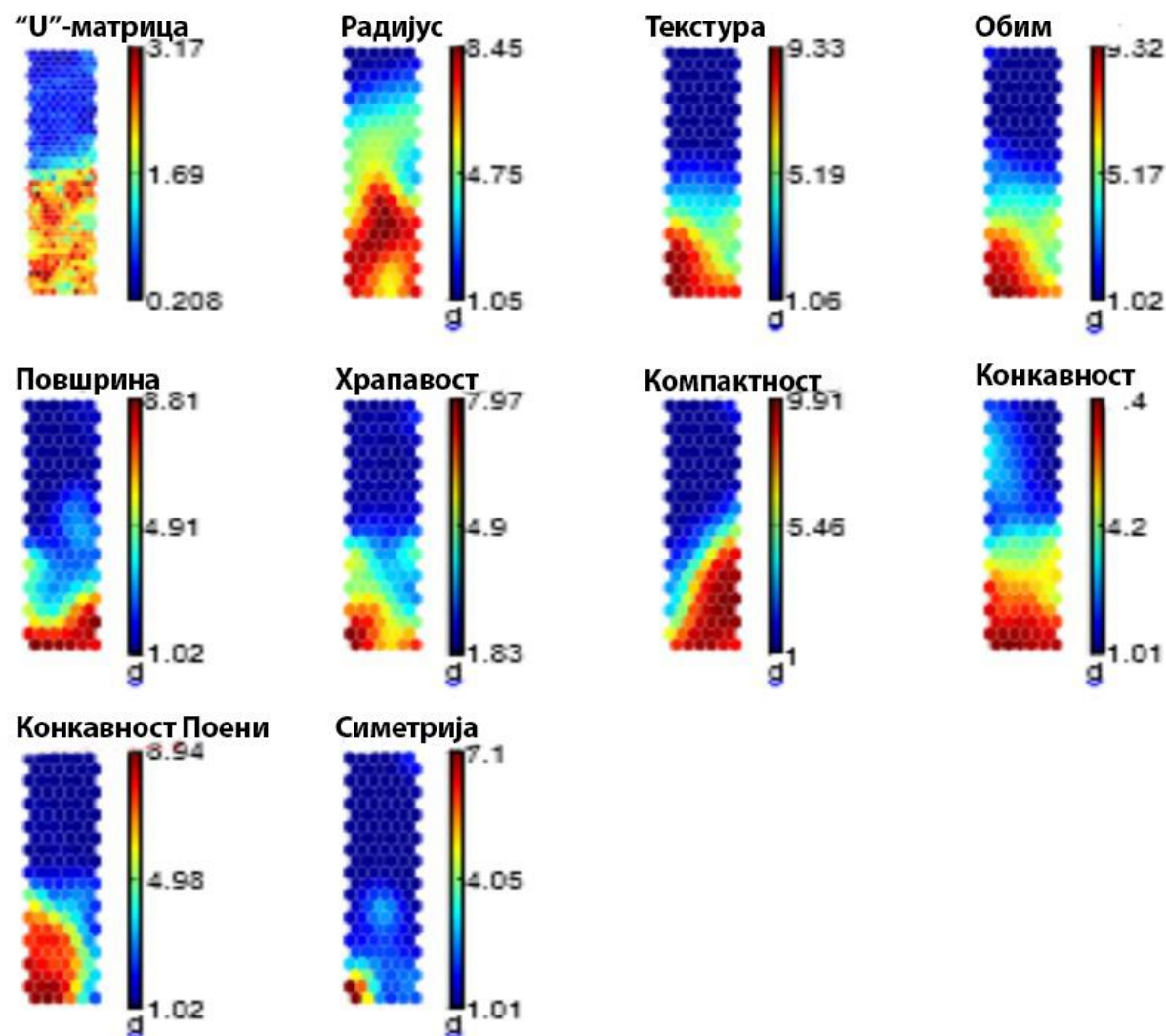
где је:

- T - број узорака улаза,
- $u(x(t))$ - има вредност 1 ако су ВМУ суседни на узорку $x(t)$, у супротном $u(x(t))=0$.

Што је већи број суседних неурона који су ВМУ један до другог и топологија COM је боља. Ограничење за ову меру јесте да за мање мапе није најпоузданија. Ако су први и други ВМУ неурони, TE ће бити низак, што указује на добро очување топологије.

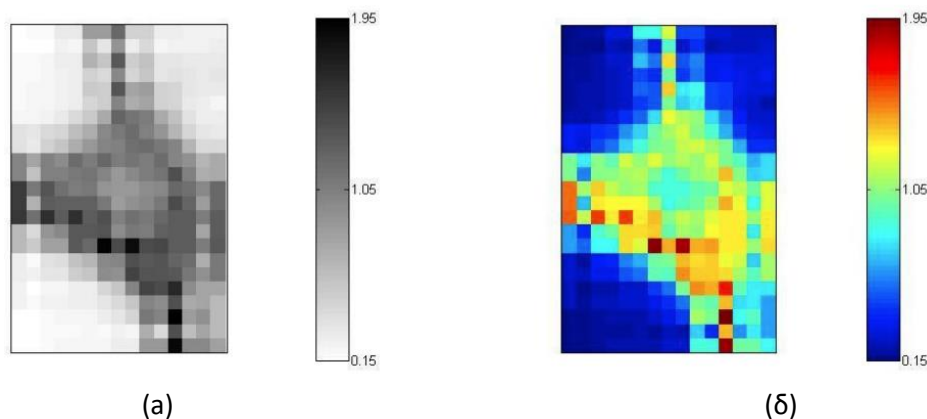
3.1.9 ПРИКАЗ РЕЗУЛТАТА ПОМОЋУ COM

У-матрице (енг. „U”- *matrix*) је увео научник Улч (Ultsch) и представљају један од најпопуларнијих и најкориснијих начина визуелизације кластера COM [23]. Визуелизација података помоћу појединих параметара је једна од различитих техника визуелизације помоћу COM. Те матрице приказују нове обрасце распореда података на COM и откривају зависности између променљивих. Структура и изглед мапе зависи од неурона. Сваки параметар приказује свој утицај на податке и представља боју неурона на мапи. Овакво приказивање доприноси тумачењу различитих резултата и омогућава нова сазнања о скупу података као на примеру дијагностиковања рака дојке (слика 3-13).



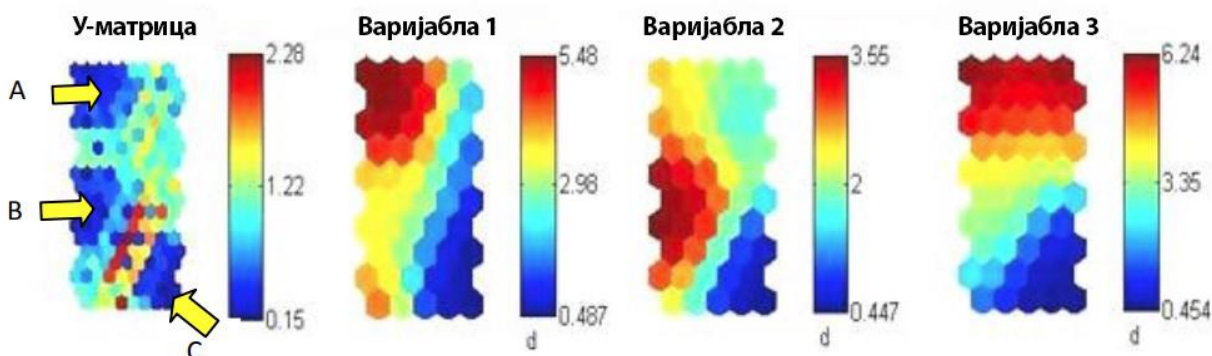
Слика 3-13 Приказ У-матрице [29]

Употреба СОМ за кластеровање путем визуелизације углавном се базира на дводимензионалним апстракцијама као што су У-матрице [30]. Основна идеја ових метода заснива се на принципу коришћења боје као начина представљања матрице удаљености између свих референтних вектора повезаних са неуронима. Неурони који су близу својих суседа приказују се светлим тоновима, док се удаљени неурони од својих суседа приказују тамним бојама. У овом случају приказивања У-матрице, приказује се просечна удаљеност између неурона и његовог суседства. Пример визуелизације помоћу У-матрице са нијансама сиве и RGB бојама представљен је на слици 3-14. На слици 3-14 (а) неурони који су блиски означени су нијансама сиве, а на слици 3-14 (б) означени су нијансама тамно плаве.



Слика 3-14 Класификација помоћу RGB боја (а) неурони који су блиски означени су нијансама сиве боје, (б) неурони који су блиски означени су различитим бојама

Приказ појединачних параметара (енг. *Component Planes*) представљају још један важан алат за визуелизацију резултата COM. Расподела свако појединачног фактора приказује се варијацијом боје. Овако можемо карактерисати сваки кластер и идентификовати повезаност између променљивих. Такође, овај приступ омогућава идентификацију потенцијалних корелација међу променљивима. Комбинација појединих параметара и У-матрице пружа комплетнију слику структуре података и помаже у доношењу закључака о кластерима и њиховим карактеристикама (слика 3-15).



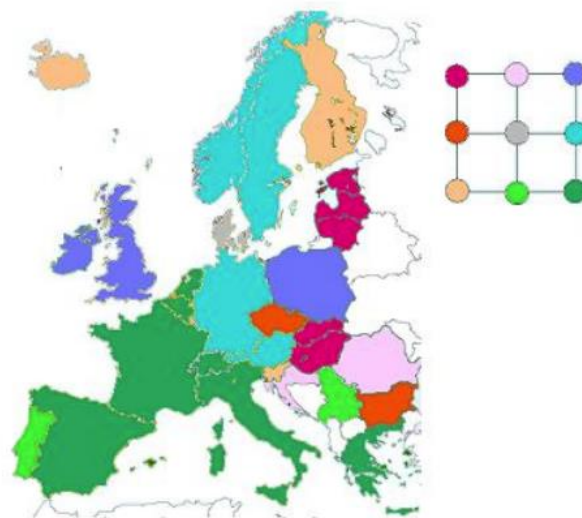
Слика 3-15 Приказ У-матрице и појединачних параметара

Такође, приказ резултата може бити и на начин да сваки неурон представља колика је грешка квантизације, тј. колико добро мапа одражава стварне податке (слика 3-16). Ове различите опције пружају флексибилност у визуелизацији и анализи података помоћу COM.



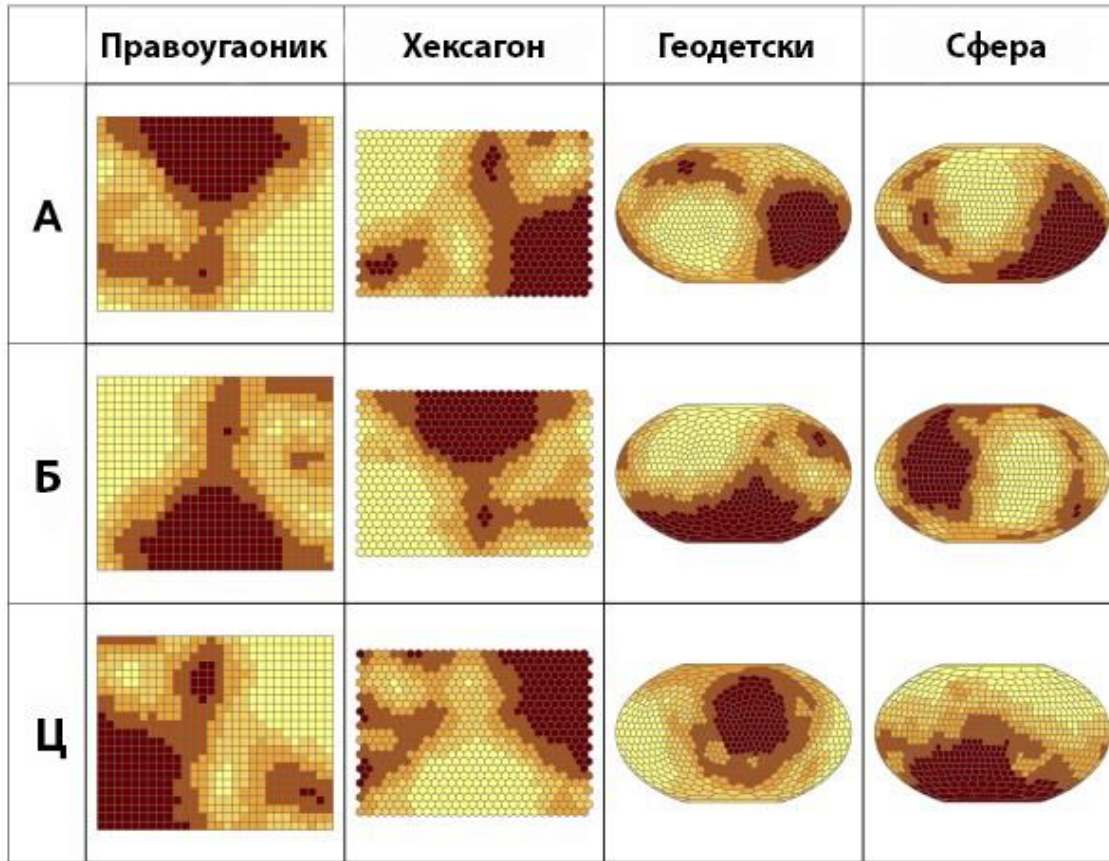
Слика 3-16 Приказ матрице сличности у комбинацији са У-матрицом [31]

Слика 3-17 приказује пример кластеровања географских података. Боја је додељена сваком неурону на мапи. Мапа је величине 3 x 3 која је тренирана на основу података који се односе на главне узроке смрти становника у неколико Европских земаља. На тај начин, користећи географски референциране податке, могуће је визуално идентификовати сличности или разлике у узроцима смрти у различитим европским регионима [31].



Слика 3-17 Класификовање главних узрочника смрти Европских становника [31]

У зависности од проблема, поједине анализе се могу приказати и помоћу геодетске или сферичне матрице које су приказане на слици 3-18. Предност ове методе у односу на квадратну или хексагоналну матрицу јесте да се постиже да се неурони који се налазе на ивицама, односно рубовима имају једнаку важност као и они у средини јер су једнако повезани на целој сферној површини. Геодетски приказ SOM се користи за представљање података на традиционалним картама, најчешће географским картама [32].



Слика 3-18 Приказ исјих резултата помоћу чейири различите мајрице [32]

3.2 ТЕХНИКА КЛАСТЕРОВАЊА К-СРЕДЊЕ ВРЕДНОСТИ

Методe кластеризације су данас широко распрострањене. Велики број кластера или обележја отежава процес кластеризације. Због тога често се примењује метода кластеризације К-средњих вредности. Алгоритам К-средњих вредности се заснива на унапред познатом броју кластера који корисник одређује. Уз дефинисан број кластера за покретање програма неопходно је имати улазне и податке и максималан број итерација. Као и код СОМ, иницирају се тежински фактори насумичним избором. Овај корак се понавља све док алгоритам не конвергира или се премаши задати број максималних итерација. У суштини, постоје два корака: кластеризација се дешава за сваки податак из скупа где се сваки улазни податак идентификује и групише према најближем скупу. Потом се за сваки кластер израчунава ново тежиште. Циљ кластеризације је минимизација функције:

$$J(c^{(1)}, \dots, c^{(m)}, \mu_1, \dots, \mu_K) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \|x^{(i)} - \mu_{c(i)}\|^2 \quad 3-10$$

- $x^{(i)}$ – i -та инстанца у скупу података за тренинг, $i = 1, m$.
- $c^{(i)}$ – индекс кластера у којем је инстанца (i) тренутно распоређена.
- μ_j – тежиште кластера j , $j = 1, K$.
- $\mu_{c(i)}$ – тежиште кластера у којем је инстанца.

- $x^{(i)}$ - тренутно распоређена.

У процесу оцењивања квалитета формираних кластера, кључни критеријуми обухватају међусобну удаљеност. Што су центри кластера удаљенији једно од другог, степен преклапања кластера постаје мањи, што указује на виши квалитет формираних група података. Такође, важан индикатор је стандардна девијација појединачних инстанци у односу на тежиште кластера. Мања стандардна девијација указује на већу концентрацију података око тежишта, што се сматра пожељним. Квантитативна мера за процену квалитета кластера добија се сумом квадрата грешака унутар кластера, где се мања вредност сматра бољим резултатом. К-средње вредности, односно алгоритам, који се често користи за формирање кластера, може конвергирати брже или спорије у зависности од иницијалног избора тежишта, и може се суочити с изазовом локалних минимума у функцији коштања. У ситуацијама где имамо претходно знање о феномену, препоручује се претпоставити број кластера (K) на основу доменског знања.

3.3 АНАЛИЗА ГЛАВНИХ КОМПОНЕНТИ

3.3.1 КРАТАК ИСТОРИЈАТ

У литератури се често може срести назив Кархунен-Ловео (*Karhunen-Loèveom*) трансформацијом који подразумева Анализу главних компонената [33]. Ову технику је први пут описао Карл Персон (енг. *Carl Pearson*) 1901. године. Иако је вршио израчунавања са само две или три варијабле Персон је веровао да се анализа главних компоненти може употребити и за решавање проблема са пуно више променљивих. Опис израчунавања је дат много касније од стране Хтеллинга (енг. *Hteling*), 1933. године. Међутим, и даље су израчунавања била превише компликована и заморна када би требало направити анализу са већим бројем варијабли. Широка употреба анализе главних компоненти је уследила заправо тек са појавом рачунара [34].

3.3.2 ДЕФИНИЦИЈА РСА

Анализа главних компоненти (енг. *Principal Component Analysis - PCA*) је опште име за технику која користи основне математичке принципе за претварање познатог броја потенцијално повезаних променљивих у мањи број променљивих које се називају главне компоненте. Порекло РСА лежи у мултиваријабилној анализи података, међутим, има широк спектар других примена. РСА представља једну од најважнијих резултата примењене линеарне алгебре и њена најчешћа употреба је у покушају анализе великих скупова података. Максималан број нових варијабли које се могу формирати једнак је броју изворних, а нове варијабле нису у међусобној корелацији [35].

Анализа главних компоненти представља статистичку методу, односно анализу смањења димензионалности скупа података. Ова техника се користи за трансформацију скупа података у нови координатни систем, тако да се већина варијације у подацима може представити помоћу мањег броја независних варијабли названих главне компоненте. Она представља линеарну трансформацију оригиналног скупа података који је у корелацији у нови скуп променљивих који нису, са опадајућом вредношћу варијансе. Основни циљ РСА је смањење сложености података, а да се задржи што више информација. Првих неколико главних компоненти обухвата највећи део варијансе садржане у оригиналним варијаблама. Главне компоненте су вектори који представљају ове линеарно комбиноване варијабле, док су припадајуће сопствене вредности (енг. *Eigenvalues*)

сопствене вредности који мере варијацију у сваком правцу. Нове променљиве се називају главним компонентама и оне представљају линеарну комбинацију оригиналних променљивих. Примењује се када се више променљивих у скупу односи на исту димензију, а да не пружају неке додатне информације које нису већ садржане у некој другој променљивој. PCA се често користи у различитим дисциплинама, укључујући статистику, рачунарство, биологију, и многе друге области [36].

3.3.3 АЛГОРИТАМ PCA

Алгоритам анализе главних компоненти садржи пет корака:

- Стандардизација података.
- Рачунање корелационе или ковариационе матрице.
- Рачунање карактеристичног корена или сопствене вредности и сопствених вектора.
- Рачунање главних компоненти.
- Приказ резултата.

3.3.4 СТАНДАРДИЗАЦИЈА ПОДАТАКА

Функције или варијабле могу да имају различите опсеге вредности. Ово није оптимално и може довести до проблема да скуп варијабли преовлада у односу на остале. Постоје два приступа решавању овог проблема. Нормализација података је први, а стандардизација података други приступ. Иако се ове фразе повремено користе као синоним, постоји разлика [37]. Процес у којем варијабле имале средњу вредност 0 и варијацију 1 назива се стандардизација података. У ту сврху користи се 3-вредност функција [37]:

$$\tilde{x}_i^{(j)} = \frac{x_i^{(j)} - \mu_i}{\sigma_i} \quad 3-11$$

Где је:

- μ_i - средња вредност датог скупа параметара.
- σ_i - стандардна девијација датог скупа параметара,
- x_i - је вредност параметра.

3.3.5 КОРЕЛАЦИОНА И КОВАРИЈАЦИОНА МАТРИЦА

Коварианса представља везу линеарног однос између две променљиве. Ковариациона матрица је слична матрици корелацији између две променљиве, међутим, оне се разликују на следеће начине:

- Коефицијенти корелације су стандардизовани. Тако да идеални линеарни однос резултира коефицијентом 1. Корелација узима у обзир јачину везе и (позитиван или негативан) однос две променљиве.
- Коефицијенти ковариационе матрице нису стандардизоване. Према томе ковариациона матрица има опсег од $\pm$ бесконачности. Због тога идеалан однос тих релација зависи од самих података. Пошто подаци нису стандардизовани, тешко је одредити однос између променљивих [38].

Коефицијент корелације је функција коваријансе. Коефицијент корелације једнак је коваријанси подељеној производом стандардних одступања променљивих. Стога, позитивна коваријанса увек резултира позитивном корелацијом и негативна коваријанса увек резултира негативном корелацијом.

Матрица корелације је квадратна матрица која приказује коефицијент зависности између две променљиве. Коефицијент корелације мери колико су чврсте везе и у ком односу су две променљиве повезане. Матрице корелације се такође могу користити за проналажење зависности у којима су две или више променљивих високо повезане једна са другом. Анализом коефицијента корелације између две променљиве утицај повезаности једне променљиве у односу на друге променљиве [39]. Матрица корелације се односи на симетрични низ бројева и рачуна се преко следећих формула:

$$\mathbf{R} = \begin{pmatrix} 1 & r_{12} & r_{13} & \cdots & r_{1p} \\ r_{21} & 1 & r_{23} & \cdots & r_{2p} \\ r_{31} & r_{32} & 1 & \cdots & r_{3p} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{p1} & r_{p2} & r_{p3} & \cdots & 1 \end{pmatrix} \quad 3-12$$

Где је:

$$r_{jk} = \frac{(n\Sigma XY - \Sigma X \Sigma Y)}{\sqrt{(n\Sigma X^2 - (\Sigma X)^2)(n\Sigma Y^2 - (\Sigma Y)^2)}} \quad 3-13$$

Где је:

- r - коефицијент корелације.
- n – број опсервација.
- ΣXY - збир производа сваког пара одговарајућих опсервација ове две променљиве.
- ΣX - збир опсервација прве променљиве.
- ΣY - збир опсервације друге променљиве.
- ΣX^2 - збир квадрата опсервације прве променљиве.
- ΣY^2 - збир квадрата опсервације друге променљиве [39].

Коефицијент корелације добијен представља низ вредности, где је идеална негативна корелација представљена вредношћу -1 , идеална позитивна корелација вредности од $+1$, док уколико не постоји корелација између променљивих није представљена вредношћу 0 .

3.3.6 СОПСТВЕНЕ ВРЕДНОСТИ И СОПСТВЕНИ ВЕКТОРИ

3.3.6.1 СОПСТВЕНА ВРЕДНОСТ

Након тога, рачунају се сопствене вредности и сопствени вектори корелационе матрице. Главне компоненте се сортирају у опадајућем редоследу на основу сопствених вредности. Прва главна компонента има највећу сопствену вредност и објашњава највећи део варијансе у подацима. Сопствене вредности су дијагонални елементи матрице корелације. Ове вредности такође представљају варијансу главних компоненти, а рачунају се помоћу формуле.

$$Z = V \cdot Y$$

3-14

Где је:

- Z - матрица резултата главних компоненти ($n \times m$),
- Y - стандардизована матрица података ($n \times p$) која се користи са методом матрице корелације,
- V - матрица сопствених вредности ($p \times m$).

3.3.6.2 СОПСТВЕНИ ВЕКТОРИ

Сопствени вектори, који се састоје од коефицијента који одговарају свакој променљивој, су тежински коефицијент за сваку променљиву која се користи за израчунавање резултата главних компоненти. Те вредности се добијају као колоне ортогоналне матрице које имају вредност од највеће до најниже корелационе матрице, R . Тачније, зато што је R симетрична, ортогонална матрица V постоји тако да:

$$V' \cdot R \cdot V = D$$

3-15

Где је:

- R – корелациона матрица,
- V – сопствени вектор,
- D – дијагонална матрица сопствених вредности.

или еквивалентно,

$$R = V \cdot D \cdot V'$$

3-16

где је:

- D - дијагонална матрица чији су дијагонални елементи сопствене вредности,
- V - сопствени вектори су колоне.

Сопствени вектори потичу из [40]:

$$R = V \cdot L \cdot V'$$

3-17

Сопствени вектор ће бити једнак величини тог правца. Ако те вредности сортирамо по опадајућем редоследу, сопствени вектор који је повезан са првом сопственом вредношћу нам даје прву главну компоненту (PC1), други даје другу главну компоненту (PC2) и тако даље.

Прва главна компонента има највећу сопствену вредност и објашњава највећи део варијансе у подацима. Одлука о томе колико главних компонената ће бити задржано зависи од циљева анализе и жељене димензионалности. Обично се користи кумулативни проценат варијансе који се објашњава сачуваним компонентама. Подаци се трансформишу у нови простор дефинисан

одабраним главним компонентама. Ово се постиже матричним множењем оригиналних података са сопственим векторима изабраних компонената. Након тога се врши интерпретација резултата.

3.3.6.3 ПРОПОРЦИЈА

Пропорција варијансе узорка објашњена к-тим главном компонентом израчунава се на следећи начин:

$$\frac{\lambda_k}{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_p} \quad 3-18$$

Где је:

- λ_k – к-та вредност сопственог вектора,
- p - број варијабли.

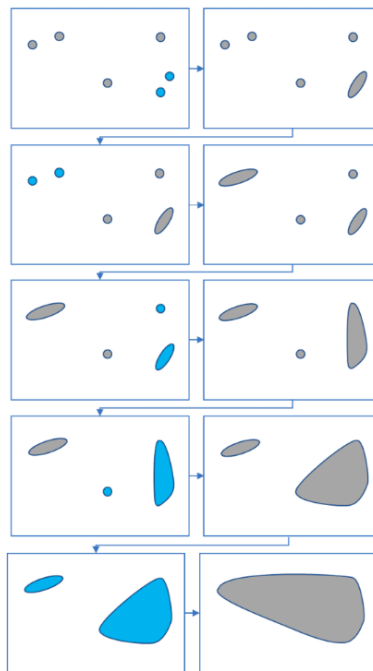
3.3.6.4 КУМУЛАТИВНА ПРОПОРЦИЈА

Кумулативна пропорција варијансе узорка која је објашњена првим к-тим главним компонентама израчунава се на следећи начин:

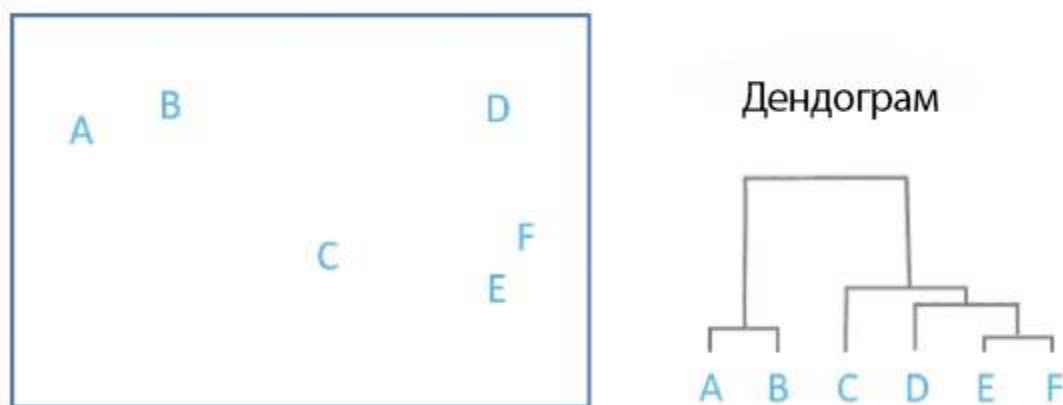
$$\frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_k}{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_p} \quad 3-19$$

3.4 ХИЈЕРАРХИЈСКО КЛАСТЕРОВАЊЕ

Хијерархијско кластеровање је познато и као хијерархијска анализа кластера. У суштини, то је алгоритам који групише сличне податке у групе које се називају кластери. Главни резултат који се добија јесте дендограм (слика 3-19). Он приказује хијерархијски однос између кластера.



Слика 3-19 Алгоритам хијерархијског кластеровања



Слика 3-20 Приказ резултата хијерархијског класификовања

4. ПРЕГЛЕД ПРИМЕНЕ САМООРГАНИЗУЈУЋИХ МАПА

Фински истраживач и академик Теуво Кохонен, је током рада на Хелсиншком технолошком универзитету у периоду од 70-их до почетка 80-их година, представио алгоритам SOM. Међутим, права популарност овог алгоритма дошла је тек након другог издања Кохоненове књиге 1988. Од тог кључног тренутка, област SOM постала је богата радовима и књигама, при чему се књиге које је написао Кохонен сматрају главним референцама у овој области. У тим књигама, SOM се описује као снажан алат за визуелизацију и анализу вишедимензионалних података, што су подручја примене која су посебно привлачна. Ипак, треба истаћи да се SOM може користити и за груписање, смањење димензионалности, класификацију, односно откривање законитости у подацима [41] [42]. Циљ прегледа примене јесте да се покаже на које све начине и у којим све областима се SOM може применити.

Једноставност употребе SOM доприноси широкој примени, укључујући класификацију база података слика [43], проучавање кретања [44], предвиђање енергетског оптерећења [45], кластеризације анаеробног процеса варења [46], области роботике [46] и друге [47]. Посебно су корисне у области попут финансија, где се могу применити да би се идентификовале зависности и односи као што су цене акција или трансакције купаца. У биологији, SOM се могу користити за анализу великих, сложених скупова података, као што су генетски или протеомски подаци, за идентификовање образаца и односа између различитих гена или протеина [48] [49]. SOM се може искористити за кластеризацију квалитета амбијенталног ваздуха у данима када у ваздуху има више загађивача [50]. Примена се огледа и приликом процене штете, односно промена структуре грађевине. Овај метод се често користи међу инжењерима како би се побољшала поузданост грађевине [51].

4.1 ПРИМЕНА SOM У САОБРАЋАЈУ

У саобраћају, на пример, SOM може допринети у кластеризацији возача градског саобраћаја који се односи на њихову реакцију приликом излагања одређеним факторима који их ометају [52] и кластеризацији возача јавног превоза у вези са њиховим возачким вештинама [53]. У суштини, приликом кластеризације возача уочено је да возачи који јаче стискају папучицу за гас имају већу

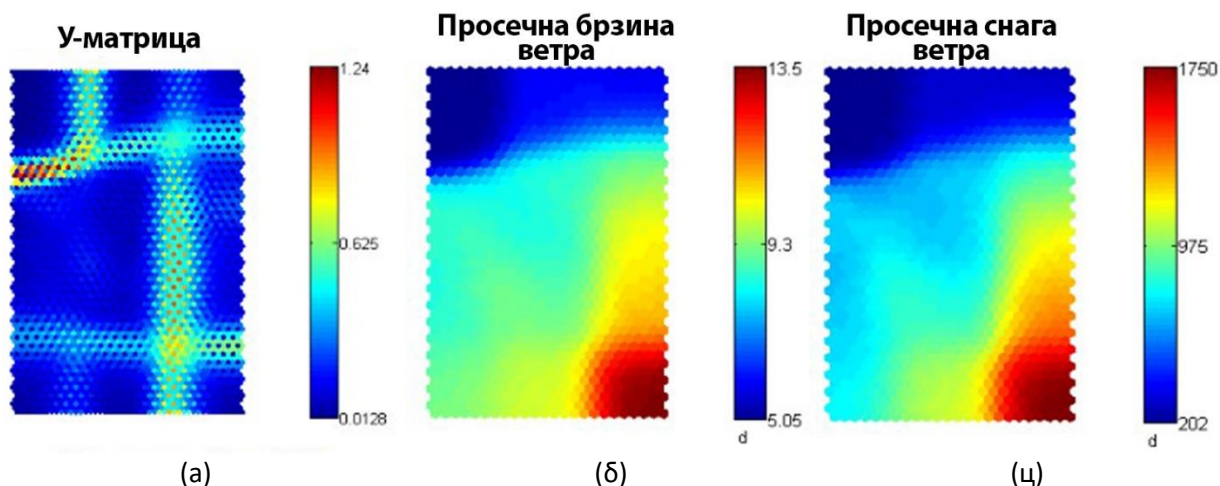
потрошњу горива за исту руту. СОМ метода може да се користи и за идентификацију места где се најчешће дешавају саобраћајне незгоде [54] или једноставно детекцију аномалија у саобраћају [55].

4.2 ПРИМЕНА У ТРГОВИНСКИМ ЛАНЦИМА

У ланцу снабдевања неопходно је одабрати одрживи пут ланца снабдевања са добављачем. У суштини, циљ је оптимизовати избор добављача у складу са захтевима тржишних потреба купаца. СОМ се показала као добар алат приликом решавања овог проблема. Први корак ка решавању јесте добијање кластера помоћу СОМ на основу захтева потражње купаца. Затим, на основу методе која укључује више критеријума добављачи су рангирани и постигнута је координација међу њима [56].

4.3 ПРИМЕНА СОМ У АНАЛИЗИ РАДА ВЕТРОТУРБИНА

У виду примене СОМ се може користити у анализи рада ветротурбина, истраживања су показала значајне потенцијале ове технике у различитим аспектима одржавања и управљања. У анализи оперативних карактеристика и идентификацији проблема у ветротурбинама СОМ је постала кључна. За прецизну идентификацију стања лежаја и зупчаника у редукторима ветротурбине коришћена је СОМ. Тестирање је потврђено на оштећеној ветротурбини и потврђена је ефикасност индикатора у откривању истог [57]. Други приступ јесте да су прикупљени подаци са СКАДА (енг. *SCADA - Supervisory Control and Data Acquisition*) система ветротурбина и применом СОМ омогућена је ефикасна анализа и идентификација аномалија у раду ветротурбине [58]. СОМ може да се користи ради оптимизације процеса дијагностике ветропаркова, њихову кластеризацију и груписање турбина на основу њихових оперативних параметара. Кориснику је омогућена дијагностика тренутног стања ветропарка анализом узорака из група са сличним понашањем. Резултати експеримената показују способност овог приступа да идентификује различите карактеристике [59]. Слично истраживање је спроведено у раду где је претпостављено је да ће понашање ветротурбине током првих годину дана рада бити најрепрезентативније за нормалан рад. Као улазни параметри су коришћени: активна снага, реактивна снага, брзина ветра, фреквенција напона, фактор снаге, брзина генератора итд.. Паралелним упоређивањем добијених кластера (слика 4-1(а)) уочено је да турбине које су изложене највећем утицају брзине ветра (слика 4-1 (б)) забележиле највећу снагу (слика 4-1 (ц)) и сходно томе и највише произведене електричне енергије. Уколико се нека ветротурбина не налази у овом кластеру, а да при томе је изложена овим параметрима могло би се посумњати на потенцијални квар [60].



Слика 4-1 Приказ класџера (а) Формирани класџери љомоћу „У“ маѝрице, (б) ѝросечна брзина веѝра (ц) ѝросечна снаѝа [60]

Када је реч о самој енергији ветра, СОМ може да послужи у процени брзине ветра за наредни дан. Основ за коришћење СОМ у прогнозирању брзине ветра за наредни дан је следећи: узимајући 24-часовне податке о брзини ветра као улаз, СОМ ће груписати сличне дане. Слични дани ће имати сличне брзине ветра наредног дана (просечне вредности брзине ветра, као и минималне и максималне вредности током 24 сата). Тренинг скуп је базиран на подацима о брзини ветра током 94 дана, где је вектор улазних података састављен од дневне брзине ветра. Резултат је 8 кластера (слика 4-2) [61].

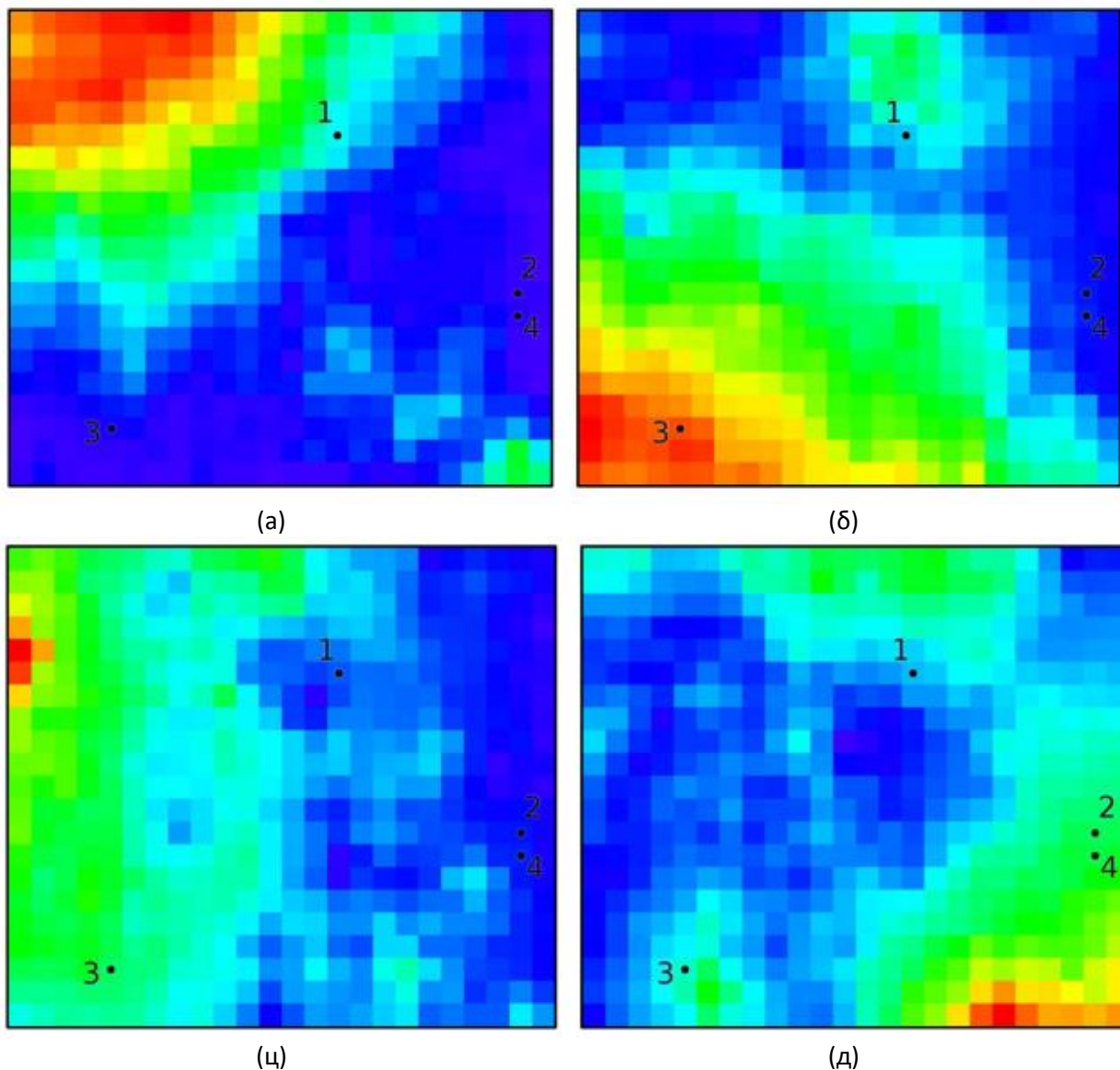


Слика 4-2 СОМ класѝери 24-часовноѝ ѝруѝсања дана ѝо брзинама веѝра [61]

4.4 ПРИМЕНА СОМ У КРИМИНАЛИСТИЦИ

СОМ се може применити у области криминалистике. Метод СОМ је примењен на град Хјустон у Савезној држави Тексас у периоду од августа до октобра 2005. године након тешке елементарне непогоде проузрокованим ураганом Катрина. Као улазни подаци користили су се званични подаци полицијске управе о броју пријављених упада (крађа). Након анализе појединачних параметара који

су приказани на слици 4-3. Један од резултата који се добије упоређивањем слике 4-3 коју је мапа открила јесте да удаљеност од полицијске станице нема утицај на број крађа.

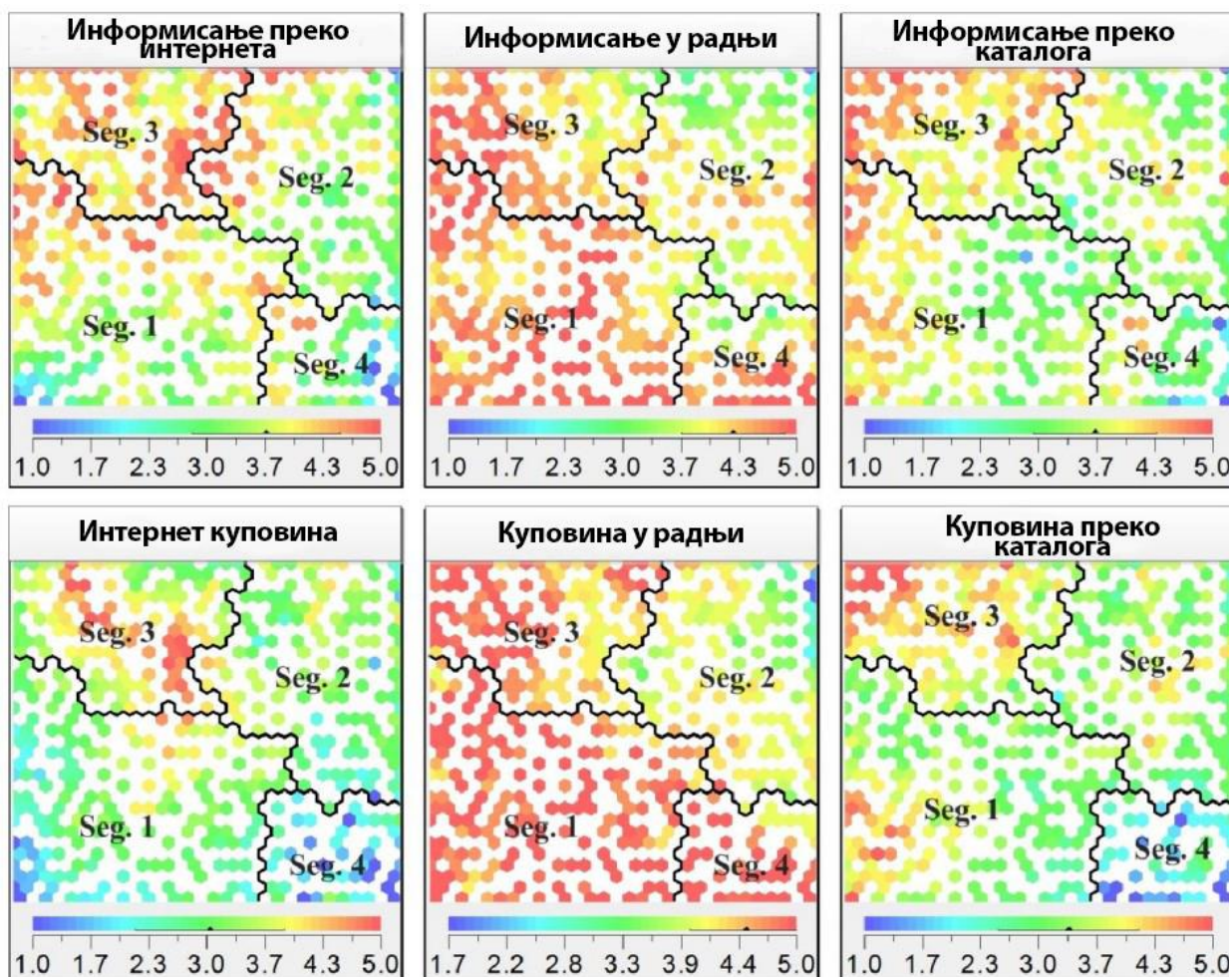


Слика 4-3 Појединачни параметри (а) процена нивоа сиромаштва Афроамериканаца; (а) процена нивоа сиромаштва Шпанског јорекла, (в) процена нивоа сиромаштва испод нивоа сиромаштва (в); удаљеност до најближе полицијске станице (г). Црвена боја одговара високим вредностима, плава боја ниским вредностима.

4.5 ПРИМЕНА SOM У ОБЛАСТИ ЕКОНОМИЈЕ

У области економије SOM је корисна приликом анализе и визуелизације промена макроекономских показатеља чланица ЕУ од почетка глобалне кризе 2008. године. Резултат је 6 кластера и закључак да постоји корелација између БДП по глави становника земаља ЕУ и различитих других кључних макроекономских показатеља попут директних инвестиција и увоза/извоза [62]. У погледу економије SOM обухвата више подручја, укључујући финансије [63], економију и маркетинг. У финансијском сектору, ове мапе се користе за почетну финансијску анализу или предвиђање

вероватноће банкрота [64]. Такође, помоћу мапе може се мерити и тренутна финансијска моћ банака [65]. У маркетингу мапе имају примене попут профилисања и оцењивања купаца, анализе њихових преференција, предвиђања њиховог понашања, кластеризације тржишта и пружања директне подршке стратешком маркетингу [66]. У анализи понашања купаца приликом куповине артикала COM је допринела њиховом кластеровању и одговору на основу чега се купци опредељују за одређени производ. На основу података приказаних на слици 4-4, добија се укупна структура потрошачких кластера у профилисању потрошача за сваки кластер. Где је јасно уочено да фокус треба поставити према кластеру 1 који је обухватио 37,63% укупних потрошача. При томе ову групу корисника чини млађа популација која има повољан став према претрази информација на интернету, али преферира продавницу за куповину [67].



Слика 4-4 Карактеристике појединих варијабли унутар кластера [67]

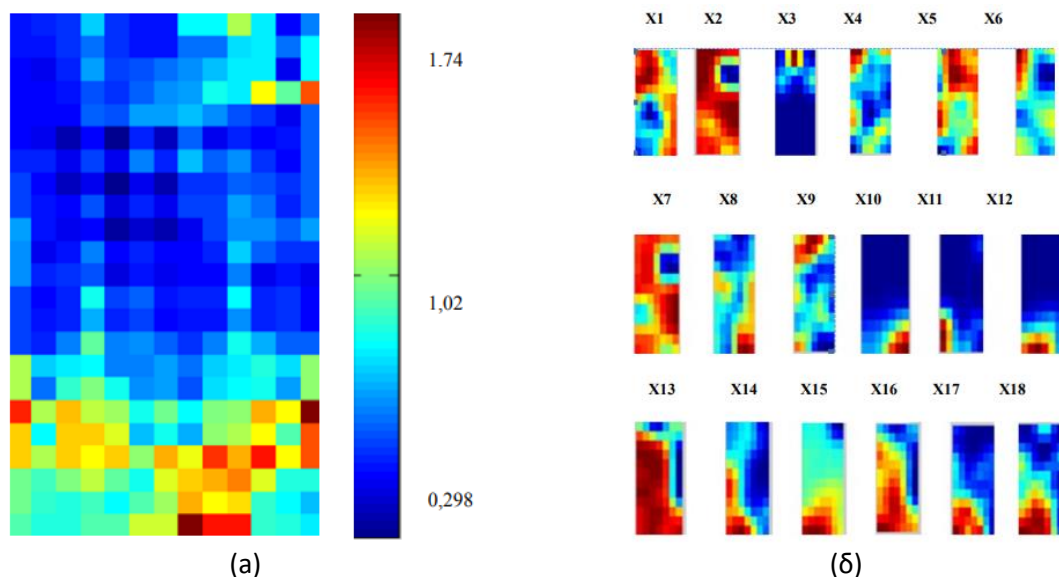
4.6 ПРИМЕНА COM У УГОСТИТЕЉСТВУ

Сличан концепт у вези са профилисањем потрошача је примењен на кинеске ресторане. Како би се испитале карактеристике различитих ресторана у кинеском граду Ксиану, коришћена је COM, а улазни подаци су били рецензије гостију постављене на једној од друштвених мрежа. На основу

резултата COM је показала да постоји 10 различитих кластера. Ова кластеризација доприноси менаџерима управљање рестораном и побољшање конкурентности и асортимана хране [68].

4.7 ПРИМЕНА У МЕДИЦИНИ

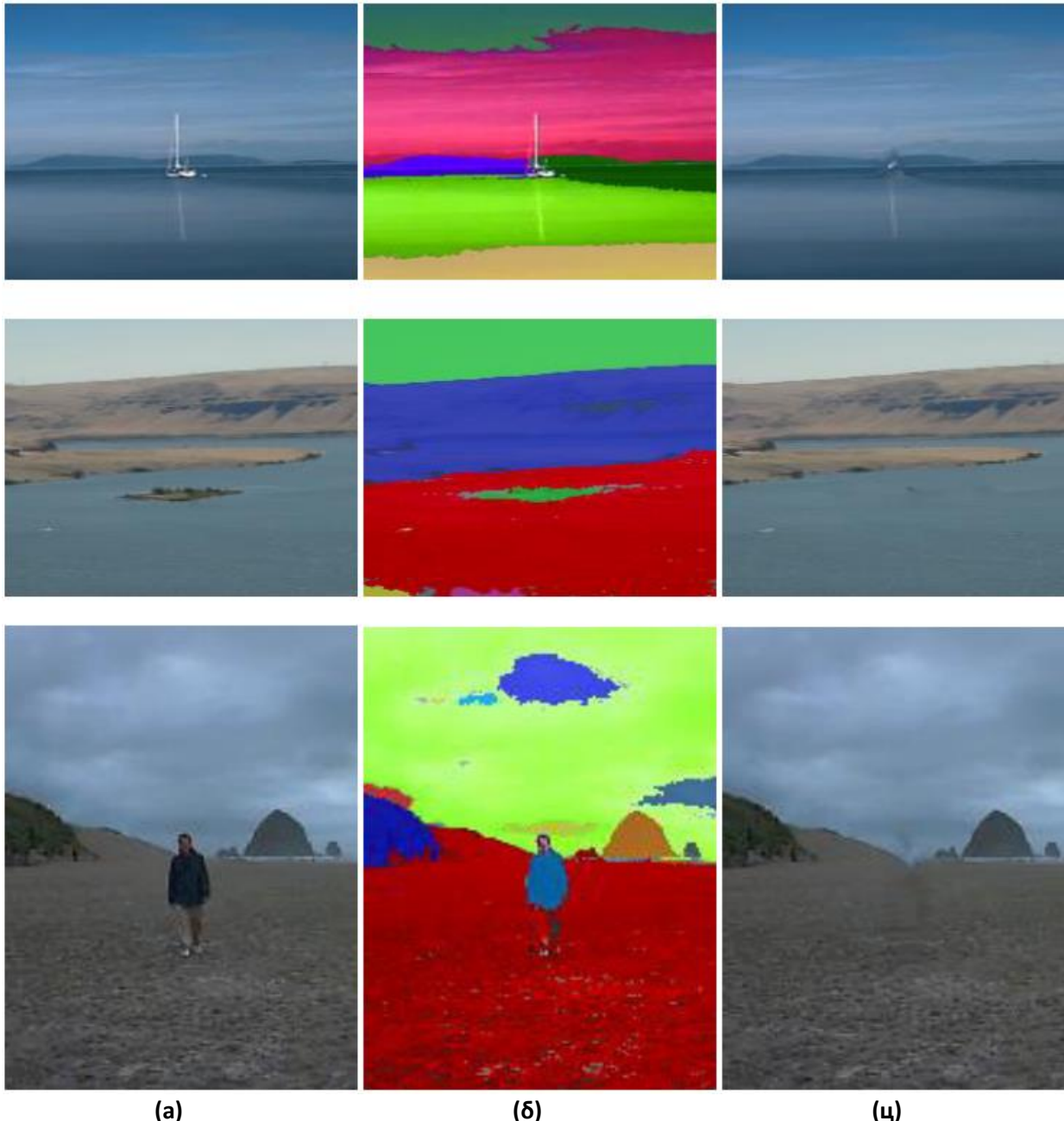
Примена у медицини се огледа у откривању или дијагностиковању одређених болести. COM има примену при оцени тренутног стања мрежњаче пацијената. У том погледу COM има примену у груписању у 3 кластера. Да би се то извело слика очију пацијената је претворена у нијансе сиве боје, уз поступак прилагођавања бољег контраста и боље прегледности ивица. Слика тада представља улазни податак и врши се класификација да ли пацијент има проблем са глаукомом, дијабетичком ретинопатијом или је око у здравом стању. Постигнута тачност класификације износи 93,7% [69]. Такође, COM се може користити и за идентификацију типа рака дојке где се примењује сличан приступ. Процес започиње прикупљањем базе података сонографских слика које приказују туморе дојке, а свака слика је означена као бенигна или малигна. За сваку слику генерише се вектор карактеристика који садржи информације о текстури карактеристике слике, који заправо представља улазни податак у COM. За сваки неурон у мапи, израчунава се однос r , који представља учесталост бенигних и малигних случајева у тренинг скупу који су класификовани у тај неурон, у случају односа који је ближе вредности 1 тумор ће бити класификован као бенигни, у случају 0 биће класификован као малигни [70]. Детаљнија анализа COM на овај проблем је спроведена у Тунису. COM се применила у делу откривања који фактори утичу на то да ли ће канцер бити бенигни или малигни. Анализом слике 4-5, плаво подручје на мапи углавном је повезано са пацијентима са бенигним туморима чиме се потврђује велика сличност карактеристика пацијената у тој групи. Међутим, на остатку мапе од центра према дну из центра мапе, могу се приметити да се боја на неколико места мења у црвену. Овај податак сугерише да су пацијенти са малигним туморима више у хетерогеној средини. За анализу утицајних фактора користи се приказ појединих параметара понаособ. Закључак јесте да су фактори X_{11} и X_{12} у корелацији. Исти закључак важи и за варијабле X_{14} , X_{17} и X_{18} , који представљају мамографију, метастазу и анапти [71].



Слика 4-5 COM (a) Тойолошка мапа класифера за дијагносификовање рака дојке, (б) мапа појединачних параметара [71]

4.8 ПРИМЕНА У ОБРАДИ СЛИКА

SOM у комбинацији са PCA методом се показала као добар алат за класификацију слика. На узорку од 250 слика постигнута је тачност класификације од 88% [72]. Примена SOM на сликама се не ограничава само на класификовању, већ може послужити и за уређивање слике у виду уклањања објеката или попуњавања избледелих целина (слика 4-6). При тој примени, постоји више SOM на једној слици, а улога SOM јесте да на основу класификације дела слике о којем објекту или целини се ради да попуни празан или да уклони део који се тражи [73].



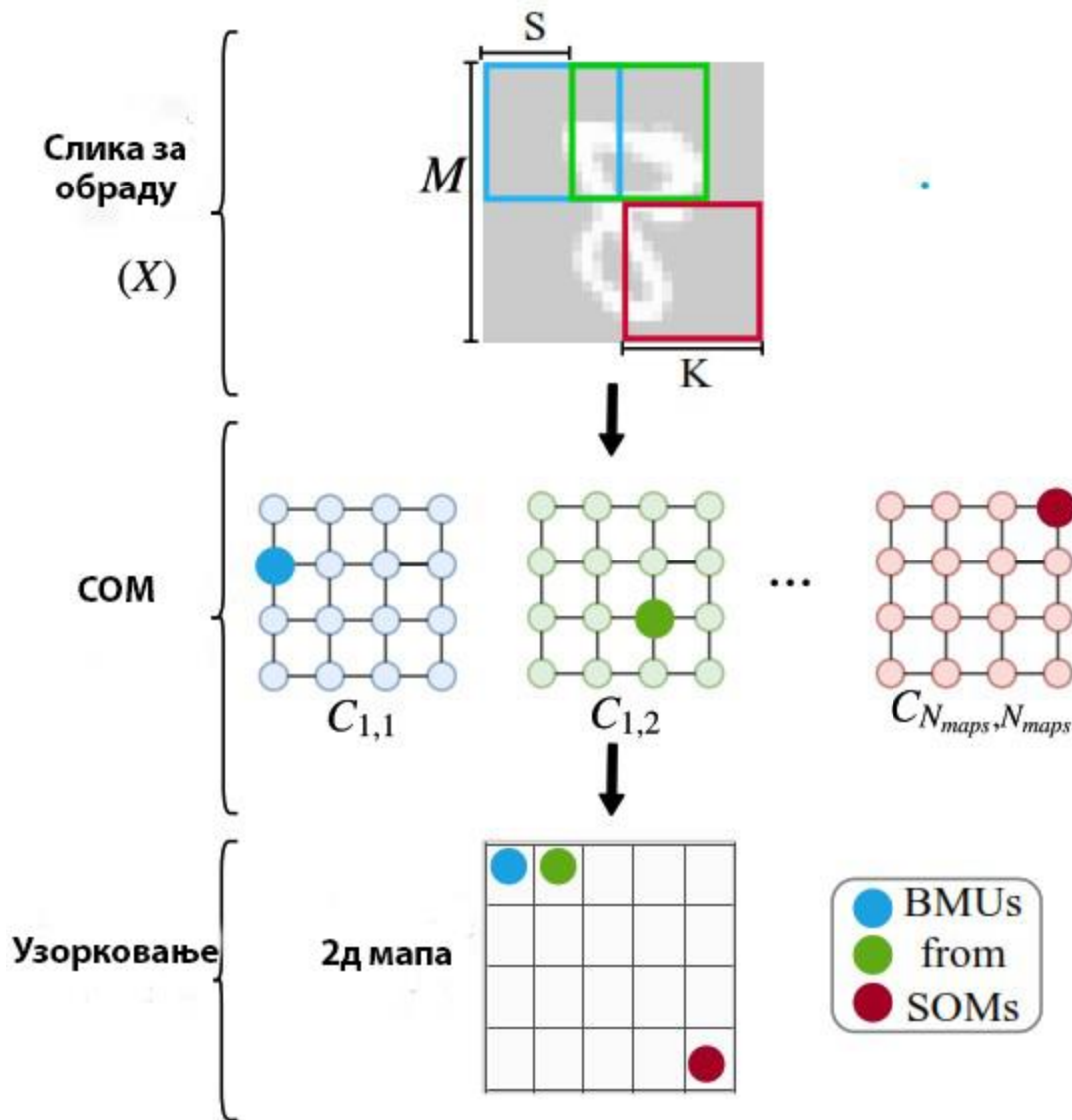
(a)

(b)

(c)

Слика 4-6 Уклањање објеката и попуњавање SOM (a) почетна слика; (b) класификована слика; (c) уређена слика помоћу SOM [73]

Када је реч о процесуирању слика, SOM се може користити и за компресију постојећих слика. Детаљи експерименталног поступка и резултати указују на ефикасност Кохоненове мапе у постизању компресије слика, где је процес обуке мапе од кључног значаја за представљање боја у улазној слици. Мапирање пиксела на најближу тачку на мапи доприноси додељивању боја, смањујући укупан број боја на слици. Овај процес омогућава реконструкцију слике помоћу мањег скупа боја, чиме се остварује значајна компресија података [74]. Пример алгоритма обраде слике помоћу SOM је приказан на слици 4-7 [75].



Слика 4-7 Процес обраде слике помоћу SOM [75]

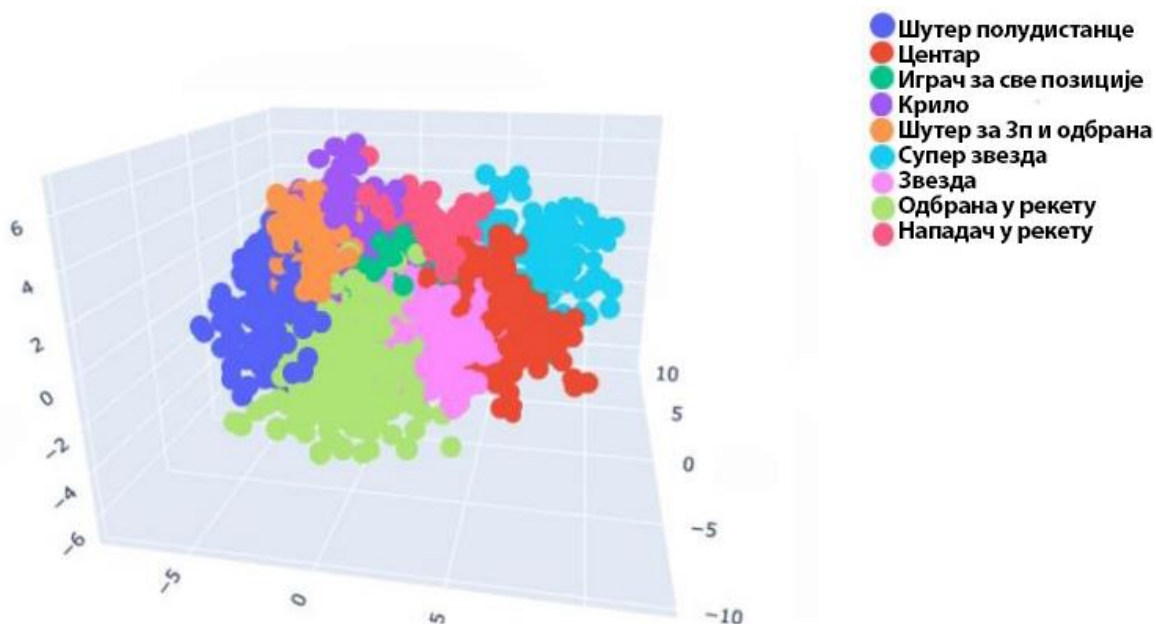
4.9 ПРИМЕНА У РОБОТИЦИ

Када је реч о кретању робота кроз простор, прецизније кроз лавиринт, SOM представља важан инструмент што показује неколицина радова [76], [77], [78]. Овај приступ омогућава роботима да стварају мапу свог окружења и планирају путању кроз препреке. Роботи су опремљени различитим сензорима који пружају информације о околини, укључујући удаљеност до препрека, осветљење

или боју. Ови подаци са сензора служе као улаз за СОМ, која се користи за формирање 2д слике околине. СОМ омогућава роботу да идентификује и запамти путеве који избегавају препреке и зидове. Неурони на мапи групишу се према сличностима у сензорским подацима, стварајући просторну слику која рефлектује структуру лавиринта. Кроз итеративни процес учења, робот постепено развија способност аутономног кретања, прилагођавајући своје понашање у складу са стварном топографијом простора. Када се робот креће кроз простор, СОМ рефлектује карактеристике околине. На пример, ако робот наиђе на зид, неурони на мапи који одговарају тој области постају активни. Овај приступ омогућава роботима да избегавају препреке, препознају путеве који воде ка циљу и самостално планирају најефикаснију руту [79].

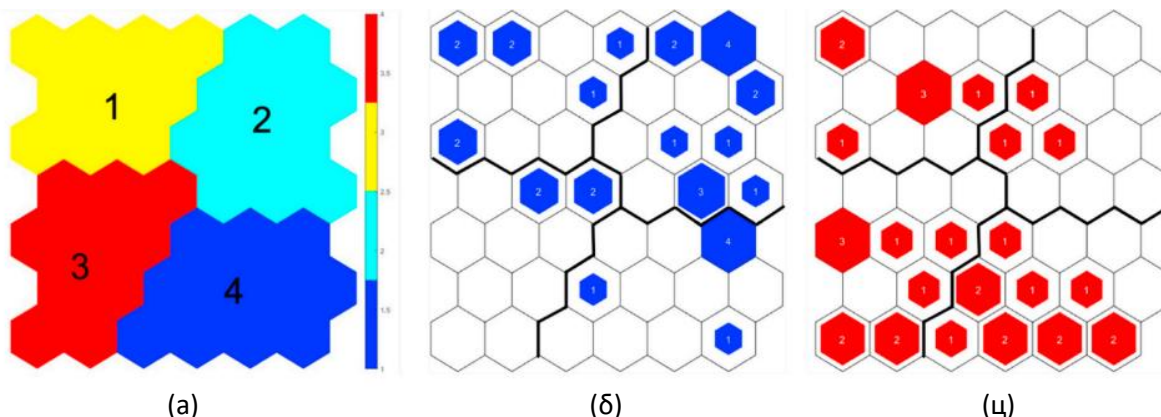
4.10 ПРИМЕНА У ОБЛАСТИ СПОРТА

Примена СОМ се може пронаћи и у области спорта. СОМ помаже спортским директорима или агентима у селекцији типа играча за одређену позицију. Циљ рада је употреба СОМ, како би се груписали играчи на основу њихових способности. У периоду од 2011. до 2018. године прикупљено 30 различитих статистичких података за 3000 играча који играју у NBA лиги. Као улаз у СОМ првобитно је урађена PCA и потом извршено кластеровање. Резултати студије су показали да је применом СОМ на податке о вештинама играча постигнута тачност изнад 95%, а они су груписани у 9 кластера и приказани на слици 4-8 [80].



Слика 4-8 Класификација кошаркаша добијени помоћу СОМ [80]

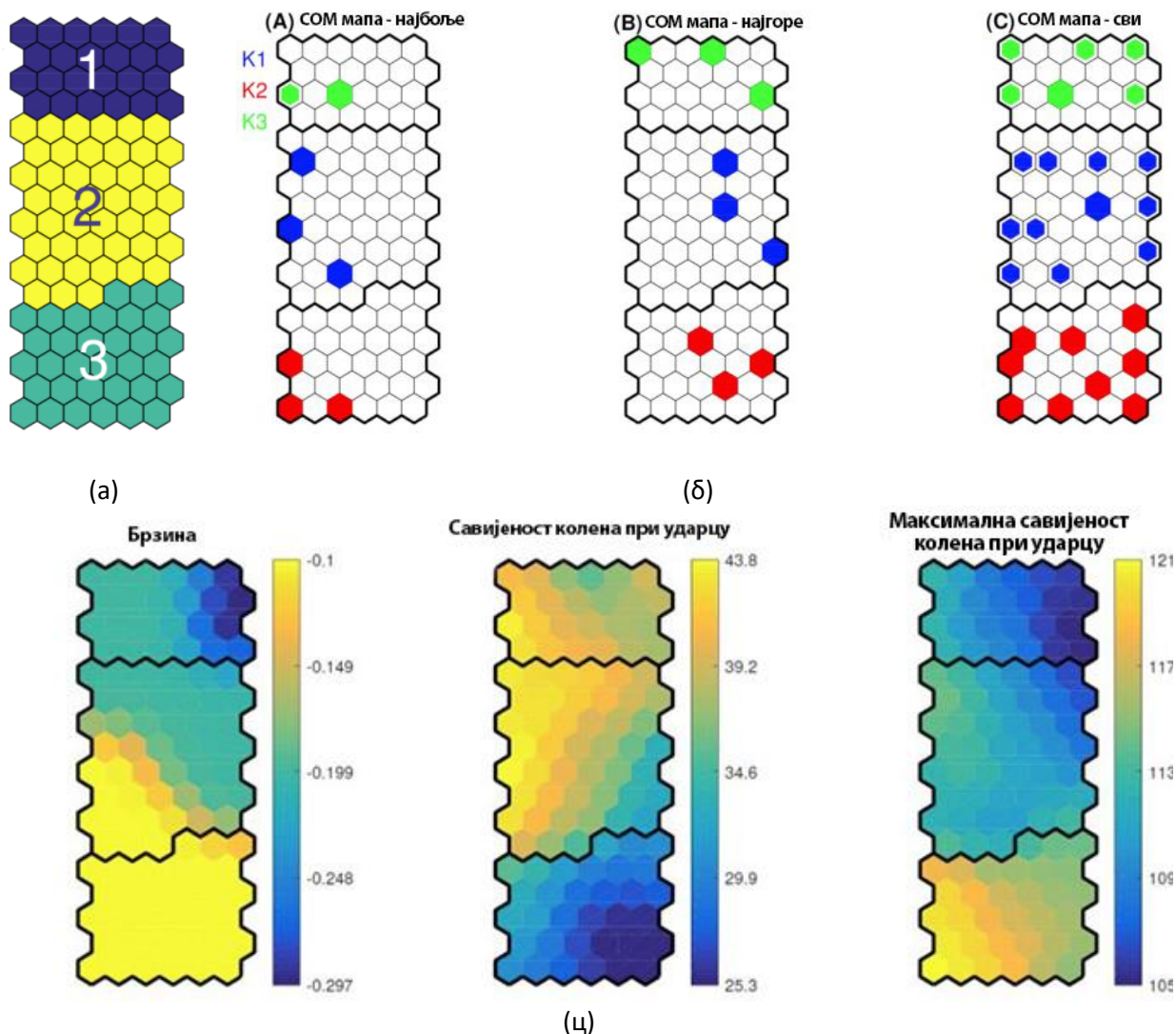
У области спорта СОМ може бити корисна у откривању узрочника повреда атлетичара који се баве трчањем. Са обзиром да се и до 79% атлетичара повреди током једне сезоне неопходно је спровести анализу и да би се то утврдило примењен је СОМ. Улазни подаци су били 37 различитих варијабли попут, стопе оптерећења на тло, пропорције покрета, дужину корака, углове зглобова колена и скочног зглоба итд.. Резултати анализе помоћу СОМ идентификовали су четири кластера трчања. Слична расподела између мушкараца и жена је уочена при стандардној брзини трчања (слика 4-9(б)), док су при већој брзини од стандардне уочене су разлике.



Слика 4-9 SOM са четири класиера (жутиа = класиер 1 (горе лево), свејло йлава = класиер 2 (горе десно), црвена = класиер 3 (доле лево), йлава = класиер 4 (доле десно)) (лева колона). Број ййодака за сйандардну брзину йрчања дуйої и број ййодака за брзину йрчања 30% већу [81]

Главни разлог јесте да су жене мењале свој стил ходања како се повећавала њихова брзина. Током трчања при брзинама дугог, спорог трчања, хистограми резултата показали су да се већина покушаја налази у кластеру 1 и 2 (слика 4-9). Међутим, како се брзина испитаника повећавала за 30% у односу на почетну, хистограми резултата и дистрибуције су показали премештање покушаја у кластере 3 и 4. Анализом слике 4-9 јасно је уочено да укупно да се девет женских тркачица груписало у кластер 2. Међутим, када су се брже кретале, шесторо њих је прешло у кластере 3 и 4, две су прешле су у кластер 1, а само једна тркачица остала је у кластеру 2 [81].

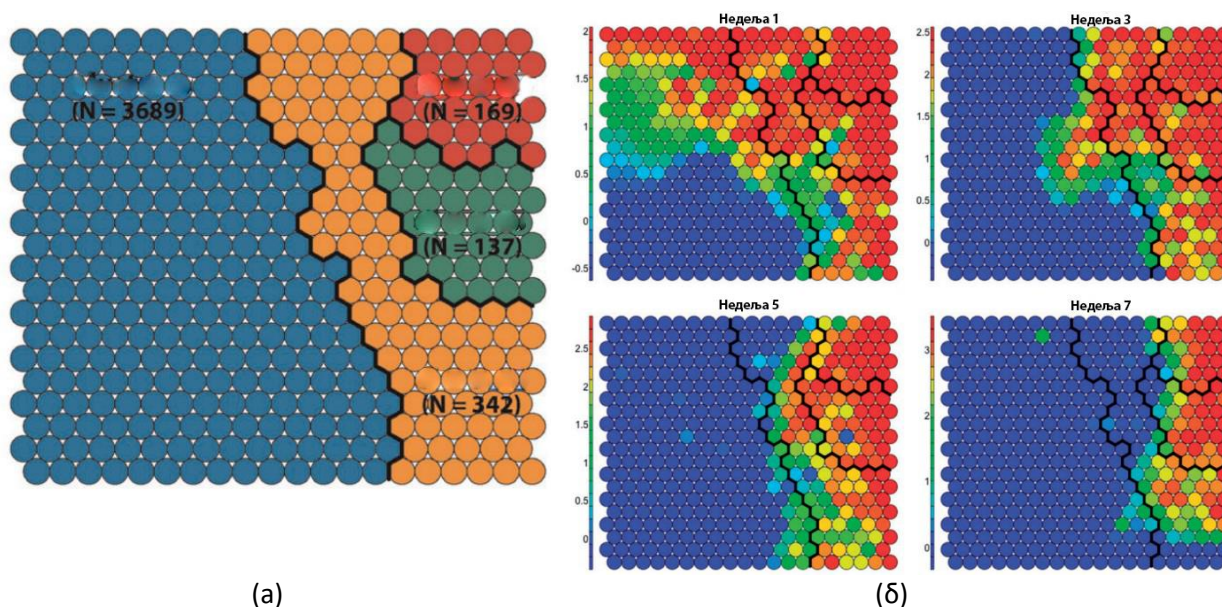
SOM може бити корисна у кластеровању у идентификовању успешних од неуспешних покушаја извођења слободних удараца у америчком фудбалу. SOM се може користи приликом анализе кључних биомеханичких параметара који су претходно идентификовани као релевантни за разликовање успешних од неуспешних покушаја при извођењу слободних удараца. Испитаници су били три такмичарска играча који су изводили 10 слободних удараца на удаљености од 35 метара од гола. Седам кључних варијабли је издвојено за анализу SOM, а ударци су категоризовани као "најбољи", "просечни" и "најгори" за сваког играча на основу исхода шута и оцена играча и тренера. Резултати SOM су показали да постоје три кластера (слика 4-10 (а)). Упоредивањем слободних удараца три испитаника који су најгоре и најбоље изведени (слика 4-10 (б)) и њихових параметара током изведбе може се закључити да успешност поготка зависи више од моторичких способности индивидуе [82].



Слика 4-10 (а) SOM класиери, (б) појединачни параметри за први кластер, (в) Појединачни параметри за први кластер

4.11 ПРИМЕНА У ОБЛАСТИ ОБРАЗОВАЊА

У области образовања примена SOM може бити у кластеровању одређених група студената. Од укупно 4.337 студената који су покушали решити бар један недељни домаћи задатак или квиз, само је 434 студента успело да добије сертификат за успешно завршен курс. Резултат је 4 кластера (слика 4-11(а)). Сви студенти који се налазе у кластеру 1 нису добили сертификат (99,94%), док су кластери 3 и 4 имали висок проценат студената који су га добили (91,24% и 94,08%). Кластер 2 се издвојио као прелазни са обзиром у њему се налазе и они који су добили и који нису. Посебан фокус је на кластеру 2 (слика 4-11(б)), појединачним увидом током недеља на успешност решавања задатака откривено је да студенти који су решавали више задатака паралелно имали већу шансу при решавању у односу на оне који су радили задатак по задатак [83].



Слика 4-11 (а) SOM класијери (б) Тојолошка мапа која представља проценијуално решавање задатка током недеља [83].

4.12 ПРИМЕНА У ОБЛАСТИ ЕНЕРГЕТИКЕ И КОРИШЋЕЊА ЕНЕРГИЈЕ

Већина радова користи SOM за предвиђање или испитивање односа између потрошње или других променљивих када је у питању употреба енергије [45] [84] [85]. Што се тиче потрошње енергије у области грејања, климатизације и хлађења, SOM може помоћи енергетском менаџеру приликом анализе у идентификацији могућих уштеда енергије за објекат [86] или креирање персонализованог профила коришћењем енергије [87].

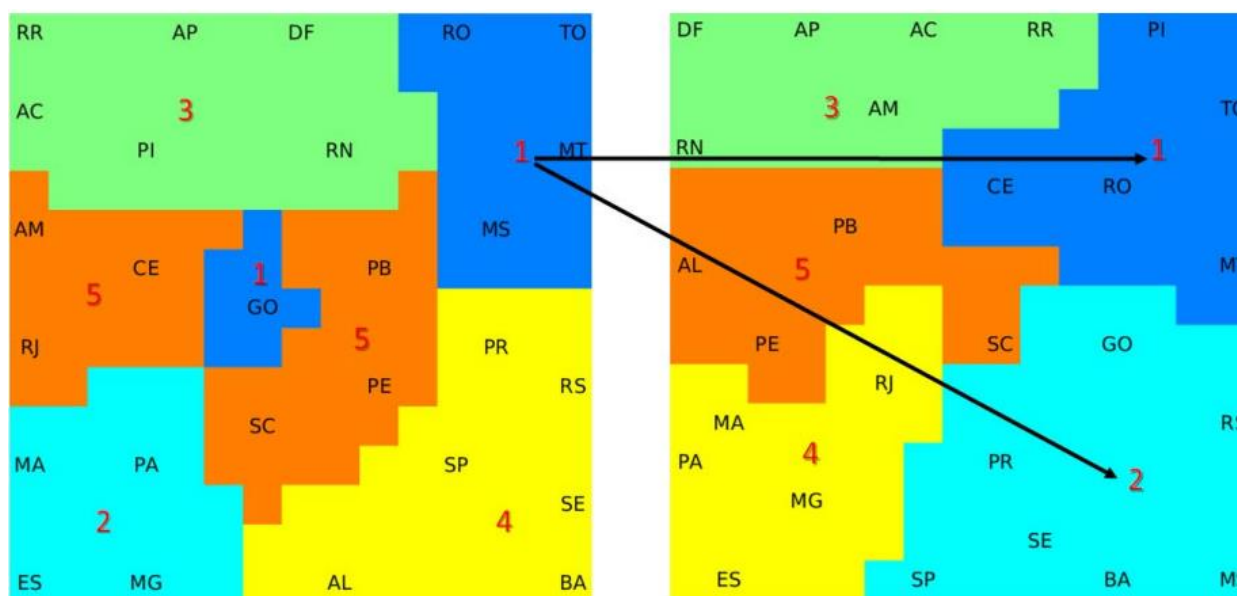
Такође, може помоћи и приликом доношења неке од регулативе дистрибуције електричне енергије [88]. Упоредивањем података добијеним из електроенергетског система за изабране зграде и добијеним резултатима помоћу SOM могу се добити прецизни подаци о стварној потрошњи електричне енергије [89]. Сличан концепт поменутих предвиђања брзине ветра у односу на претходни дан се може искористити и за предвиђање потрошње електричне енергије. Пикови потрошње електричне енергије се мењају због годишњих доба, празника и других фактора. Улога SOM јесте да дефинише дневни профил оптерећења узимајући у обзир оптерећење претходних дана и направи кластере, које представљају средине унутар насеља [90]. Исти приступ решавању проблема, али у вези са топлотом потрошном водом је спроведен у раду [91].

Један од покретача глобалног загревања јесте емисија CO_2 . Користећи SOM, аутори су мапирали улазне податке у периоду од 1918. до 2020. године за Јужну Кореју у 4 x 4 SOM мрежу како би идентификовали обрасце и кластере. Резултати студије показују да је доминантни кластер садржи континуиране временске серије података од 2007. до 2020. године. Према резултатима, емисије CO_2 су показале везу са глобалном просечном температуром, што указује на то да промене у емисијама CO_2 имају утицај на глобалну климу [92].

Примена SOM се може пронаћи приликом лакшег одређивања оптерећења за енергетски систем у реалном времену. Тај скуп податка представља временски зависне промене у производњи електричне енергије из обновљивих извора. Коришћени подаци обухватају производњу енергије

током одређених временских интервала, као што су: сати, дани или месеци. Циљ је примена COM како би се смањила димензија података, али истовремено задржале кључне карактеристике везане за енергетски систем, а кластери су формирани на основу репрезентативних дана у години [93].

Планска и рационална употреба енергетских ресурса има важну улогу у стратегији било које земље. За дугорочно планирање развоја градова и индустрије од суштинске је важности спроводити анализе енергетских ресурса и проучавати тренутне и будуће потребе. COM се може применити у те сврхе, конкретно примењена је на држави Бразилу. У раду је примењена COM како би извршила анализа и упоредили енергетски биланси у Бразилу за различите покрајине. Примењено је 27 варијабли бразилских покрајина у периоду од 2000. и 2015. године. COM је омогућила да се види напредак појединих покрајина у зависности од фактора. Конкретно на пољу економије (слика 4-12) јасно се може уочити транзиција покрајина GO и MS. Резултат ове транзиције је указала да је током 2000. год. кластер 1 био први по питању транспорта и пољопривреде, док је у осталим секторима задржао просечне вредности. Ове две покрајине су повећале потрошњу у индустрији и секторе који нису директно везани за потрошњу енергије [94].



Слика 4-12 Транзиција кластера 1 у пољегу пошрошње економској сектору од 2000. до 2015. године. [94]

(a)

(b)

COM је коришћена за кластеризацију река у сливу Магдалена-Каука. На основу података са 174 станице дуж слива реке узето је 73 варијабли које су коришћене као улазни параметри. Установљено је да су добијене комбинације варијабли са Кохоненовом методом дале сличан број група као и класификације извршене другим методама.

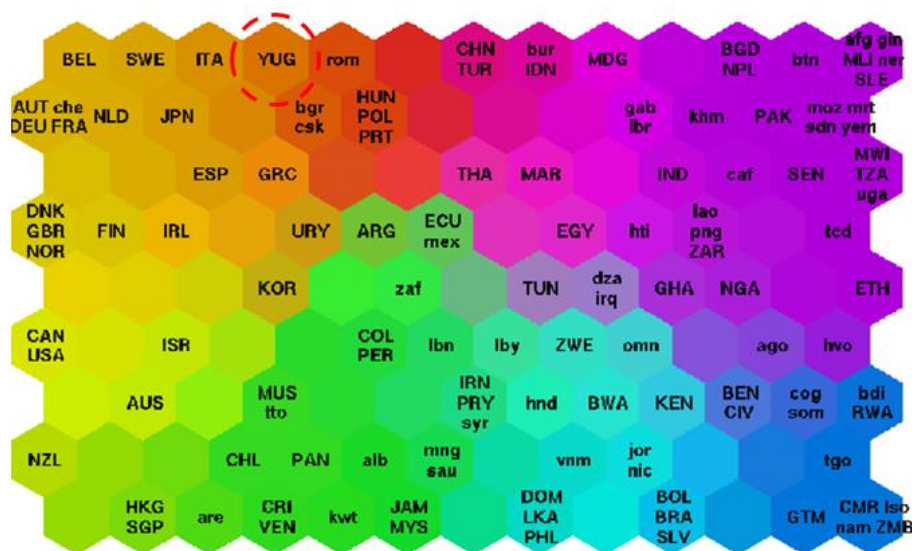
За истраживање метеорологије у граду Тајпеју коришћене су COM. Прикупљени су подаци са шест кључних метеоролошких фактора са пет метеоролошких станица између 2014. и 2018. године. На основу резултата кластеризације уочене су доминантне сезонске карактеристике што може бити од помоћи пољопривредницима приликом распореда садње и производње пољопривредних добара [95].

5. ПРИМЕНА COM НА ЕНЕРГЕТСКУ ОДРЖИВОСТ ЗЕМАЉА

Преглед расположиве литературе открива да, за сада, није урађен никакав рад на примени COM за енергетску одрживост земаља и њихово позиционирање на 2-д мапи. Према томе, сврха овог рада је да прикаже како COM може да се користи за идентификацију различитих кластера са сличним нивоима одрживости енергије. У првом делу рада, 31 земља је анализирана користећи 28 различитих параметара енергетске одрживости како би стекла свеобухватно разумевање како различити фактори утичу на позицију земаља на мапи. А потом је додато још 15 земаља претежно са сличним БДП-ом у односу на Србију. COM омогућава визуелизацију података на интуитиван и лако интерпретативан начин.

5.1 ИДЕЈА ДОКТОРАТА

Идеја на којој се базира докторски рад је настала након анализе следеће слике са интернет странице [96]. (Б. Сџејанов (Њерсонална комуникација, Јануар 17, 2020) Рад у коме су описани детаљи је под називом „Истраживачка анализа података помоћу самоорганизоване мапе: структуре благостања и сиромаштва у свету“ [97].



Слика 5-1 COM Мапа сиромаштва [96]

Реч је мапи сиромаштва која је добијена помоћу Кохоненовог COM метода. Трословне ознаке означавају земље света. Са слике 5-1 се види да има укупно $13 \times 9 = 117$ хексагоналних поља. Нека су празна, нека су са ознаком једне или више земаља. Неки називи су приказани малим словима, што видећемо касније говори да није било података. Може се приметити и да су на неки начин земље по бојама подељене.

Прво питање је на основу чега се дошло до ове мапе. Који модел је коришћен? Из документа светске банке под називом Светски извештај развика (енг. *World development report*) из 1992. године је изабрано 39 индикатора и 126 земаља [98]. Изабрани индикатори не зависе од величине популације. Неки од њих су:

1. очекивани животни век при рођењу,
2. неписменост одраслих,
3. удео трошкова хране у потрошњи домаћинства,
4. удео трошкова здравствене неге у потрошњи домаћинства,
5. број лекара по глави становника,
6. стопа смртности при порођају (на 1000 новорођених),
7. проценат уписаних у високо образовање,
8. удео примања 20 посто најсиромашнијих домаћинстава у укупним примањима свих домаћинстава.

Табела 5-1 Неки од параметара који су коришћени приликом израде мапе сиромаштва

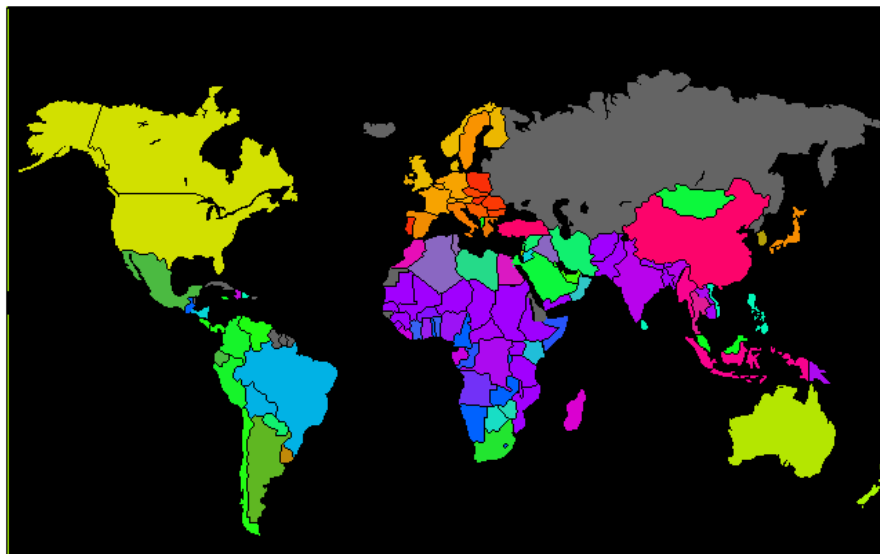
Држава	Очекивани животни век [год]	Неписменост одраслих – Мушкарци [%]	Неписменост одраслих – Жене [%]	Удео трошкова хране у потрошњи домаћинства [%]	Удео трошкова одеће и обуће у потрошњи домаћинства [%]	Удео трошкова здравствене неге у потрошњи домаћинства [%]	Удео трошкова образовања у потрошњи домаћинства [%]	Просечан број становника	стопа смртности при порођају (на 1000 новорођених) [-]	Проценат уписаних у примарно образовање [%]	Проценат уписаних у секундарно образовање [%]	Проценат уписаних у високо образовање [%]	Однос броја ученика и наставника у основном образовању [-]
СФРЈ	72	7	12	27	10	6	5	550	20	95	80	19	23
Немачка	76	< 5	< 5	12	7	13	6	380	7	103	97	32	18
САД	76	< 5	< 5	13	6	14	8	470	8	-	-	63	-
Буркина Фасо	48	82	91	-	-	-	-	57183	134	23	6	-	55
Мали	48	76	68	57	6	2	4	25390	166	35	7	1	39

База података је одабрана тако да обухвати што више аспеката животног стандарда. Сви индикатори су били специфицирани по некој основи како њихове апсолутне вредности не би преовладале. Неки од коришћених индикатора су приказани у табели 5-1. Списак земаља који је коришћен у анализи је приказан на слици 5-2. Циљ анализе је био да свака земља добије позицију хексагоналној мапи и боју која описује њен ниво сиромаштва у поређењу са другим земљама.

Следећи корак је да се индикатори нормализују (енг. *Z-score*). Подаци се скалирају тако да имају средњу вредност 0 и стандардну девијацију 1. Уводи се у Кохоненов алгоритам чије је битно својство да не тражи надзор или интеракцију корисника. Модел сиромаштва или квалитета живота, животног стандарда је 39-то димензионалан (свака земља има 39 параметара), тако да се не може приказати у нашем 3д простору и исти се своди на дводимензионални приказ. У сваком хексагону

се налази одређена земља. Након анализе се могу одредити кластери, то су различите боје на мапи. А у оквиру кластера земље у суседним хексагонима имају сличан ниво животног стандарда.

Све ово јесте интересно, али за некога које одрастао у бившој Југославији веома је значајан податак да се бивша Југославија налазила те 1992. веома близу кластеру најразвијенијих земаља. Поредећи податке у табели 5-1, као да смо благостање узимали као здраво за готово, односно нисмо ни знали како у другим регионима људи живе.

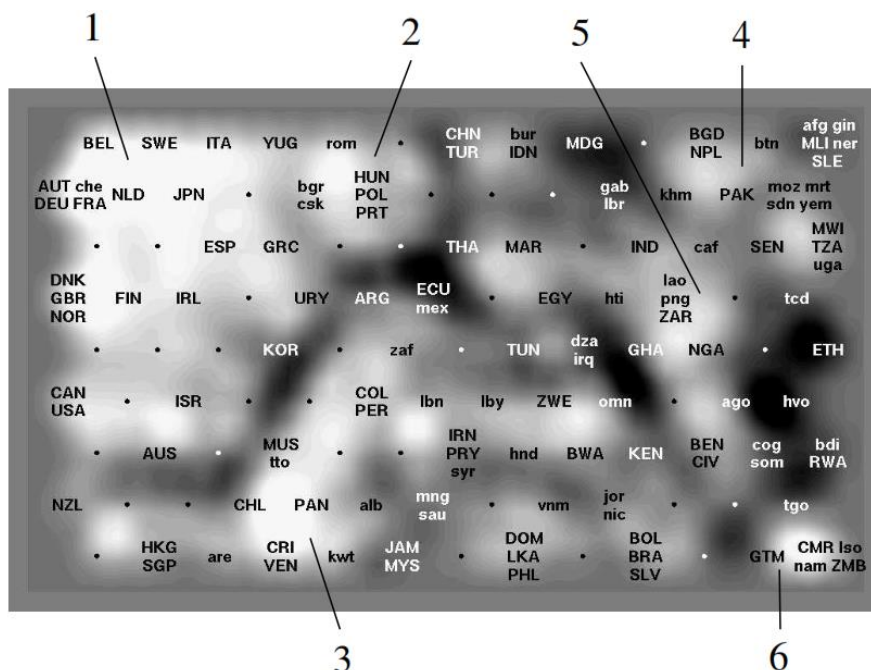


Слика 5-2 Земље које су коришћене у анализи [96]

Један од индикатора који се најчешће користи за ниво мерења стања економске активности бруто домаћи производ по глави становника није уврштен јер га је тешко скалирати и специфицирати у односу на остале индикаторе. Треба напоменути да нису сви индикатори били доступни у датом извештају за све земље. У анализи су изостављене земље које нису имале 12 или више индикатора од укупних 39. Након тренирања мреже формирана је 2д мапа.

Земље које су имале сличне вредности индикатора налазиле су се једна близу друге. Анализом су идентификовани различити кластери на мапи, и они су обојени различитим светлим бојама. Тако да се боје глатко мењају на мапи. Као резултат овог процеса, свакој земљи је заправо аутоматски додељена боја која описује њен ниво сиромаштва у односу на друге земље.

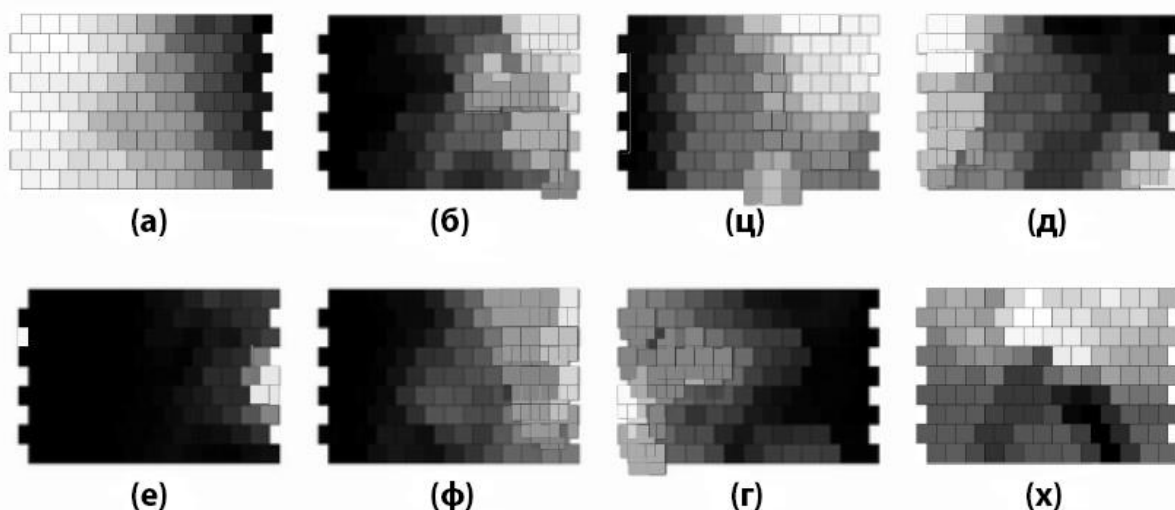
На основу позиција земаља неки резултати животног стандарда се могу закључити из редоследа земаља на мапи. На пример, европске земље заузимају горњи леви угао мапе, а десну ивицу чине углавном афричке земље (слика 5-3). Дакле, чињеница да се животни стандард у корелацији са географијом одражава у редоследу карте. Други начин груписања ових земаља је преко црно беле боје.



Слика 5-3 Приказ COM маје преко две боје [97]

На слици 5-3 нијансе сиве боје које означавају степен блискости. Светле области представљају области високог степена груписаности, а тамне области празнине у степену груписања. Земље означене малим словима нису коришћене у анализи јер није било довољно индикатора. Тачке означавају локације на карти које не одговарају ниједној земљи.

Промене у већини индикатора се јављају углавном у хоризонталном правцу, што се може видети из приказа појединачних индикатора на слици 5-4. Јасан је тренд да мапа одражава неку врсту укупног животног стандарда, који се смањује од земаља развијенијих и богатијих земаља на левој страни до најсиромашнијих афричких земаља на десној страни.



Слика 5-4 Приказ њромене њојединачних индикатора у анализи (а) очекивани животињи век (б) нејисменоси одраслих (ц) удео њрошкова хране у њојрошњи домаћинсџва (г) удео њрошкова здравсџвене неје у њојрошњи домаћинсџва (е) број лекара њо јлави сџановника (ф) сџлоја стрџносџи њри њорођају (на 1000 новорођених) (г) њроценасџи уџисаних у високо образовање (х) удео домаћинсџава са најнижим њримања која њримају 20% или мање у односу на укујна њримања [97].

5.2 ИЗАБРАНЕ ЗЕМЉЕ И УЛАЗНЕ ВРЕДНОСТИ

Земље изабране за анализу такође су приказане на слици 5-5. Оне су следеће: Западни Балкан (Србија, Босна и Херцеговина, Северна Македонија, Хрватска, Словенија и Црна Гора); Француска, Велика Британија, Норвешка, Шведска, Финска, Немачка, Пољска, Чешка Република, Словачка, Бугарска, Румунија и Мађарска); Мароко (Африка); Канада и Сједињене Америчке Државе (Северна Америка); Чиле и Бразил (Јужна Америка); Индија, Јапан, Кина, Малезија, Турска и Русија (Азија); Аустралија (Океанија).



Слика 5-5 Изабране земље [99]

У анализи су коришћени подаци из различитих база података као што су *Our World in Data* [100], *the UN-Stats yearbook* [101] и *U.S. Energy Information Administration (EIA)* [102]. Да би се избегао потенцијални утицај величине земље и популације, подаци су представљени као проценти, специфицирани по глави, БДП-у и примарној потрошњи енергије. Да би се добиле индикатори који представљају одрживост, неки параметри су модификовани, као што је наведено у табели 5-2. У случају да подаци из 2020. нису били доступни коришћени су подаци из 2019. године.

Параметар бр. 1, CO_2 по глави становника је мера просечне количине емисије CO_2 по глави становника у земљи. Овај индикатор узима популацију једне земље и пружа начин за поређење емисија по глави становника. Други енергетски индикатор, бр. 2 односи се на CO_2 по БДП-у (ППП), што представља количину емисије CO_2 по БДП-у узимајући у обзир разлике у трошковима живота и инфлације. Овај индикатор пружа прецизнију слику CO_2 земље у поређењу са њеном економијом, што олакшава поређење емисија између земаља са различитим нивоима економског развоја. Параметар бр. 3 је примарна потрошња енергије по БДП-у ППП, који представља количину примарне енергије која се користи по БДП-у земље. На основу овог индикатора могуће је извршити процену енергетске ефикасности земље и идентификацију потенцијалних области за побољшање. Примарна потрошња енергије по глави становника је приказана у индикатору бр. 4. Овај индикатор приказује потрошњу примарне енергије по глави становника у земљи. Нижа вредност примарне потрошње енергије по глави становника углавном указује на то да становништво земље ефикасније користи енергију. Интензитет угљеника представља количину CO_2 која се емитује по утрошеном kWh енергије (параметар бр. 5). Нижа вредност овог параметра указује на то да је потрошња енергије у земљи повезана са мањом емисијом CO_2 , што указује на одрживији енергетски профил земље. Потрошња електричне енергије по глави становника је индикатор који мери просечну количину електричне енергије коју троши свака особа у земљи, а представљена је преко индикатора са р. бр. 6. Потрошња електричне енергије по глави становника је корисна мера за разумевање потрошње електричне енергије, као и утицај на животну средину. Иако је електрификација коначни циљ у енергетској транзицији, извор електричне енергије је важан сегмент.

Табела 5-2 Параметри енергетској одрживој модели

р.бр.	Параметри	Јединица	Мод.	Реф.
1.	CO ₂ /становнику.	tCO ₂ /cap.		[100]
2.	CO ₂ /БДП (ППП)	kg CO ₂ /2017 USD		[100]
3.	Примарна потрошња енергије/БДП (ППП).	MJ/2017 USD		[100]
4.	Примарна потрошња енергије/становнику.	GJ/capita		[100]
5.	Интензитет емисије	kg CO ₂ /kWh		[100]
6.	Потрошња електричне енергије/становнику	MWh/cap.		[100]
7.	Удео потрошње ел. енергије добијене од природног гаса	%		[100] [103] [104] [105]
8.	100-(удео ППЕ од ветра)	%	+	
9.	100-(удео ППЕ од хидро)	%	+	
10.	100-(удео ППЕ од ОИЕ)	%	+	
11.	100-(удео ППЕ од нуклеарне ен.)	%	+	
12.	100-(удео ППЕ од солара.)	%	+	
13.	удео ППЕ од угља	%		
14.	удео ППЕ од нафте	%		
15.	100-Процењена ефикасност продукције електричне енергије	%	+	[101]
16.	100-самодовољност	%	+	[101]
17.	Резерве угља/50 године ППЕ	-		[101] [100]
18.	100-(хидро.ел.произ./хидро.теор.кап.)·100	%		[101] [100]
19.	Резерве гаса/50 година ППЕ	-		[101] [100]
20.	Резерве нафте/50 године ППЕ	-		[101] [100]
21.	Удео ел. енергије добијен од угља	%		[100]
22.	Удео ел. енергије од гаса	%		[100]
23.	100 - Удео ел. енергије од нуклеарне енергије	%	+	[100]
24.	100 - Удео ел. енергије од хидро	%	+	[100]
25.	100 - Удео ел. енергије од биомасе	%	+	[100]
26.	100 - Удео ел. енергије од биомасе солара	%	+	[100]
27.	Удео ел. енергије од нафте	%		[100]
28.	100 - Удео ел. енергије од ветра	%	+	[100]

Фосилна горива су тренутно претежни извор добијања електричне енергије. Удео потрошње примарне енергије односи се на удео енергије из извора као што су нафта, гас, угљ и обновљиви извори енергије. Ови параметри су од бр. 7 до бр. 14. Нафта, гас и угљ (бр. 7, 8 и 14) су традиционални извори енергије повезани са високим емисијама CO₂, док обновљиви извори енергије као што су соларна енергија, ветар и хидроенергија имају нижи отисак CO₂ и постају све битнији као одржива алтернатива традиционалним изворима енергије. Пошто је потрошња примарне енергије обновљивих извора одржива, модификација је спроведена одузимањем броја 100 од датог параметра (бр. 8, 9, 10 и 11). Параметар бр. 10 укључује производњу електричне енергије из биомасе и биљних остатака, као и геотермалне, енергију таласа и енергију плиме и осеке. Нуклеарна енергија се сматра одрживом јер нема емисија CO₂ (бр. 11). Што је упитно због

хаварије у Фукушими 2011. године. Процењена ефикасност производње електричне енергије односи се на количину енергије која се претвара у корисну електричну енергију приликом генерисања електричне енергије у електрани (параметар бр. 15). То је показатељ ефикасности електране у претварању енергије у електричну енергију. Овај параметар је добијен одузимањем броја 100 од тренутне вредности. Већа вредност овог параметра указује на мање ефикасну електрану. Самодовољност је представљена параметром са бр. 16. Самодовољност представља однос између производње примарне енергије и укупног снабдевања енергијом, израженог у процентима. Као и неки од претходних параметара, овај параметар је модификован одузимањем броја 100 од тренутне вредности. Параметри који представљају резерве угља, гаса и нафте су збир познатих количина на налазиштима и додатно процењених количина у налазиштима. Укупна количина која се налази у налазишту је ресурс који је познат. Те количине се могу експлоатисати у оквиру садашњих и очекиваних локалних економских услова са постојећом доступном технологијом. Доказане резерве су количине које се у будућности могу ископати у оквиру садашњих и очекиваних локалних економских услова са постојећом доступном технологијом. Процењује се да је додатни износ на месту назначена и финална количина као додатна до доказане суме која је од очекиваног економског интереса. Она укључује процене износа који би могли да постоје у неистраженим познатим налазиштима или у неоткривеним лежиштима у познатим областима које носе угаљ, као и износе закључене познавањем повољних геолошких услова [36]. Ови параметри (бр. 18, 20 и 21) су добијени дељењем збира претходно поменутих резерви са тренутном укупном потрошњом примарне енергије помножене са 50, што се односи на потрошњу у наредних 50 година.

У табелама 5-3 и 5-4 су дате улазне вредности у три боје како би се визуелно олакшао приступ. Земље су сортиране на основу континента и имена. Последња два реда у свакој табели приказују минималне и максималне вредности у датој колони. Боја улазних вредности помаже у бољој визуелизацији података и истиче најодрживије опције. Што је мања улазна вредност, то је одрживија. На основу укупног максимума и минималних вредности за сваку колону, највећих 30% у одређеној колони је црвено, 30 до 60% је жуто, а остало зелено. Коришћењем ових боја табеле обезбеђују ефикасан начин поређења одрживости различитих улазних вредности и омогућавају брза и једноставна поређења. Што се тиче параметра који дели резерве угља са 50-годишњим примарном потрошњом енергије, подаци показују да ће избегавање употребе тих количина угља (нпр. остављајући их у земљи) бити велики изазов. На пример, Аустралија има тај индикатор на 224, Русија на 72, САД на 54, а Кина на 19,7. У погледу параметра који дели резерве гаса са 50-годишњим ППЕ-ом, САД су на првом месту по производњи гаса, али не и у резервама. Ова вредност, добијена из података *UN-Stats*, и поређена је са *EIA* подацима, што показује јасно подударане. Параметар бр. 19 укључује бруто хидро теоријски потенцијал. То је годишња енергија која је потенцијално доступна у земљи ако су сви природни токови искоришћени који се уливају у море или ниво воде границе земље (ако се водени ток прошири на другу земљу) са 100 одсто ефикасности из турбине. Овај параметар је израчунат тако што је производња електричне енергије из хидроелектране подељена хидро теоретским потенцијалом и одузимањем 100 од ње, а затим је помножена са 100 да би се добили проценти. Параметри од бр. 22 до бр. 28 представљају уделе електричне енергије из различитих извора. Слично параметрима који укључују примарну потрошњу енергије, одрживи параметри су кориговани тако што се од вредности 100 одузела улазна вредност.

Табела 5-3 Вредносии улазних параметара

Континент	Држава	CO ₂ /становнику. (tCO ₂ /cap.)	CO ₂ /БДП (ППП) (kg CO ₂ /2017 USD)	ППЕ/БДП (ППП). (MJ/2017 USD)	ППЕ./стан. (GJ/cap.)	Интензитет угљеника (kg CO ₂ /kWh)	Потрошња ел./становнику (MWh/ cap.)	Удео потрошње ел. енергије добијене од природног гаса (%)	100-(удео ППЕ од ветра) (%)	100-(удео ППЕ од хидро) (%)	100-(удео ППЕ од ОИЕ)(%)	100-(удео ППЕ од нуклеарне ен.) (%)	100-(удео ППЕ од солара.) (%)	удео ППЕ од угља (%)	удео ППЕ од нафте (%)
AF	MAR	1,76	0,25	2,99	23,6	0,27	0,98	3,3	98	99,6	100	100	99,3	34	59,6
AS	CHN	7,69	0,47	7,29	103,6	0,27	5,43	9,1	98,7	96,4	99,6	99	99,3	62,2	21,7
AS	IND	1,75	0,28	3,51	23,1	0,27	1,12	7,2	99,3	98	99,3	99,5	99,3	57,9	30,2
AS	JPN	8,32	0,21	3,4	136,8	0,22	7,4	23,9	99,8	98,2	99,2	99	98,3	29,2	41,4
AS	MYS	7,82	0,3	4,99	123,6	0,23	5,11	35,4	100	97,4	99,8	100	99,9	25,1	36,6
AS	RUS	11,15	0,42	6,94	198,3	0,2	7,42	57,7	100	97,1	100	97,1	100	12,5	24
AS	TUR	4,91	0,17	2,87	76,6	0,23	3,65	29,3	98,4	95	99	100	99,3	30	32,4
EU	BGR	5,3	0,24	4,67	100	0,19	5,72	19	99	98,1	98,9	89,2	99	31,5	33,7
EU	CZE	8,72	0,23	3,97	151,1	0,21	7,67	22,7	99,8	99,4	98,6	91,9	99,4	39	27,5
EU	DEU	7,67	0,15	2,89	148,3	0,19	6,59	30,1	95,4	99,4	96,9	97,8	98,3	17,3	40,4
EU	DNK	4,85	0,09	2,01	107,7	0,16	5	17,9	87,4	100	95,4	100	99,1	7,1	56,9
EU	FIN	6,8	0,14	4,54	204,2	0,12	12,47	9,7	96,2	92,6	92,7	89	99,9	14,8	45,9
EU	FRA	4,34	0,1	3,01	137,4	0,11	8,19	23,7	97,7	96,4	97,6	79,4	99,2	3,1	43,5
EU	GBR	4,87	0,11	2,36	105,3	0,17	4,51	44,4	95,4	99,6	96,5	96,9	99,2	3,5	39,8
EU	HUN	4,85	0,16	3,44	99,9	0,17	3,56	43,8	99,7	99,9	99,1	93,1	98,9	8,4	38,5
EU	NOR	7,66	0,12	5,08	374,1	0,07	28,45	14,3	96,8	54,5	99,9	100	100	2,9	33,9
EU	POL	7,9	0,24	3,37	106,3	0,27	4,05	19,4	98,5	99,8	98,2	100	99,8	44,1	32,9
EU	ROU	3,81	0,13	2,46	68,4	0,2	2,88	36,7	97,7	95	99,8	96,3	99,4	13,6	37,9
EU	SVK	5,7	0,19	4,34	119,3	0,17	5,75	33,1	100	96,9	98,8	89,2	99,5	18,8	32,6
EU	SWE	3,52	0,07	4,23	214,6	0,06	15,86	3,6	92,3	79,7	92,5	86,1	99,7	5,3	41,4
WB	BIH	6,31	0,43	5,5	75,4	0,3	5,11	27,8	99,4	81,3	97,4	100	99,8	19,9	31,1
WB	HRV	4,12	0,15	3,06	80,3	0,18	3,23	38,6	97,7	92,6	98,6	100	99,9	5,5	44,7
WB	MKD	3,15	0,2	2,96	46,1	0,25	2,54	13,2	99,5	94,8	99,8	100	99,9	33,2	47,6
WB	MNE	3,9	0,21	3,73	81,4	0,17	5,13	26,4	99,4	100	92	100	99,4	23,1	41,2
WB	SRB	6,05	0,37	5,97	97,8	0,22	5,1	3,8	99,3	91,5	88,3	100	100	66,2	9
WB	SVN	6,08	0,16	3,93	131,6	0,17	8	14,9	100	91,4	99,5	88,9	99,4	20,5	43,8
NA	CAN	14,12	0,31	7,41	364,8	0,14	17,12	38	98,8	87	98,9	96,7	99,9	4,9	38,4
NA	USA	14,04	0,23	4,3	263,5	0,19	12,71	37,9	98,4	98,7	97,9	96,2	99,4	11,6	41,2
OC	AUS	15,58	0,32	4,2	223,5	0,25	10,32	29	98,5	99	99,7	100	98,4	31,5	35,1
SA	BRA	2,07	0,15	3,9	56,3	0,13	2,91	12,9	97,7	83,7	87,6	99,4	99,6	6,7	48,2
SA	CHL	4,34	0,19	3,68	83,9	0,19	4,56	16,7	98,5	94,2	97,7	100	98	19,6	52,1
	макс.	15,58	0,47	7,41	374,1	0,3	28,45	57,7	100	100	100	100	100	66,2	59,6
	мин.	1,75	0,07	2,01	23,1	0,06	0,98	3,3	87,4	54,5	87,6	79,4	98	2,9	9

Табела 5-4 Насићавак њабеле за улазне вредности

	Држава	100-Процењена ефикасност продукције електричне енергије (%)	100-самодовољност (%)	Резерве угља/50 године ППЕ	100- (хидро.ел.произ./хидро.теор.кап.)·100	Резерве гаса/50 година ППЕ	Резерве нафте/50 године ППЕ	Удео ел. енергије добијен од угља (%)	Удео ел. енергије од гаса (%)	100 - Удео ел. енергије од нуклеарне енергије (%)	100 - Удео ел. енергије од хидро (%)	100 - Удео ел. енергије од биомасе (%)	100 - Удео ел. енергије од биомасе солара (%)	Удео ел. енергије од нафте (%)	100 - Удео ел. енергије од ветра (%)
AF	MAR	64	88,9	0,1	92,8	0	0	58,1	11,9	100	97,6	100	95,8	10,6	87,2
AS	CHN	61	19,7	18,4	78,3	0,02	0,02	63,6	3,3	95,3	82,9	98,2	96,6	0,1	94
AS	IND	61	40,8	5,9	93,8	0,03	0,02	72	4,8	97,1	89,5	97,9	96,2	0,1	96,1
AS	JPN	58	88,1	0,8	89,2	0	0	32,2	38,2	95,4	91,6	96,2	91,9	4	99,2
AS	MYS	65	-4,9	0,3	87,9	0	0,1	49,7	31,6	100	83,5	99	99,3	0,6	100
AS	RUS	75	-102,8	72,5	90,7	0,71	0,43	16,3	43	80	80,3	100	99,8	0,8	99,9
AS	TUR	64	69,1	0,5	82	0	0,01	34,5	23,1	100	74,5	94,9	96,4	0,1	91,9
EU	BGR	70	36,1	7,2	89,4	0,01	0	33,1	5,3	58,3	92,8	95,7	96,3	1	96,3
EU	CZE	68	37,4	8,3	83,5	0	0	39,3	7,3	62,8	97,3	93,7	97,2	3,6	99,1
EU	DEU	62	64,6	8,5	84,7	0	0	24,5	17,3	88,3	96,7	90,7	91,1	0,9	75,9
EU	DNK	72	23,5	0	85,8	0,03	0,1	11,5	4,5	100	99,9	79,7	95,9	3,4	43,9
EU	FIN	64	42,6	0,4	48,9	0	0	3,9	5,8	65,9	77	83,3	99,7	4,6	88,4
EU	FRA	63	46,2	0	77,3	0	0	0,6	6,8	33	88,4	98	97,6	2	92,5
EU	GBR	56	28,7	14,7	80,7	0,02	0,05	1,8	36,8	83,4	97,8	87	95,7	0,3	75,1
EU	HUN	64	58,9	7,4	97,6	0,01	0	10,8	26	53,7	99,3	93,7	92,9	0,9	98,1
EU	NOR	65	-605,8	0,6	76,5	0,58	0,44	0	0,7	100	8,1	99,8	99,9	0,6	93,5
EU	POL	66	42,6	35,9	91,5	0,01	0	70,2	11,1	100	98,6	95,2	98,7	1,1	89,9
EU	ROU	71	26	8,1	78	0,05	0,05	16,8	17,5	79,5	72,5	99	96,9	1,3	87,6
EU	SVK	67	59,3	0,5	54,8	0,01	0	5,8	11,8	50,8	85,6	94,7	97,9	11,3	100
EU	SWE	76	24,4	0,1	63,9	0	0	0,1	0,2	70,1	56,1	93,2	99,4	1,7	83,3
WB	BIH	69	25,3	7,3	93	0	0	69	0,1	100	71	99,9	99,8	0,3	98,6
WB	HRV	66	54,5	0,4	71,7	0,05	0,02	9,4	25,8	100	57,2	91,9	99,3	0,2	87
WB	MKD	65	58,2	3,8	85,8	0	0	53,5	17,9	100	76,2	98,9	99,6	1,1	97,8
WB	MNE	64	31,8	5,1	95	0	0	49,2	0	100	58,5	100	100	0	90,7
WB	SRB	67	32,7	7,1	66,6	0,03	0,01	71,3	1,8	100	76	99,6	100	0	97,6
WB	SVN	63	49,3	1,7	74	0	0	25,9	3,5	62,5	70,9	98,4	97,8	0,1	100
NA	CAN	66	-75,4	15,1	81,3	0,09	1,79	6	11,3	85	40,4	98,6	99,3	0,4	94,5
NA	USA	59	-4,3	54,5	86,1	0,07	0	19,8	40,9	80,5	93,4	98,3	96,9	0,4	92
OC	AUS	65	-243,3	224,1	94,6	0,38	0,07	54	20,1	100	94,6	98,7	91	1,7	91,5
SA	BRA	57	-6,5	1,4	87	0,02	0,14	3,3	8,6	97,7	36,2	90,5	98,3	1,7	90,8
SA	CHL	71	66,9	2,7	90,4	0,02	0,01	18,2	18	100	75,3	90,1	91,3	14,1	93,6
	макс.	76	88,9	224,1	97,6	0,71	1,79	72	43	100	100	100	100	14,1	100
	мин.	56	-605,8	0,04	48,9	0	0	0	0	33	8,1	79,7	91	0	43,9

5.2.1 НОРМАЛИЗАЦИЈА ПОДАТАКА

Методологија нормализације је обухватила коришћење стандардне девијације и средње вредности. Како би се осигурало да ниједан параметар нема доминантан утицај, први корак је нормализација података. На тај начин омогућено је да сваки параметар допринесе анализи на једнак начин, што на крају има за резултат објективнијим резултатима. Стандардна девијација се рачуна као квадратни корен од варијансе, при чему се одређује одступање сваке тачке у односу на средњу вредност података. Ако су тачке удаљеније од средње вредности, постоји веће одступање унутар скупа података; стога, што су подаци више распршени, то је већа стандардна девијација.

$$x_{dev} = \sqrt{\left(\frac{\sum (x_i - \mu)^2}{n}\right)} \quad 5-1$$

где: x_{dev} – стандардна девијација, x_i – дата вредност параметра у колони, μ – средња вредност у колони и n – број земаља у колони.

Стандардна нормална расподела, позната и као 3-вредност, а представља специфичну врсту вероватноће расподеле. То је посебан случај нормалне расподеле где је средња вредност 0, а стандардна девијација 1. У овој расподели вредности су симетрично распоређене око основне вредности, формирајући звонасту криву. 3-вредност се рачуна по формули:

$$\delta = \frac{x - x_{avr}}{x_{dev}} \quad 5-2$$

Где је:

Нормализовани параметри су приказани у табелама 5-5 и 5-6 [106].

Табела 5-5 Стандардна девијација и средње вредности за улазне податке свих земаља.

	CO ₂ /становнику. (tCO ₂ /cap.)	CO ₂ /БДП (ППП) (kg CO ₂ /2017 USD)	ППЕ/БДП (ППП). (MJ/2017 USD)	ППЕ./стан. (GJ/стан)	Интензитет угљеника (kg CO ₂ /kWh)	Потрошња ел. ен./становнику (MWh/cap.)	Удео потрошње ел. енергије добijене од природног гаса	100-(удео ППЕ од ветра) (%)	100-(удео ППЕ од хидро) (%)	100-(удео ППЕ од ОИЕ)(%)	100-(удео ППЕ од нуклеарне ен.) (%)	100-(удео ППЕ од солара.) (%)	Удео ППЕ од угља (%)
Стд. Дев.	3,5	0,1	1,4	84,9	0,1	5,6	13,6	2,6	9,1	3,3	5,3	0,5	17,4
Сред.	6,4	0,2	4,1	133,1	0,2	7,0	24,0	98,0	93,8	97,4	96,3	99,4	22,7

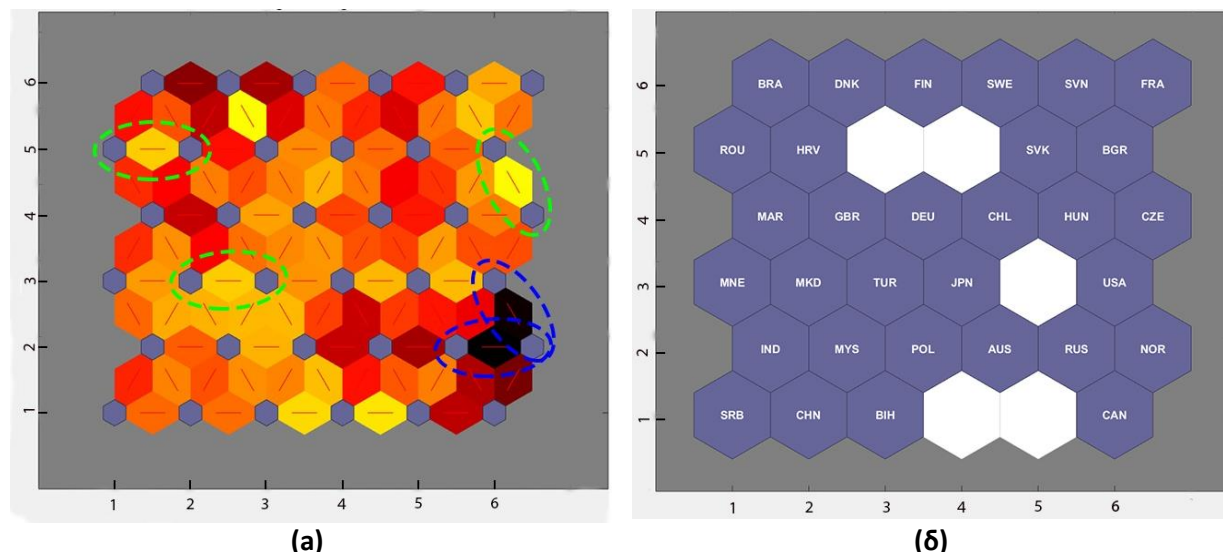
Табела 5-6 Наславак табеле - Стандардна девијација и средње вредности за улазне податке свих земаља.

Удео ППЕ од нафте (%)	100-Процењена ефикасност продукције електричне енергије (%)	100- самодовољност (%)	Резерве угља/50 године ППЕ	100- хидро ел. произ. /хидро. теор. кап.)100	Резерве гаса/50 године ППЕ	Резерве нафте/50 године ППЕ	Удео ел. енергије добijен од угља	Удео ел. енергије од гаса (%)	100 - Удео ел. енергије од нуклеарне	100 - Удео ел. енергије од хидро (%)	100 - Удео ел. енергије од биомасе (%)	100 - Удео ел. енергије од биомасе солара	Удео ел. енергије од нафте (%)	100 - Удео ел. енергије од ветра (%)
10,2	4,8	129,5	41,8	11,6	0,2	0,3	24,7	12,9	18,9	21,3	5,1	2,8	3,5	10,9
38,2	65,3	2,3	16,6	82,4	0,1	0,1	29,8	14,7	85,1	78,1	95,3	97,1	2,2	91,2

5.3 АНАЛИЗА ДОБИЈЕНИХ РЕЗУЛТАТА

Након покретања алгорита као резултат се добија тополошка мапа и мапа са позицијама земаља (слика 5-6). Неурони су представљени малим плавим хексагонима, а даљина између њих је обојена од жуте до црне. Црна боја представља највеће раздаљине, док жута означава супротно. Иако су

неки неурони близу, мапа јасно показује да су ипак поједини неурони удаљени. Анализирајући мапу, дистанце између земаља: Румунија – Хрватска, Бугарска – Чешка Република и Северна Македонија – Турска (зелена испрекидана елипса) нису удаљене. Насупрот томе, постоје неки суседни неурони који се веома разликују у погледу параметара. Те везе се могу пронаћи између: Сједињених Америчких Држава – Норвешке и Русије – Норвешке (плава испрекидана елипса). Слика 5-6 (б) приказује распоред земаља на СОМ. Скраћенице имена земаља се налазе у хексагонима који представљају најближе неуроне. Празни неурони су бели хексагони.

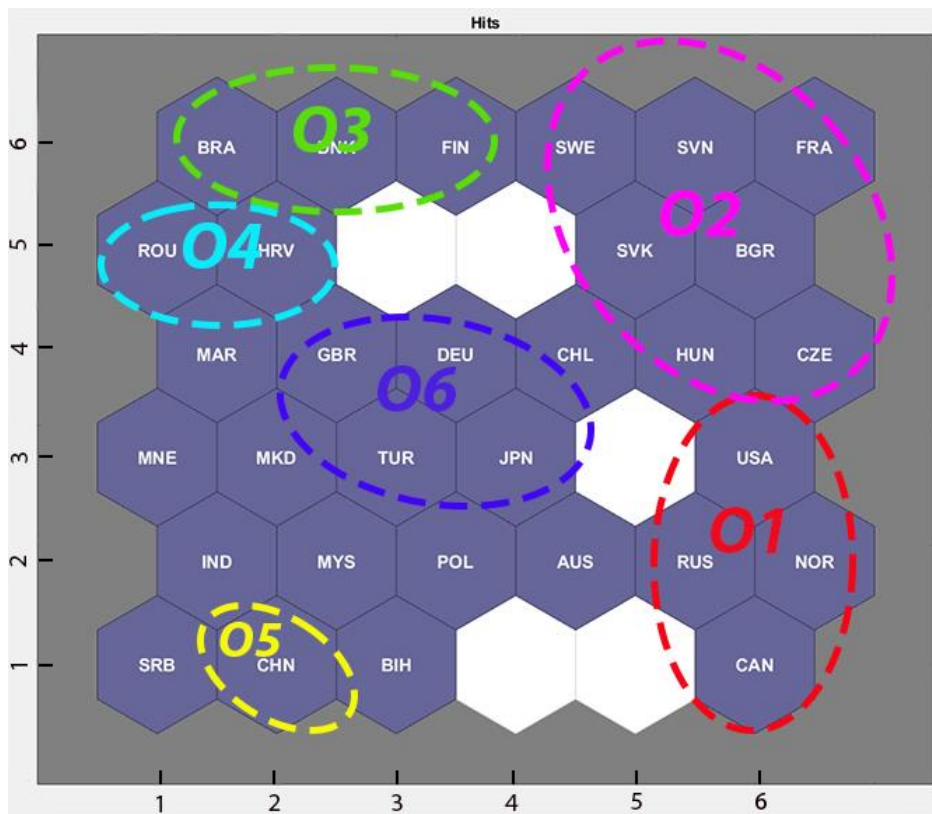


Слика 5-6 СОМ мапа (а) добијене раздаљине између неурона, (б) распоред земаља на хексагоналној мапи 6 x 6 [107]³

5.4 ДЕСКРИПТИВНА АНАЛИЗА ДОБИЈЕНИХ РЕЗУЛТАТА

Анализом слика 5-6 и 5-7 могу се уочити поједине опсервације. На слици 5-7 обележене су поједине целине на мапи. Црвеним испрекиданим кругом обележене су четири земље, то су: САД, Русија, Норвешка и Канада.

³ Резултати истраживања су објављени на конференцији SpliTech: **Ž. Vlaović, B. Stepanov, A. Anđelković, V. Rajs, Z. Čepić and M. Tomić, "Application Of Kohonen Self-Organizing Maps for Mapping Energy Sustainability - Focus On Serbia," 2022 7th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech), Split / Bol, Croatia, 2022, pp. 1-6, doi: 10.23919/SpliTech55088.2022.9854256.**



Слика 5-7 Ойсервације на COM

Слика 5-7 показује да су позиције земаља једна поред друге, али заправо су веома удаљене (слика 5-6). САД и Норвешка се налазе једна близу друге на мапи (десна доња страна). Норвешка има највећу стопу потрошње електричне енергије по глави становника. Постоји неколико фактора који доприносе овој великој потрошњи, укључујући хладну климу, висок животни стандард и индустријски сектор.

Разлог позиције Норвешке са осталим земљама се може пронаћи у чињеници да је седми највећи произвођач природног гаса на свету [108], док САД заузимају прво место, Русија друго и Канада пето место када је реч о глобалној производњи [109]. Идентична ситуација је и у погледу производње нафте [110]. Ипак, поред ових двеју сличности, постоје круцијалне разлике. У Норвешкој ресурси хидроенергије покрили су 92% производње електричне енергије, подржавајући готово потпуно обновљиви сектор електричне енергије [108]. Норвешка за разлику од осталих је велики извозник природног гаса и нафте. Русија и САД имају неке сличности у погледу енергетских показатеља. На пример, обе земље су велики произвођачи и потрошачи нафте и природног гаса. Због тих сличности, растојање између Русије и Норвешке и растојање између САД и Норвешке је ниже у поређењу са другим земљама на мапи. Међутим, посматрајући удаљеност између САД и Русије, разлике се могу наћи у резервама угља, нафте и природног гаса. Поред тога, Русија је велики извозник нафте, природног гаса и угља, што земљи обезбеђује значајне приходе од извоза. Иако има економску корист за Русију, то такође значи да земља у великој мери зависи од извоза. Ипак та разлика међу Русије и САД се огледа и у енергетском миксу и начину коришћења енергије. Упоређујући енергетске параметре потрошња електричне енергије по глави становника је скоро двоструко виша, што за последицу има и производњу електричне енергије је која је 4 пута виша. У целини, обилни природни

ресурси Русије и значајни капацитети за производњу енергије доприносе високом степену енергетске самодовољности земље, што растојање између САД и Русије чини још већом. Канада се такође налази у близини САД и Русије на мапи. Један од фактора који ове три земље имају заједничко је њихова емисија CO₂ по глави становника. Међутим, Канада има већу емисију CO₂ по глави становника од Русије и САД. То је вероватно један од разлога зашто је Канада позиционирана ниже на мапи у поређењу са друге две земље.

Земље позициониране на десној горњој страни мапе (слика 5-7) су Француска, Словенија, Шведска, Словачка, Бугарска, Мађарска и Чешка Република. Један од фактора који је заједнички тим земљама је електрична енергија произведена помоћу нуклеарне енергије. На пример, многе од тих земаља такође имају велики удео обновљивих извора енергије, посебно хидроелектране. То се посебно односи на земље попут Шведске и Словеније, које имају значајне природне ресурсе хидроенергије. Шведска је глобални лидер у декарбонизацији и циљеве које је поставила су да до 2030. године смањи емисије гасова са ефектом стаклене баште за 59% у односу на 2005. годину. Шведска је била прва земља која је увела систем опорезивања емисија CO₂ и има највишу цену CO₂ на свету, што се показало ефикасним у подстицању декарбонизације [111]. Поред тога, Бугарска и Чешка Република су прилично сличне, узимајући у обзир параметре из табела 5-3 и 5-4. Најбољи показатељ сличности јесте енергетски микс, где је највећи удео електричне енергије добијен преко нуклеарних и електрана на угљ. Када је реч о Чешкој републици смањена потрошња угља између 2009. и 2019. године допринела је смањењу интензитета CO₂ од 15% и смањењу интензитета CO₂ од 22 одсто на електричну енергију и производњу топлоте. Између 2019. и 2020. године, и количина емисија емитована од стране привреде и интензитет угљеника производње електричне енергије су опали, због смањене употребе угља у укупној потрошњи енергије и производњи електричне енергије [112]. Бугарска има већи удео у обновљивој енергији од просека на нивоу ЕУ [113]. Разлика је у CO₂ по глави становника и уделу примарне потрошње енергије добијене преко соларне енергије. Обе земље су препознале потребу за транзицијом ка одрживијем енергетском систему. Све те земље поставиле су циљеве за смањење емисије гасова са ефектом стаклене баште и повећање употребе обновљиве енергије, мада се амбиција и временски оквири тих циљева разликују. Све ове земље имају простора за побољшање у смислу смањења њиховог енергетског интензитета и повећања ефикасности њихове употребе енергије.

Даљом анализом горње леве стране мапе показује да су Бразил, Данска и Финска позиционирани један близу другог на мапи, а ипак су прилично далеко. Финска, Бразил и Данска су све земље са снажним фокусом на обновљиву енергију. Међутим, њихови приступи знатно се разликују. Бразил има велики удео обновљиве енергије у свом енергетском миксу, углавном из хидроенергије и биогорива. Бразил брзо прилагођава своју политику са најургентнијим енергетским изазовима у свету. Приступ електричној енергији широм земље је готово универзалан и обновљиви извори задовољавају скоро 45% примарне потражње за енергијом, што бразилски енергетски сектор чини једним од најмање интензивним по питању емисије CO₂. Такође, Бразил је глобални лидер производњи биогорива. Систем аукција уговора обезбеђује механизам за улагање у нове капацитете, као и за диверсификацију енергетског микса [114]. Данска је светски лидер у енергији ветра. Данска и Финска, с друге стране, проширују своје капацитете ветра и соларне енергије како би смањиле зависност од фосилних горива. Ове две земље спровеле су снажну политику енергетске ефикасности у сектору изградње и транспорта. Данска и Финска спровеле су механизме цена CO₂, као што је порез на CO₂, како би подстакле смањење емисија [115]. Бразил нема механизам за цену

CO₂, али је применио кредитни систем шумског CO₂ како би смањio емисију штетних гасова. Те разлике у приступу одражавају различите фазе енергетске транзиције и приоритете сваке земље. Упркос томе, све три земље су посвећене смањењу емисије CO₂ и преласку на одрживији енергетски систем.

Хрватска и Румунија имају неке од заједничких енергетских индикатора, укључујући њихову зависност од фосилних горива, потенцијал за развој обновљиве енергије, фокусирање на енергетску ефикасност и напоре за смањење емисије гасова са ефектом стаклене баште. Међутим, такође постоје разлике између две земље у погледу њихових специфичних извора енергије и стратегија за остваривање њихових енергетских циљева. Иако постоје неке сличности у њиховим енергетским индикаторима, вреди напоменути да постоје и разлике између две земље. Као што је приказано у табелама 5-3 и 5-4, само неколико параметара се разликује, као што су удео примарне потрошње енергије од нафтних деривата, ефикасност, као и удео хидро и других обновљивих извора, укључујући биоенергију. Хрватска енергетска стратегија 2009-2020. год. имала је три основна циља: повећање безбедности снабдевања енергијом, развој конкурентног енергетског система и обезбеђивање одрживог развоја енергетског сектора. Ти циљеви су посебно важни за земљу, с обзиром да у великој мери зависи од увоза енергије, што има за резултат проблем са варирањем цена [116].

Кина се налази на левој доњој страни мапе. Она заузима истакнуту позицију на светској мапи као водећи производни центар, са снажним фокусом на енергетски интензивне индустрије као што је производња челика. Наиме, кинеска провинција Хебеи и град Тангшан познати ти су као главни произвођачи челика на глобалном нивоу, надмашивши чак и САД. Приметно је да је Кина направила значајне кораке ка побољшању ефикасности својих термоелектрана, замењујући мање ефикасне енергетски ефикаснијим алтернативама. Као одговоран глобални лидер, Кина препознаје критичну потребу да смањи емисију CO₂ и помери се ка чистијим изворима енергије. Због тога је у великој мери инвестирала у најсавременије технологије декарбонизације, посебно у области обновљиве енергије. Један од приоритетних догађаја у том погледу биће успешно коришћење обновљивих извора енергије за напајање тешких индустрија као што су производња гвожђа и челика. На пример, кинеска компанија *Baowu Steel Group* је 2020. године објавила да је произвела гвожђе користећи електричну енергију генерисану из снаге ветра, што је велика прекретница у декарбонизацији индустрије гвожђа и челика. Кинеска влада је у септембру 2020. најавила да ће се до 2030. године постигнути пик емисија, али да ће се до 2060. године постићи неутралност. Најновијим кинеским петогодишњим планом такође је постављен циљ смањења од 18 посто за интензитет CO₂. У последњој деценији проценат потрошње енергије добијен од угља пао је са 68,5 на 56 одсто према подацима које је објавио Национални биро за статистику Кине [117].

Немачка, Јапан, Велика Британија и Турска су земље са различитим енергетским профилима и фазама енергетске транзиције. Међутим, постоје неки уобичајени енергетски показатељи који се могу анализирати да би се упоредили њихови енергетски системи. Један од таквих показатеља је удео обновљиве енергије у њиховом енергетском миксу. Други заједнички енергетски индикатор је емисија CO₂ по глави становника. Немачка, Велика Британија и Јапан имају релативно високе емисије CO₂ по глави становника у поређењу са Турском. Међутим, још увек постоје значајне разлике између њихових енергетских система, приоритета и изазова. Ови уобичајени енергетски показатељи пружају увид у то како те земље управљају својим енергетским системима и прелазе у одрживију енергетску будућност. Немачка је задржала висок степен нафте и природног гаса како би

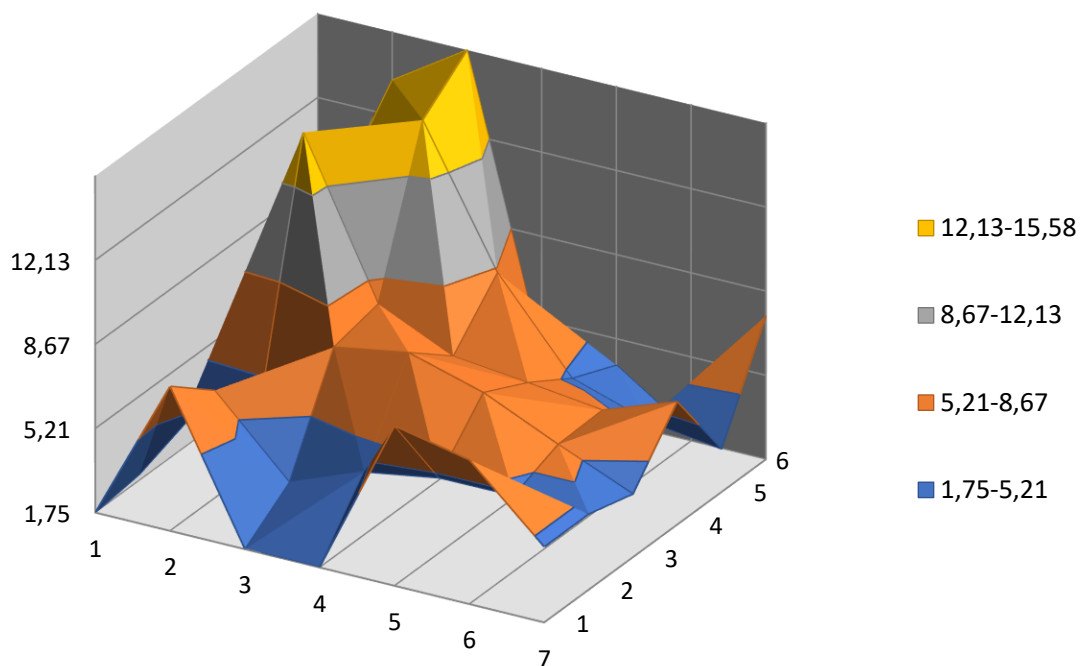
одржала безбедност снабдевања електричном енергијом, с обзиром да се нафта и гас готово искључиво увозе. Ове зависности су генерисале два потенцијална извора нестабилности. Прво, глобалне промене цена снажно утичу на немачке увознике енергије и крајње кориснике. Друго, кретања на тржишту у великој мери зависе од односа Немачке са одређеним земљама [118].

Када је реч о регулативама, Немачка је поред стандардних феед ин тарифа увела модел за директну продају на тржишту. Тај модел представља додатну могућност за директну продају на тржишту (премијум модел). Уместо да се инвеститору исплаћује новац преко феед ин тарифе, пружа се опција за преусмеравање и продају на тржишту по тржишној цени која може бити и виша од феед ин тарифе. Ово представља алтернативни начин за подстицање производње електроенергије из обновљивих извора и промовисање директне учешћа на тржишту [119].

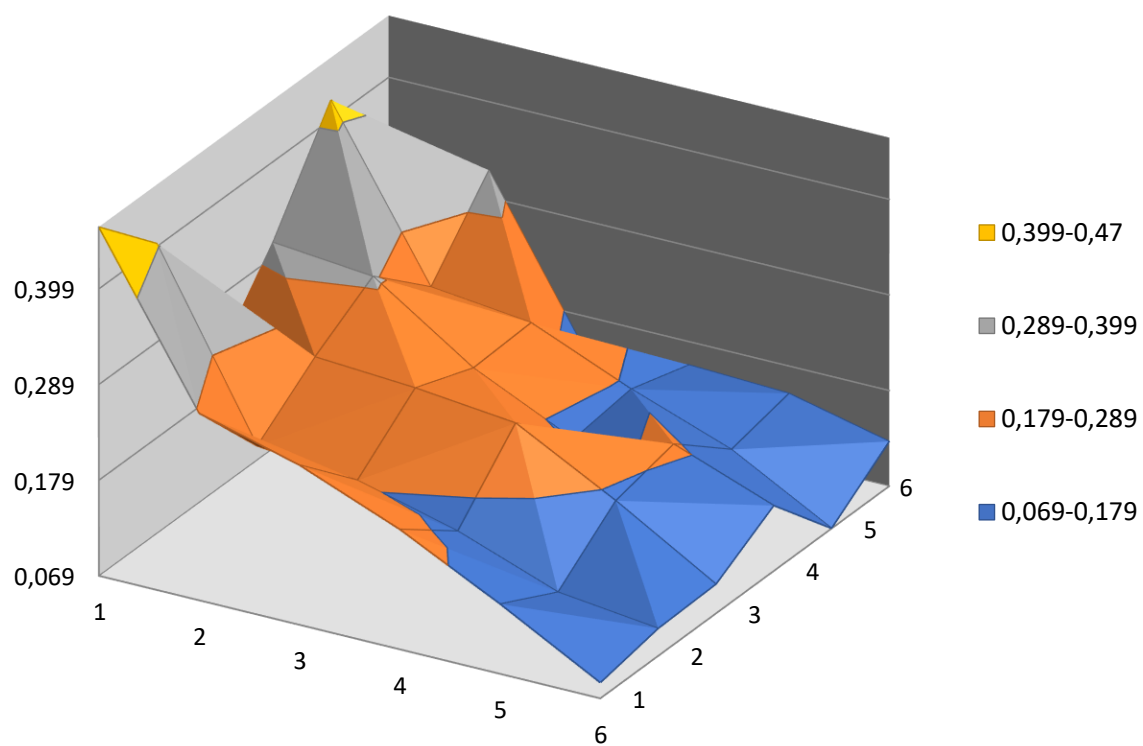
Када је реч о Индији, изузетно конкурентно тржиште обновљиве енергије допринело је да се Индија високо позиционира када је реч о привлачењу инвестиција. Од 2012. године, Индија је спровела конкретне и ефикасне политике као што су аукције, циљеви за обновљиву енергију и тарифе за усмеравање. Ови транспарентни механизми и амбициозне владине циљеве привукле су многе домаће и стране учеснике, што је резултирало око 47 милијарди долара инвестиција у чисту енергију у периоду од 2017. године [120].

5.5 АНАЛИЗА ПОЗИЦИЈЕ ЗЕМАЉА У ОДНОСУ НА ПРОМЕНУ ПОЈЕДИНАЧНИХ ПАРАМЕТАРА

Сама тополошка мапа није довољна да би се могле уочити и разумети позиције земаља. Комбинација тополошке мапе (слика 5-6) са приказом појединих промена појединачних резултата знатно доприноси бољој анализи структуре података. На сликама 5-8, 5-9 и 5-10 су приказане промене појединачних параметара који су претежно везани за емисију CO₂. Упоредном анализом датих слика, може се закључити да земље које имају највећу емисију CO₂ позициониране на доњем делу мапе. Земље са највећом емисијом као појединачни параметар су Канада, САД и Аустралија (жута боја на слици 5-8 (а)). Земље које имају такође високу емисију претежно 6 тона по глави становника или више су позициониране у доњем леву углу. Слична промена се може закључити и на слици 5-9 где је приказана промена емисије CO₂ у односу на БДП земље. Комбинацијом ова два параметра може се закључити да економски параметар нема пресудан значај. То потврђује чињеница да су ту означене земље попут САД, Норвешке или Аустралије, као и да се ту налазе земље са мањим БДП попут Србије, Индије или Кине. Међутим, комбинацијом 5-8, 5-9 и 5-10 се може добити потпуна слика у вези са позицијом земаља. Параметар који мери емисију CO₂ у односу на утрошен kWh приказује да ли се примењују технологије са ниском емисијом (енг. *low-carbon technologies*). Анализом слике 5-10 може се уочити да једино Норвешка примењује овај вид технологије јер њен индикатор на вредности нижој од 0,1 CO₂/kWh, док све остале земље у окружењу имају знатно више. Норвешка од свих наведених земаља има највишу вредност индикатора који мери потрошњу електричне енергије по глави становника што указује на висок степен електрификације, али и ефикасног коришћења електричне енергије.

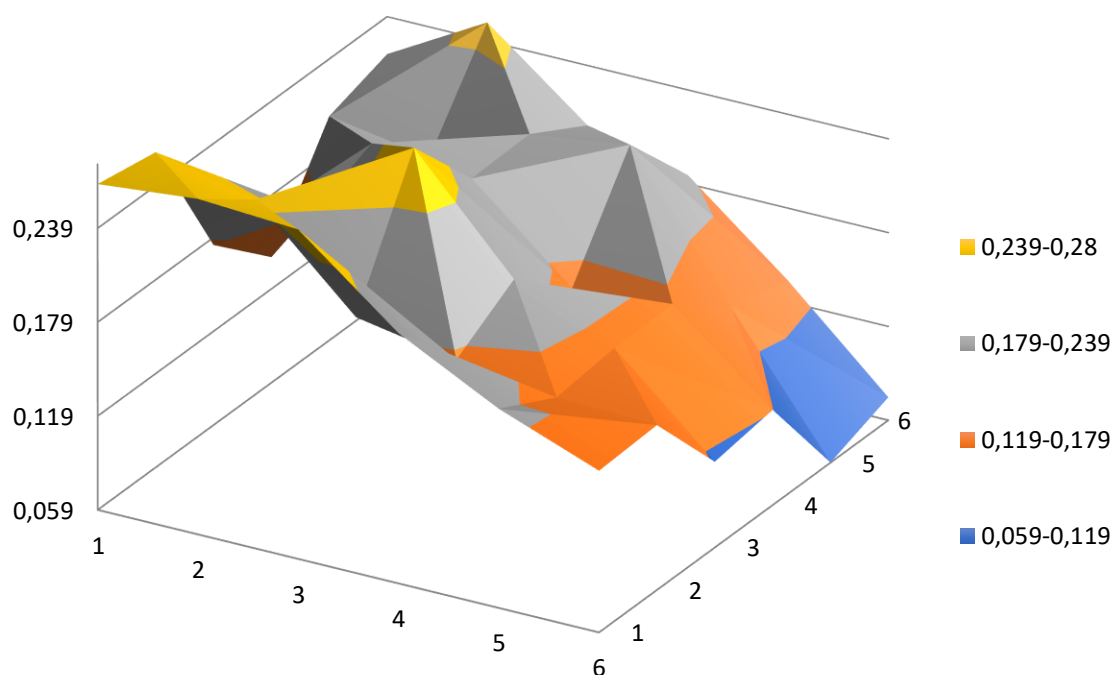


Слика 5-8 Емисија CO_2 по глави становника



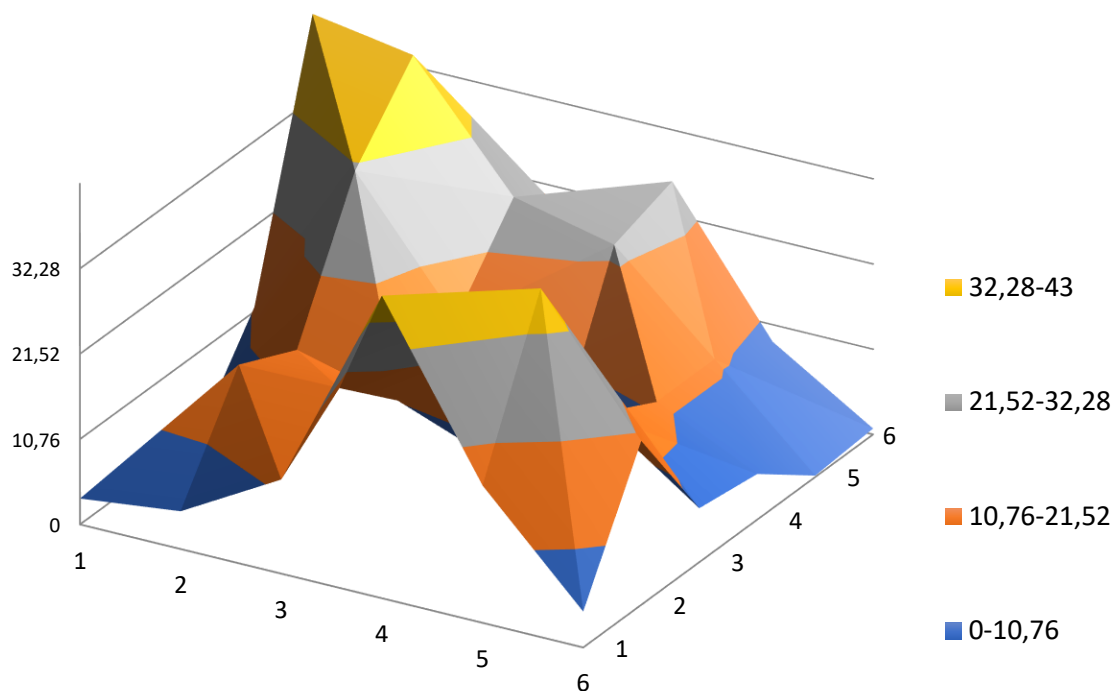
(6)

Слика 5-9 Емисија CO_2 по БДП-у



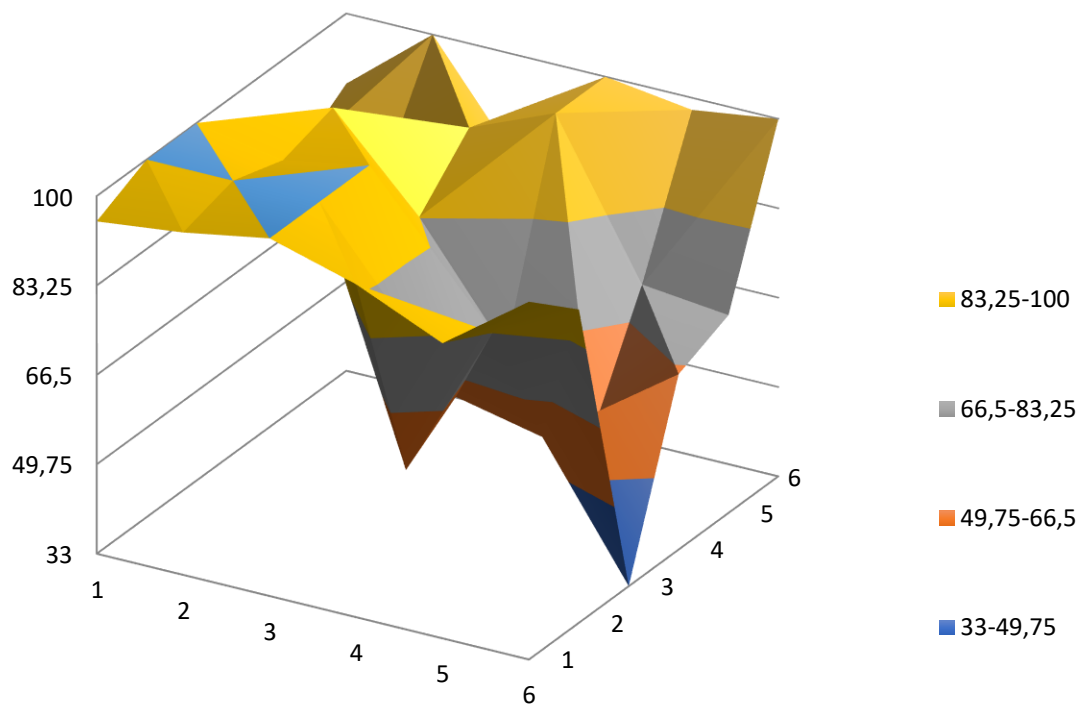
Слика 5-10 Параметар који мери емисију CO_2 у односу на ујрошен kWh

Ипак, нису само фактори око емисија пресудни за позиције земаља. Анализом појединачних параметара који указују на удео фосилних или обновљивих извора енергије у производњи електричне енергије се може добити јаснија слика. Земље који имају већи удео фосилних горива у производњи електричне енергије су позициониране у доњем левом углу када је реч о уделу угља (слика 5-11).



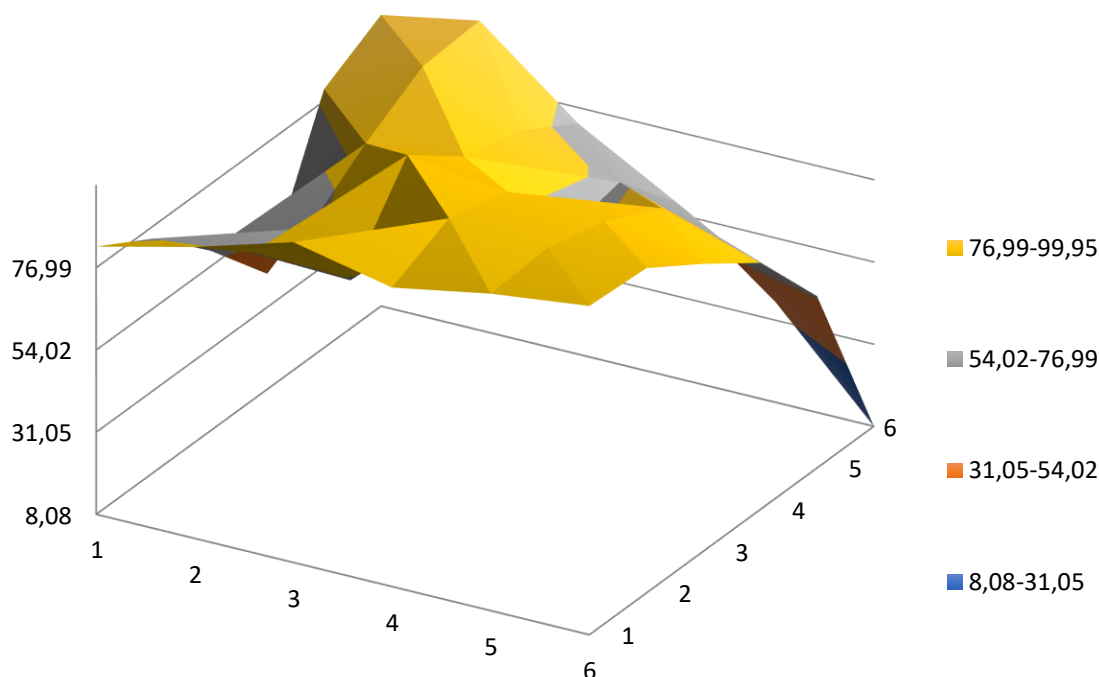
Слика 5-11 Удео угља у производњи електричне енергије

Како је уочљив тренд од доњег левог угла ка горњем, удео угља у производњи електричне енергије се смањује, док се удео осталих енергената повећава. Када је реч о уделу природног гаса у производњи електричне енергије мапа нема уједначену промену (слика 5-12). Ово се може објаснити чињеницом да природни гас у већини земаља није доминантан извор, осим када је Русија у питању.



Слика 5-12 Удео природног гаса у производњи електричне енергије

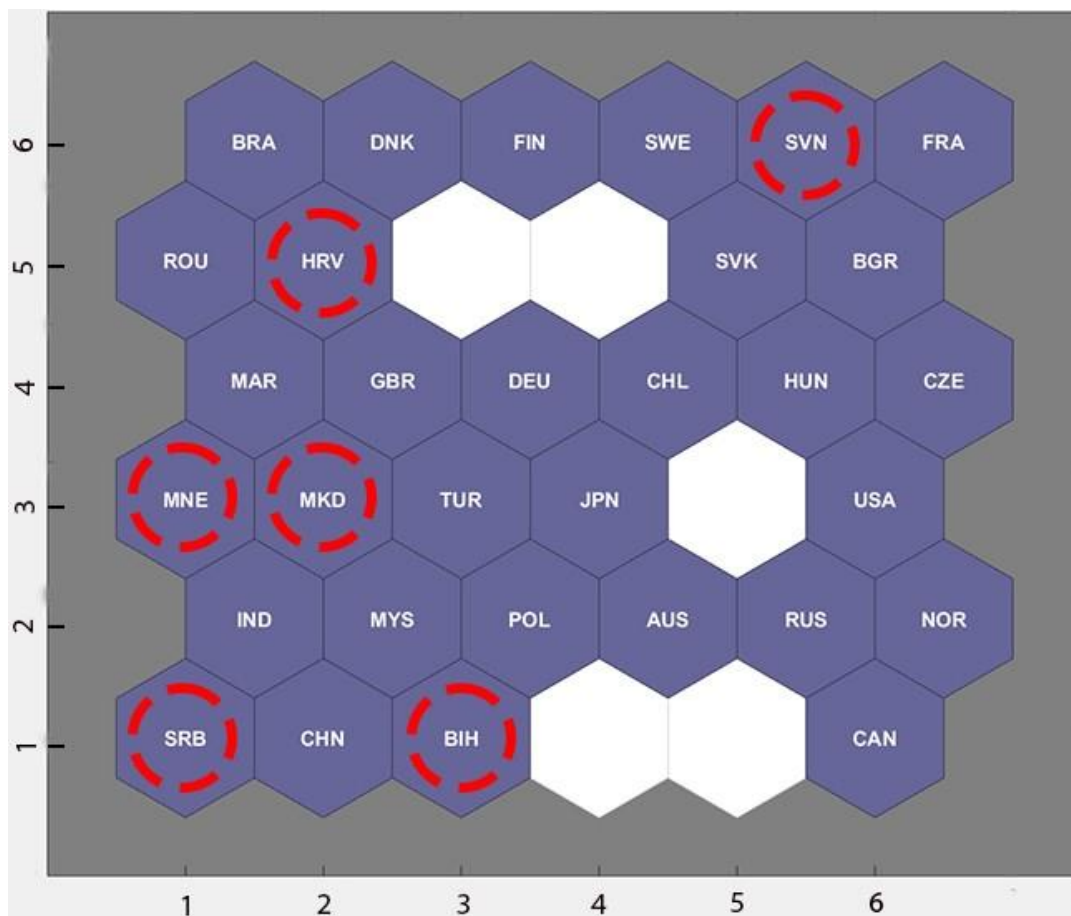
Трећи параметар који би употпунио анализу позиција на тополошкој мапи јесте удео нуклеарне енергије. Удео нуклеарне енергије у производњи електричне енергије приказан на слици 5-13. Нуклеарну енергију претежно користе земље средње и источне Европе попут Чешке, Словачке, Бугарске. Поред њих нуклеарну енергију користе Шведска и Француска. Коришћење нуклеарне енергије свакако утиче на низак ниво емисија (слике 5-8 и 5-13), међутим поставља се питање третмана отпада и утицаја отпада на околину.



Слика 5-13 Удео нуклеарне енергије у производњи електричне енергије

5.6 АНАЛИЗА ПОЗИЦИЈА ЗЕМАЉА ЗАПАДНОГ БАЛКАНА

Позиција земаља Западног Балкана приказана је на слици 5-14. Словенија и Хрватска оствариле су знатан напредак у својим енергетским индикаторима и предузеле значајне кораке ка одрживијој енергетској будућности. Обе земље спровеле су политику и иницијативе усмерене на смањење њихове емисије CO₂, као и инвестиције у обновљиве изворе енергије као што су соларна енергија, ветар и хидроенергија. То не само да је им помогло да смање емисију CO₂, већ је створило и нова радна места, стимулисало економски раст и побољшало енергетску безбедност. Да би ојачала енергетску безбедност и смањила увоз енергије из трећих земаља, Хрватска истражује могућност повећања производње домаћих ресурса угљоводоника. Истовремено, Хрватска такође планира да диверсификује путеве снабдевања природним гасом изградњом течног природно гаса (енг. *Liquid natural gas* – *LNG*) терминала на острву Крк [121]. Када је реч о Словенији, искорак ка одрживијем развоју се огледа у томе да Словеначка влада је у јануару 2022. године усвојила националну стратегију постепеног напуштања угља. Фаза изласка из угља укључивала би преурањено затварање шесте јединице ТЕ Шоштањ која има животног века до 2054. год. [122].



Слика 5-14 Земље западне Балкана на џејолошкој мапи [123]⁴

Са друге стране, Србија, Македонија и Босна и Херцеговина постигле су мали напредак у усвајању одрживих енергетских пракси. Упркос све већем глобалном тренду ка обновљивој енергији, ове земље још увек нису оствариле значајна улагања у овај сектор, а њихов енергетски микс и даље се у великој мери ослања на фосилна горива. То је резултирало већом емисијом CO₂ и споријим преласком на енергетски систем са нижом емисијом CO₂. Производња електричне енергије у Србији ослања се око 70 процената на нискоквалитетни лигнит, што узрокује озбиљно загађење, док се остатак електричне енергије добија из хидроелектрана. Само 2,8% произведене електричне енергије се добија из ветра. Додатна забринутост представља национални план где Србија планира нове капацитете на фосилна горива, првенствено на угаљ. До краја 2022. године Србија је имала инсталисане 398 MW снаге ветра, али само 13 MW соларног система. Године 2021. одобрен је нови Закон о обновљивој енергији којим се Србија премешта на тржишну шему подршке и посебно би требало да убрза соларну инсталацију [124]. Слична ситуација је и код Босне и Херцеговине (БиХ). БиХ има значајан потенцијал обновљиве енергије посебно у енергији ветра. Свега 5% удела имају соларне и ветроелектране у енергетском миксу. Према студији коју је спровела немачка влада, БиХ

⁴ Резултати истраживања су објављени у научном раду: **Željko D. Vlaović, Borivoj Lj. Stepanov, Aleksandar S. Anđelković, Vladimir M. Rajs, Zoran M. Čepić, Mladen A. Tomić, Mapping energy sustainability using the Kohonen self-organizing maps - Case study, Journal of Cleaner Production, Volume 412, 2023, 137351, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137351>.**

би могла да производи до 2.000 MW енергије ветра годишње, пре свега у областима Ливно, Томиславград, Мостар и Требиње [125].

Производња електричне енергије из ОИЕ у Северној Македонији повећала се прошле године за 14,7 одсто у односу на 2020. годину, док је истовремено производња у електранама на угаљ пала 17,1 одсто. Такође, повећан је удео обновљиве енергије у укупној производњи електричне енергије, са 29,2 на 31,4 одсто. Велике и мале хидроелектране, соларне електране и оне подстакнуте биогасом и биомасом, са комбинованим капацитетом од 795 MW, заједно су произвеле 1.662 GWh у 2021. Генерално гледано инсталисани капацитет термоелектрана у западном Балкану су константни. Удео електричне енергије произведене из угља остао је углавном стабилан без знакова пада у петогодишњем периоду. Једини изузетак је Северна Македонија, која је 2020. године забележила смањење производње електричне енергије из електрана на угаљ. Само је ТЕ Осломеј предвиђена за затварање 2021. године, која ће бити замењена великим фотонапонским инсталацијама. У Црној Гори се наставља еколошка санација ТЕ Пљевља, чије је радно време искоришћено у складу са Директивом о великим постројењима за сагоревање, и планирано је да буде финализована до краја 2023. године [126].

5.7 АНАЛИЗА ДОБИЈЕНЕ СОМ МАПЕ

Тополошка мапа са позицијама земаља је приказана на слици 5-15. Ради лакше анализе и поређења земаља поред назива земље, дати су симболи за БДП, производњу угља по глави становника и да ли је земља чланица Европске уније. Сви симболи су распоређени у 3 категорије и 3 поткатеорије. Анализом слике 5-15 може се уочити утицај Европске уније. Осим Бразила све земље које су чланице Европске уније се налазе на високо одрживим местима. Један од разлога свакако јесте утицај регулатива Европске уније. Први значајнији документ од Кјото протокола који је потписан 1997. године [127] је Париски споразум који је потписан 2015. године [128]. Треба напоменути да су Париски споразум потписале и остале земље, али да је степен имплементације примене у ЕУ знатно виши. Овај споразум усвојен је од стране 196 земаља на Конференцији УН о климатским променама у Паризу. Споразум такође пружа финансијску и техничку подршку земљама потписницама у циљу ефикасније имплементације спровођења својих планова за деловање у вези са климом. Позиција ових земаља се огледа да је регулатива у Паризу значајно допринела енергетској одрживости. Први индикатор јесте да пораст температуре предвиђен за крај овог века мањи. Пре самита у Паризу 2015. године, глобалне емисије би допринеле повећању температуре за 3,5°C до 2100. године, након имплементације одређених регулатива та процена је смањена на 2,9°C. Тај резултат комбинација технолошких, економских и политичких промена. Други битан аспект је цена технологије обновљиве енергије, као што је на пример соларна енергија, која је пала. Конкретно, у Европи су емисије пале за 23 одсто испод нивоа из 1990. године [129].

Други пример добре праксе је регулатива Европског система за трговање емисијама (енг. *European Union Emissions Trading System - EU ETS*). Од његовог увођења 2005. године емисије су се смањиле за више од 40% у секторима који су обухваћени трговином емисијама. То укључује производњу електричне енергије и топлоте и енергетски интензивне индустријске секторе унутар Европе [130].

Последња регулатива која је усвојена је Европски зелени план (енг. *European Green Deal*) који усвојен у 2019. године, и заправо представља нову енергетску стратегију раста Европске уније са циљем значајног смањења емисија гасова са ефектом стаклене баште уз очување друштвених и економских

промена, праведног и правичног транзиционог процеса. Цена Европског зеленог плана је приказана је у табели 5-7.

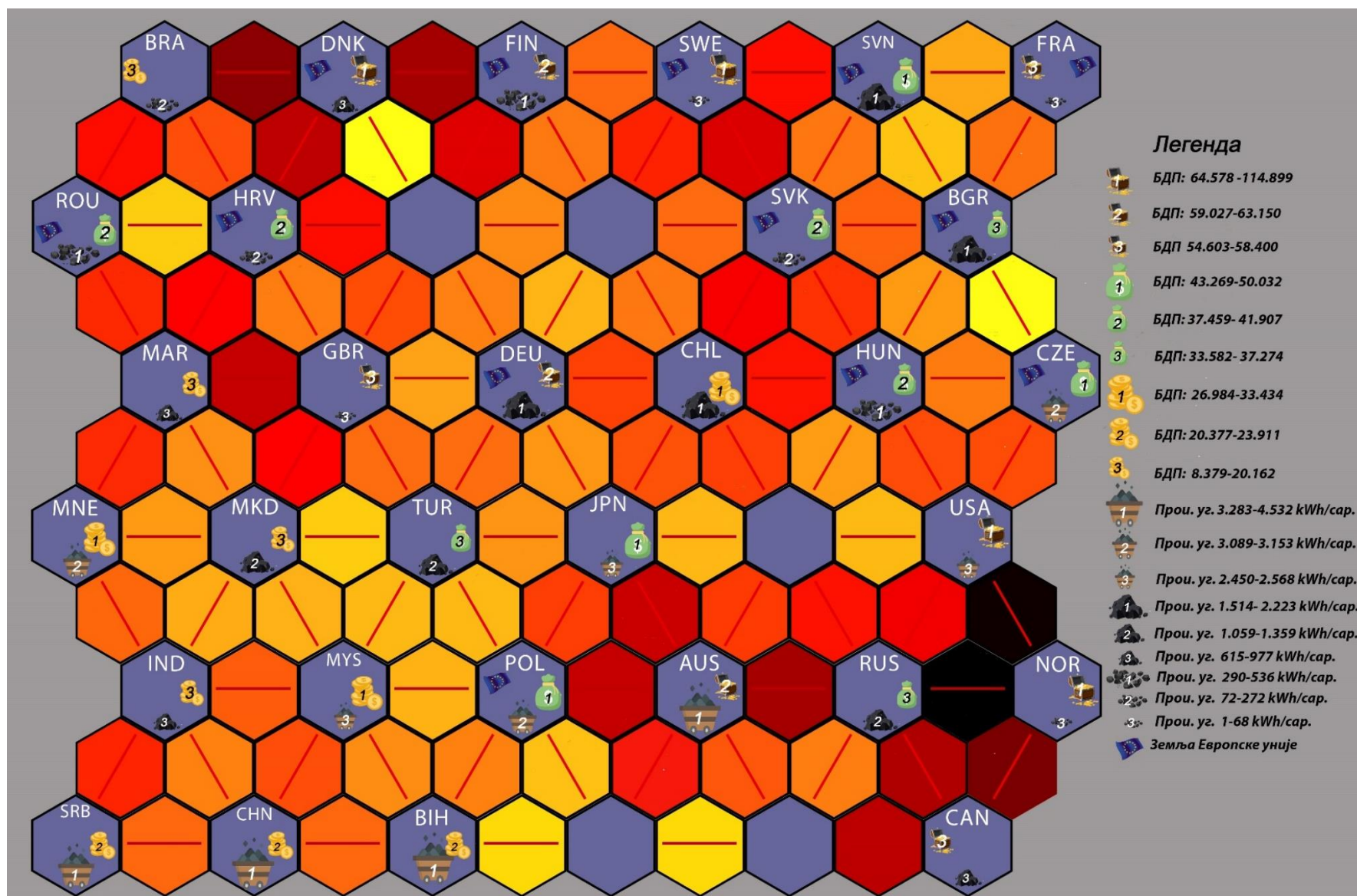
Табела 5-7 Цена пројекта „European Green Deal“

Основни предвиђени сценарио	263 милијарди еура
Сценарио са порезом на емисију CO ₂	326 милијарди еура
Комбинација основног и сценарија са порезом на емисију CO ₂	356 милијарди еура
Сценарио са регулативима	377 милијарди еура

Утицај на одрживост се може анализирати и на микронивоу. Када се анализирају земље које су високо позициониране на мапи, пример добре праксе може бити Шведска. Концепт одрживе биорафинерије у регији Ерншелдсвик (*Örnsköldsvik*) је пример добре праксе који подразумевао да се шумска биомаса не користи само за папир већ применом биорефинеријских технологија трансформише и користи за производњу горива са нижом емисијом CO₂ и на тај начин смањи емисија. Други пример добре праксе је у Великој Британији где је извршена пренамена инфраструктуре и земљишта односно луке, заједно са привлачењем приватних инвестиција. Наиме, извршена је пренамена луке која се користила за добављање угља, *off-shore* ветропарком. Помоћу ове регулативе локална заједница и влада је привукла бројне инвестиције (нпр. Сиенсова фабрика лопатица за ветротурбине). Диверсификација се може постићи им имплементацијом обновљивих извора енергије на бившим рударским локалитетима и развојем инфраструктуре. Први корак ка коришћењу обновљивих извора у производњи електричне енергије направила је Мађарска у ТЕ Матра 2004. године, почевши с коришћењем биомасе. Такође, компанија је искористила потенцијал напуштених рударских локалитета користећи их за производњу биомасе (на пример, шума енергије од 16 хектара) и постављање фотонапонских панела капацитета од 16 MW као део санације депоније пепела на бившем рударском локалитету [131].

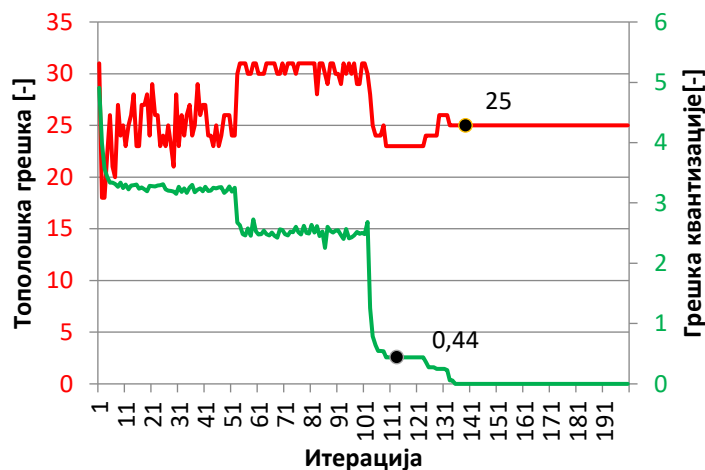
Такође, значајно за земље ЕУ и њихов утицај на одрживости се може приписати и коришћењу нуклеарне енергије. Поставља се питање да ли само укључивање ОИЕ може заменити првенствено електране на угљ. Нуклеарне електране не емитују емисију, уз то представљају стабилан енергетски доступан извор. Други аспект који представља одрживост јесте да је у плану да се нуклеарна енергија користити за производњу водоника чиме се постиже додатна декарбонизација других сектора, осим производње електричне енергије [132].

Треба напоменути да битан разлог ове одрживости поред регулатива и имплементације истих, представља економска ситуација у којој се земље налазе. Најмањи БДП 37.459\$ по глави становника, што представља знатно више од осталих земаља којима претходни транзиција ка одрживом развоју. Вредности БДП су исказане у америчким доларима.



Слика 5-15 Тойолошка мапа добијених резултата

Грешка квантизације у раду је приказана на слици 5-16 (зелена боја). Анализом слике 5-16 се јасно види да након 131 итерације грешка квантизације је једнака 0. Тополошка грешка у раду је приказана на слици 5-16 (црвена боја), где се грешка након 131 итерације усталила на 25.



Слика 5-16 Грешка квантизације и тополошке

5.8 ПРОШИРЕЊЕ И АНАЛИЗА МОГУЋИХ ПРАВАЦА ЕНЕРГЕТСКЕ ТРАНЗИЦИЈЕ

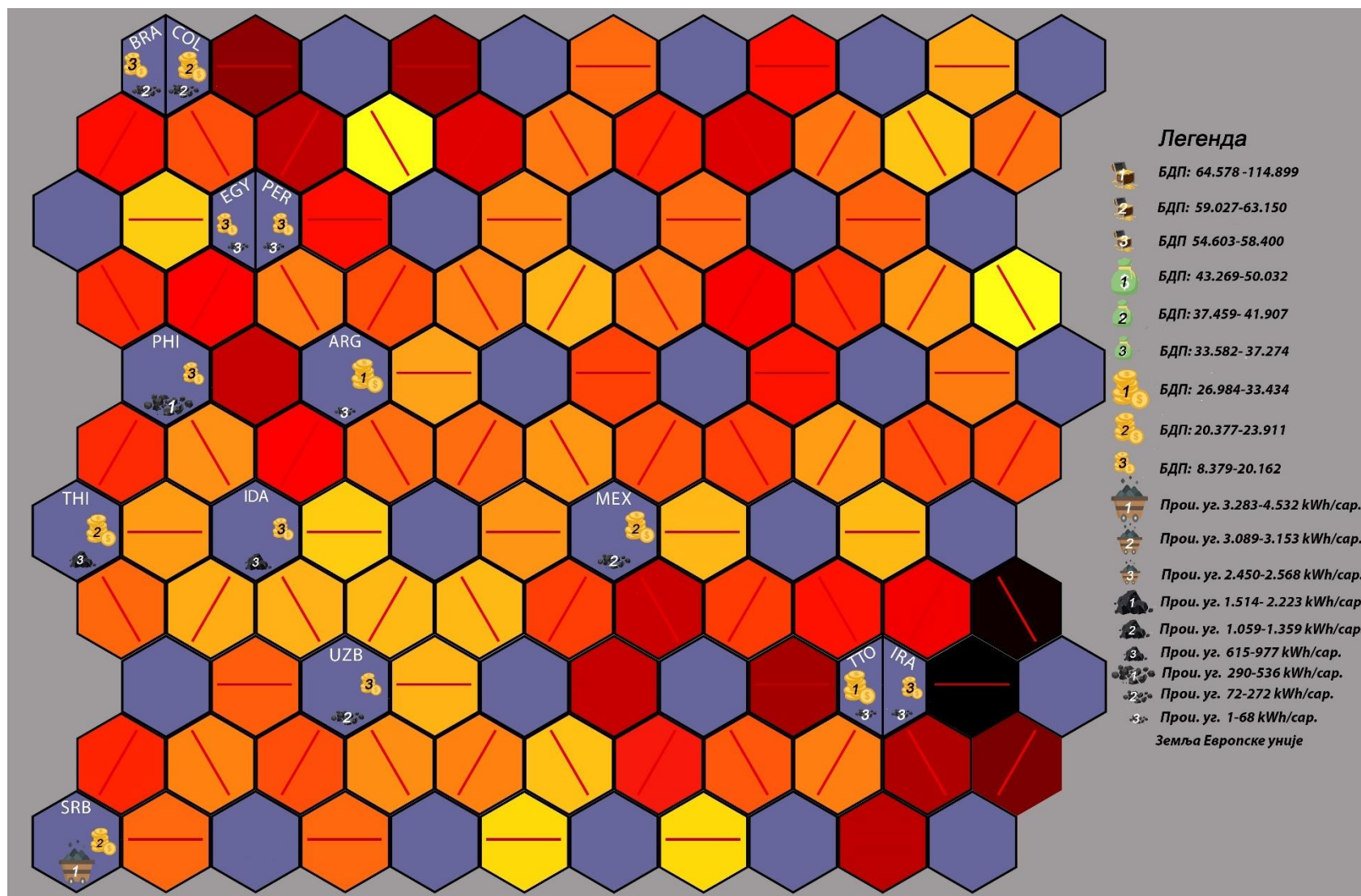
Ради проширења анализе на постојећу мапу, додате следеће земље: Аргентина, Индонезија, Италија, Мексико, Јужна Кореја, Тајланд, Колумбија, Филипини, Узбекистан, Египат, Перу, Иран, Тринидад и Тобаго, Грчка, Казахстан. Одабир земаља је урађен на основу сличног БДП-а са Србијом. На основу координата неурона и улазних параметара који су приказани у табелама 5-8 и 5-9 земље су позициониране са најближим ВМУ. Позиције земаља су приказане на слици 5-17.

Табела 5-8 Улазни параметри за догађе земље

Континент	Држава	CO ₂ /становнику. (тCO ₂ /стан.)	CO ₂ /БДП (ППП) (кг CO ₂ /2017 USD)	ППЕ/БДП (ППП). (MJ/2017 USD)	ППЕ./стан. (GJ/стан.)	Интензитет емисије (кг CO ₂ /kWh)	Потрошња ел. ен./становнику (MWh/стан.)	Удео потрошње ел. енергије добијене од природног гаса (%)	100-(удео ППЕ од ветра) (%)	100-(удео ППЕ од хидро) (%)	100-(удео ППЕ од ОИЕ)(%)	100-(удео ППЕ од нуклеарне ен.) (%)	100-(удео ППЕ од солара.) (%)	Удео ППЕ од угља (%)	Удео ППЕ од нафте (%)
SA	ARG	3,76	0,173	3,416	75,17	0,195	3,123	55,34	98,81	97,02	99,72	98,74	99,83	1,26	36,31
SA	PER	1,68	0,121	2,865	41,14	0,167	1,565	30,88	100	88,27	99,34	100	99,96	11,17	43,57
SA	COL	8,36	0,665	10,68	13,99	0,216	3,939	71,13	99,97	99,30	100	99,81	99,98	0,64	27,28
SA	TTO	5,29	0,195	4,00	107,28	0,201	4,529	25,56	96,25	98,65	99,82	100	98,21	8,582	57,82
SA	MEX	3,11	0,164	3,37	65,01	0,190	2,625	48,88	98,98	98,61	99,64	99,42	99,18	3,44	43,36
EU	ITA	5,08	0,123	2,65	109,40	0,183	4,644	46,60	98,71	96,72	98,23	100	98,28	4,08	40,34
EU	GRE	14,67	0,530	5,58	158,08	0,371	5,860	24,12	99,86	98,68	100	100	99,83	51,82	22,43
AS	RSK	11,53	0,276	5,76	241,42	0,179	10,671	19,02	99,90	99,87	99,67	94,71	99,36	27,77	46,46
AS	IDA	2,24	0,194	2,621	30,80	0,289	1,093	18,56	99,98	98,80	98,62	100	99,99	37,87	37,11
AS	THA	3,88	0,233	4,47	75,04	0,201	2,520	35,19	99,76	99,66	99,08	100	99,62	15,93	45,05
AS	IRA	23,55	0,895	16,94	449,88	0,216	5,456	91,95	100	100	100	100	100	0	8,05
AS	KAZ	1,43	0,119	2,95	36,51	0,170	1,640	31,97	99,19	86,32	99,66	100	99,62	2,67	48,20
AS	UZB	3,53	0,358	5,835	59,31	0,222	1,724	83,24	100	99,05	100	100	100	5,47	10,33
AS	PHI	1,21	0,149	2,22	18,68	0,265	0,944	8,05	99,79	98,49	97,48	100	99,71	42,74	43,60
AF	EGY	2,19	0,195	3,11	36,36	0,240	1,825	61,78	99,45	98,42	100	100	99,53	0,93	34,69
	макс.	1,21	0,12	2,22	18,68	0,17	0,94	8,05	96,25	88,27	97,48	94,71	98,21	0	8,05
	мин.	23,55	0,89	16,94	449,88	0,37	10,67	91,95	100	100	100	100	100	75,36	57,82

Табела 5-9 Насићавак табеле улазних параметара годишних земаља

	Држава	100-Процењена ефикасност продукције електричне енергије (%)	100-самодовољност (%)	Резерве угља/50 године ППЕ	100- (хидро.ел.произ./хидро.теор.кап.) :100	Резерве гаса/50 година ППЕ	Резерве нафте/50 године ППЕ	Удео ел. енергије добијен од угља (%)	Удео ел. енергије од гаса (%)	100 - Удео ел. енергије од нуклеарне енергије (%)	100 - Удео ел. енергије од хидро (%)	100 - Удео ел. енергије од биомасе (%)	100 - Удео ел. енергије од биомасе солара (%)	Удео ел. енергије од нафте (%)	100 - Удео ел. енергије од ветра (%)
AS	ARG	48	0	1,13	93,15	0,063	0,087	1,118	60,09	92,74	82,50	98,45	99	95,17	93,28
SA	PER	49	-169,5	9,79	95,16	0,042	0,146	8,647	19,25	100	37,20	98,27	99,754	92,67	96,57
SA	COL	64	-29	2,07	94,82	1,837	0,002	0,196	79,54	98,12	93,12	99,99	99,81	89,02	99,98
NA	TTO	64	72,4	0,83	95,83	0	0,001	13,72	39,92	100	93,06	99,06	90,76	90,09	100
NA	MEX	58	18,5	0,50	93,78	0	0,165	5,67	60	96,66	9178	96,48	96,54	90,26	93,92
EU	ITA	61	76,9	0,10	74,97	0,004	0,011	4,81	48,08	100	82,90	90,77	91,03	94,93	93,25
EU	GRE	47	-132,6	29,80	94,32	0	1,194	63,85	25,09	100	91,10	99,99	98,85	99,93	80,66
AS	RSK	60	83	0,132	92,54	0	0	36,89	28,12	72,33	99,29	98,40	96,74	98,82	99,42
AS	IDA	69	-90,8	10,41	98,87	0,219	0,054	61,98	17,57	100	91,66	90,42	99,94	97,68	99,83
AS	THA	65	46,1	0,181	74,78	0,026	0,008	20,96	64,82	100	97,46	93,33	97,19	99,58	98,20
AS	IRA	68	-101	0	100	0,305	0,149	0	98,78	100	100	100	99,87	98,90	99,66
AS	KAZ	61	8,1	0,83	98,07	0,223	0,129	0,81	28,37	100	42,25	98,82	98,50	93,03	99,05
AS	UZB	68	-14,4	3,53	94,32	0,357	0,037	15,60	73,56	100	91,06	100	99,98	98,12	100
AS	PHI	63	49,5	0,62	83,43	0,031	0,007	45,18	14,12	100	92,39	87,31	98,64	81,95	98,99
AF	EGY	65	2,4	0,04	90,33	0,310	0,108	0	77,36	100	93,61	100	97,61	88,37	97,76
	макс.	47,00	-169,50	0	74,78	0	0	0	14,12	72,33	37,21	87,31	90,76	81,96	80,67
	мин.	69,00	83,00	29,80	100	1,84	1,19	63,85	98,78	100	100	100	99,98	99,94	100



Слика 5-17 Позиције земаља које су накнадно догаије у односу на Србију

Ради лакше анализе слике 5-17, поред имена земаља налази се симболи БДП-а земље и произведене електричне енергије по глави становника добијена од угља. Координате неурона које су на слици 5-17 означене плавим хексагонима су идентичне као на слици 5-6. Дистанце између неурона су на исти начин означене као и на првој тополошкој мапи. На слици 5-17 су приказане нове земље и Бразил које имају сличан ниво БДП са Србијом. Увидом у тренутно стање, може се закључити да су Бразил и Колумбија високо позициониране, потом следе Перу и Египат.

Приликом поређења земаља, поред сличног БДП-а као утицајни фактори узети су разматрање доступност ресурсима, економска развијеност, утицај политике и енергетске стратегије, социо-економски и друштвени аспекти и екологија. Земљама којима следи транзиција пример добре праксе, односно мета може бити позиција Бразила или Колумбије. Бразил се истиче земаља са најчистијим енергетским миксом, са великом употребом хидроелектрана. Ниске каматне стопе, подстицаји и финансијске политике, као и правичне цене омогућене су на аукцијама које су у вези са електричном енергијом, довеле су до значајног раста индустрије ветрогенератора у последње време. Због географске позиције и доступних природних ресурса имплементација у Бразилу је лакша.

Додатан разлог за смањење емисија и одрживост се огледа да се од 2004. када су се појавили флексибилни аутомобили (енг. *Flex-cars*) који користе етанол ниво загађења смањио [133]. Један по покретача инвестиција ка обновљивим изворима енергије од 2002. године био је програм ПРОФИНА (енг. *The Alternative Energy Sources Incentive Program*). Тим програмом више од 40% укупних инвестиција у сектору добијања електричне енергије остварено је преко овог програма. Између 2014. и 2016. године највећи удео био је у сектору ветрогенератора [134].

Инвестиције у обновљиву енергију у Бразилу су порасле у 2022. години, када је Бразил успео да привуче 25 милијарди долара. Овај скок је пре свега резултат успешне политике координисане са пореским олакшицама које су се односиле на мале фотонапонске системе, привлачећи 13 милијарди долара у 2022. години [120].

Такође, Чиле се све више издваја као лидер у индустрији чисте енергије. Његова позиција је остварена због помоћи владе, природних ресурса и коришћења глобалних партнерстава, што је Чиле учинило привлачном дестинацијом за стране инвестиције. Национална енергетска политика идентификује више од 60 циљева за 2030, 2035. и 2050. годину како би се постигла CO₂ неутралност. Укупно је планирано да 74 пројекта обновљиве енергије буду у функцији до 2023. године, што ће додати 4.318 MW инсталисане капацитете [135].

У Чилеу енергетска транзиција је почела прошле деценије, претежно захваљујући расту неконвенционалне обновљиве енергије, чији је инсталирани капацитет порастао са 2% 2005. године, када је постојало само неколико пројеката биомасе и мини-хидроелектрана на 26,4% у 2020. години. Углавном захваљујући соларним и ветроелектранама. Да би се постигли циљеве, Чиле се обавезао на повећање инвестиција у обновљиве изворе енергије које покреће приватни сектор, отварајући притом низ могућности за стране инвеститоре у наредним годинама. Чиле је већ препознат као једна од најатрактивнијих земаља за инвестиције у обновљиву енергију. Чиле се због тога нашао међу 11 најатрактивнијих земаља на свету за инвестирање у обновљиве изворе, заједно са економијама попут Шпаније, Холандије, Јапана и Француске. У међувремену, *ClimateScope* компаније *Bloomberg* сврстао је Чиле као најатрактивнију земљу на свету за инвестиције у обновљиву енергију [136]. Енергетска транзиција у Чилеу подразумева затварање 28 електрана на

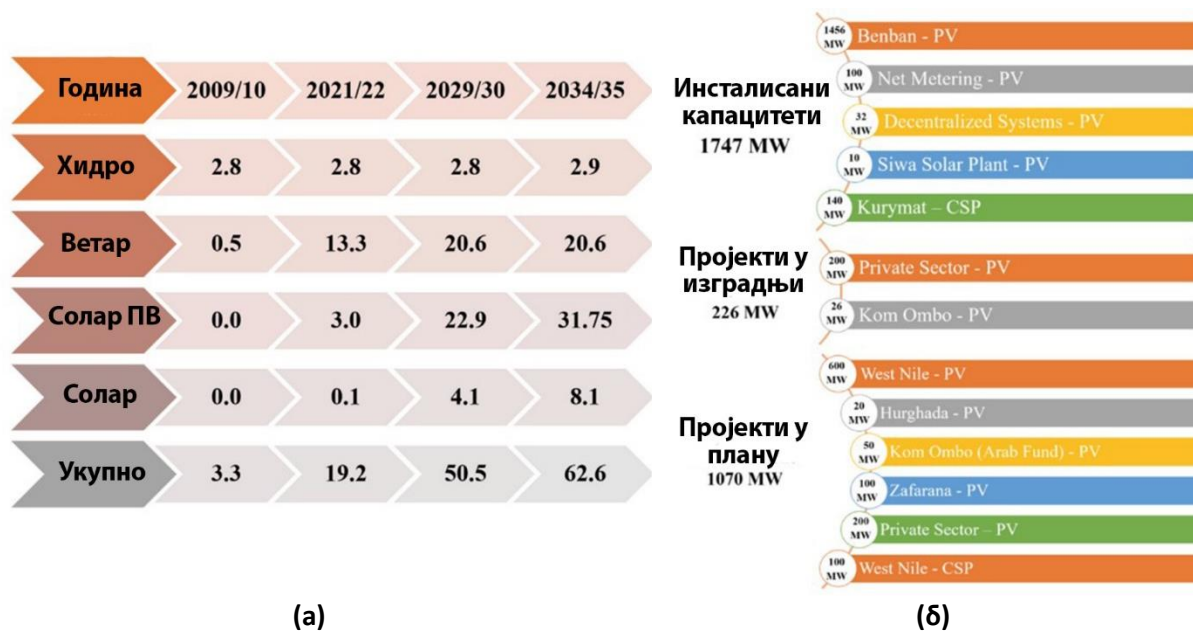
угаљ и 30 милијарди долара за генерисање 15 GW снаге добијене из ОИЕ [137]. Разлог брзе транзиције државе Чилеа јесте да је добро успостављен систем тендера. Даље, постављени су амбициозни циљеви енергетске одрживости и обавезивањем ка све зеленијем енергетском миксу. У протеклих седам година, Чиле је привукао 20,8 милијарди долара инвестиција у области чисте енергије, претежно захваљујући добро структурираном енергетском сектору. То укључује аукције за обновљиву енергију које нуде стандардизоване уговоре о куповини електричне енергије (енг. Power Purchase Agreements - PPA) и могућност потписивања билатералних уговора са великим потрошачима. Све ово условило је да у Чилеу 20% производње електричне енергије долази из ОИЕ пет година пре зацртаног циља који је био тада 2025. година. Генерално, стране инвестиције играју кључну улогу у напорима да се диверсификује енергетски микс у Чилеу, који укључују пројекте обновљиве енергије [138].

У 2013. години, влада је увела низ прописа како би подржала обновљиве изворе енергије, што је резултирало додатком капацитета обновљивих извора од 3,7 GW. Према тадашњем закону, сви јавни корисници са више од 200 MW производног капацитета морају осигурати да 20% тога буде обновљиво до 2025. године, што је двоструко већи циљ од претходног. У 2014. години уведен је и порез на CO₂ од 5 долара по тони емисија CO₂ за произвођаче електричне енергије. Први годишњи приход од пореза за емисије у 2017. износио је 191 милион долара, при чему је 94% плаћено од стране произвођача електричне енергије који користе фосилна горива. Међутим, утицај пореза на сектор електричне енергије донекле је ублажен кроз клаузуле. Иако је порез на CO₂ у Чилеу један од првих таквих у региону, није значајно утицао на смањење. Влада је 2014. године донела реформу аукција за набавку електричне енергије из ОИЕ. Нова правила су поделила аукције у временске блокове, при чему су се произвођачи надметали за производњу електричне енергије само током тог временског оквира путем ППА уговора који се додељује на 20 година. Тај корак је био веома успешан јер је осигурао највиши степен развоја соларних технологија јер та технологија надмашује све друге у испоруци дневне електричне енергије захваљујући изузетним соларним ресурсима земље. Чиле је забележио 10 милијарди долара инвестиција у чисту енергију од 2013. године [139].

Колумбија је током две деценије енергетске транзиције ка обновљивим изворима постигла одређени напредак ка остваривању овог циља. Колумбија има доступне сопствене ресурсе у облику природних обновљивих извора енергије, високо декарбонизовани електрични микс, са 72% електричне енергије произведене из хидроелектрана. Године 2016. Колумбија је покренула Национални план енергетске транзиције како би диверсификовала снабдевање енергијом, промовишући изградњу ветроелектрана, соларних електроана и геотермалне енергије у енергетском миксу земље. Финансијска средства су обезбеђена из прихода од извоза ресурса у кратком и средњем року. Приходи од нафте и даље чине преко 30% укупне вредности колумбијског извоза. Као значајан произвођач и извозник нафте и уља, Колумбија годишње генерише око 20 милијарди долара девизних прихода од оба извора [140].

Египат је позициониран близу Бразила и Колумбије, али ипак постоји одређена удаљеност. Египат, као и Чиле има велики потенцијал сунчевог зрачења. Према соларном атласу, Египат просечно прима 3.050 сати сунчеве светлости годишње, с директним нормалним зрачењем које варира од 1.970 до 3.200 kWh/m² годишње и годишњом укупном соларном инсолацијом у распону од 2.000 до 3.200 kWh/m² [141]. Египат је имао проблеме са снабдевањем енергије од 2014. године. Првенствено у вези снабдевања природним гасом. Током 2014. године чести прекиди су натерали владу Египта да прошири своје капацитете. Енергетска транзиција у виду ОИЕ пројеката приказана

је на слици 5-18 (б). Анализирајући слику 5-18 (а) влада Египта се обавезала да ће проширити капацитете за соларну енергију и енергију добијене из ветра.



Слика 5-18 Еволуција енергетских капацитета обновљиве енергије у Египту

Аукције све више доприносе у проширењу обновљиве енергије, посебно у земљама у развоју, често по рекордним ценама због повећане конкуренције. Аукције су омогућиле ниже цене и уједначене инвестиције у погледу јавног и приватног сектора. Аукције су довеле до рекордно ниских цена на глобалном нивоу, укључујући земље Блиског истока и Северне Африке. Мароко је 2016. године увео аукције на енергију добијену из ветра у просеку по 30 \$/MWh, док су Уједињени Арапски Емирати остварили у просеку 24,2 долара по MWh за фотонапонске системе.

Међутим, битно је напоменути да су утицајни фактори који одређују те аукцијске цене комбинација услова специфичних за земљу (нпр. расположивост ресурса и трошкове земљишта, рада, финансија), поверења инвеститора, других политика подршке обновљивој енергији (нпр. порески подстицаји, политике подршке локалној заједници) и саме структуре аукције.

Када је реч о Египту, феед ин тарифе су усвојене 2014. године од стране владе. За разлику од Чилеа, овде се оне спроводе у две фазе. А циљ је да остваре 4.300 MW, укључујући 300 MW малих фотонапонских система од 500 kW, 2.000 MW већих фотонапонских система од 500 kW до 50 MW и 2.000 MW капацитета из енергије ветра. Као последица увођења феед ин тарифа 30 компанија је близу да затворе финансијску конструкцију укупног капацитета од 1.465 MW. Један од проблема тренутних јесте да су цене тарифе тренутно недовољне и да се инвеститори више ослањају на сопствену потрошњу приликом изградње оваквих система [142].

Индонезија и Мароко остварују напредак ка енергетској одрживости и ако су позиционирани на средини мапе и направиле су знатан искорак. Примера ради, у Мароку у претходних 10 година удео обновљивих извора у производњи струје се са 2,8% повећао на скоро 17%. Овакав вид инвестиција у ОИЕ је остварен финансирањем остварио од стране међународних развојних банака. Овакви кредити истичу улогу развојних банака у обезбеђивању дугорочног финансирања за велике

инфраструктурне пројекте. Све ово је допринело и финансирању пројекта соларних система, као и геотермалних пројеката у Индонезији [143].

Недостатак ефикасних политика и поузданих енергетских тржишта кажњава Афрички континент. Ово је пре свега услед недостатка подржавајући политика и добро структурираних, поузданих тржишта електричне енергије. Овај део се не односи само на земље Африке, већ и на друге поједине земље попут Ирана. У претходном периоду у Ирану се енергија користила на неефикасан начин укључујући све секторе. Како је потражња за енергијом била све виша енергетски параметри који оцењују ефикасност процеса су показивали све лошије резултате. Овај вид коришћења енергије представља неколико проблема за Иран. Између осталих ефеката, представља велику препреку иновацијама и економском развоју. Компаније које плаћају ниске цене енергије немају много разлога да се модернизују и за иновацију. Ниске домаће цене енергије и субвенције за потрошњу енергије имају негативне утицаје на економију и створиле се препреке за модернизацију и развој енергетског система.

Када се анализира слика 5-17 може се уочити да Тринидад и Тобаго заузима исту позицију на тополошкој мапи као и Иран. Неколико је разлога за овакву позицију и тренутни статус земље по питању одрживости. Тринидад и Тобаго је највећи произвођач и извозник природног гаса у његовом окружењу. Готово целокупан енергетски микс се заснива на природног гасу, као последица тога цена електричне енергије је веома ниска. Иран је пети највећи произвођач и извозник нафте у свету. Сходно томе цена произведеног kWh је ниска, као и у случају Тринидад и Тобага. Због ниске нема великог економског значаја у улагање у ОИЕ [144].

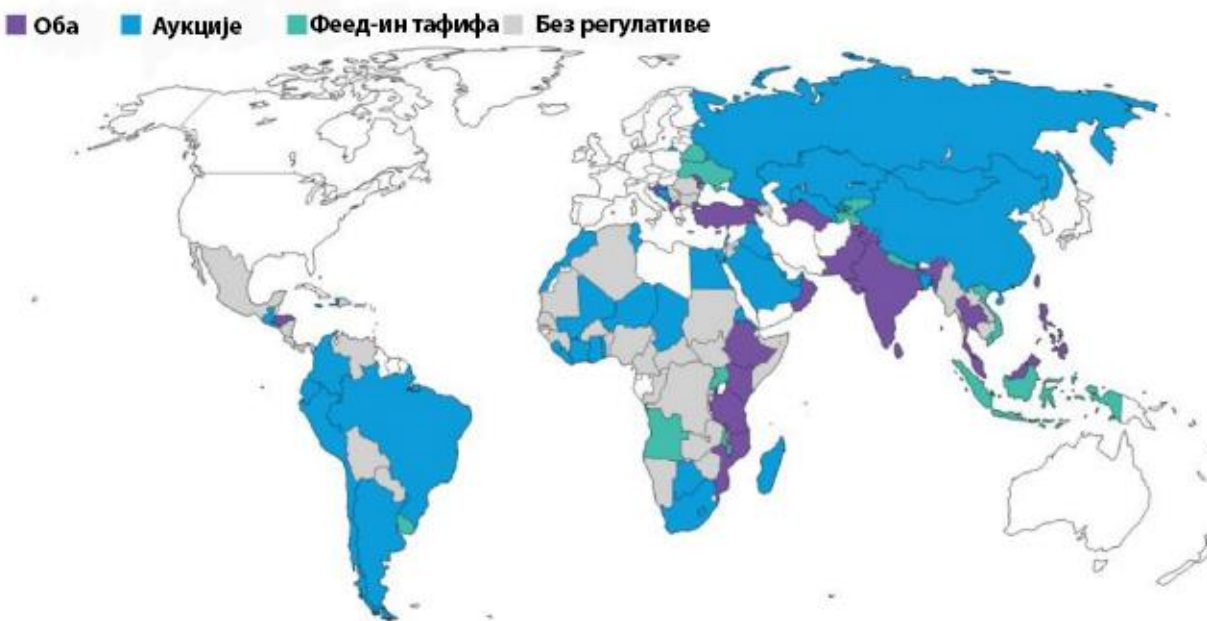
Током последње две године, значајан напредак се види на примеру Филипина у транзицији ка ОИЕ. Ово тржиште се истиче као једно од ретких које је спровело аукције, систем поврата вишка електричне енергије у мрежу, пореске олакшице и снажне циљеве за обновљиву енергију. На својој другој аукцији за зелену енергију, Филипини су склопили уговоре за 3,4 GW обновљивих капацитета од 11,6 GW колико је било планирано. Такође, битан фактор у регулативи који је допринео инвестирању је одсуство ограничења за стране инвестиције чиме су их подстакли.

Мексико је увео свеобухватно решење за инсталисање обновљивих извора енергије. Мексико од 2013. год. примењује јединствени систем за понуду уговора за производњу зелене енергије. Овај механизам укључује експлицитно прилагођавање цена на местима где подстичу инвеститоре да реализују пројекте, а та су места где су додатни капацитети потребни. Систем, такође, генерално одвраћа нове пројекте тамо где продаја превазилази потражњу. Након што се понуда склопи од стране регулаторног тела, цена се одређује на основу потенцијалног добитка на основу разних фактора. Фактор првенствено зависи од места где ће се реализовати пројекат. На пример, пројекат који се налази на подручју где постоји довољна инсталисана снага, уједно и количина произведене енергије има фактор од 5 \$/MWh. То значи да уколико понуђач понуди 40 \$/MWh, његова понуда ће бити 45 \$/MWh. Исто тако, уколико је на местима где не постоји довољна количина произведене енергије, његова понуда ће се рачунати као 35 \$/MWh. Овај вид фаворизује рурална подручја [143].

Уопштено гледано током последњих пет година, већина инвестиција у чисту енергију усмерене су ка развијеним земљама, док је само 27 земаља у развоју (укључујући Кину) привукло више од 2 милијарде долара. Међу 15 развијених и тржишта у развоју која су завршила на врху *Climatescope* ранг-листе, просечна укупна инвестиција у последњих пет година износила је 24 милијарде долара. С друге стране, 15 тржишта која су завршила при дну ранг-листе имала су просечну инвестицију од

291 милион долара. Упоредивање рејтинга политика земаља са нивоима привучених инвестиција открива кључну улогу коју политике могу имати у мобилизацији капитала. Недостатак инвестиција земаља које су у развоју директно су повезане са одсуством окружења које подстиче привлачење таквих инвестиција. Имати ефикасне политике и зрело, транспарентно тржиште електричне енергије отворено за приватне инвестиције, на пример, чини тржиште привлачнијим за инвестиције у чисту енергију [120].

На слици 5-19 су приказане земље које имају донесене регулативе ради привлачења инвестиција у чисту енергију. Као најбоља регулатива показао се систем аукција. Обрнуте аукције за уговоре о испоруци чисте енергије и тарифе за подстицање су се показале као две од ефикаснијих политика за подстицање изградње обновљивих извора енергије. Како стоји у извештају до 2023. године, од 110 испитаних земаља у развоју, њих 63 има механизме аукција, док 32 користе тарифе за подстицање. Двадесет земаља има обе политике. У Јужној Америци, аукције су најпопуларнији механизам за омогућавање развоја обновљивих извора енергије; оне су присутне у више од пола тржишта. Усвајање оваквих политика помогло је подршци инвестицијама у чисту енергију и развоју капацитета широм континента [120].



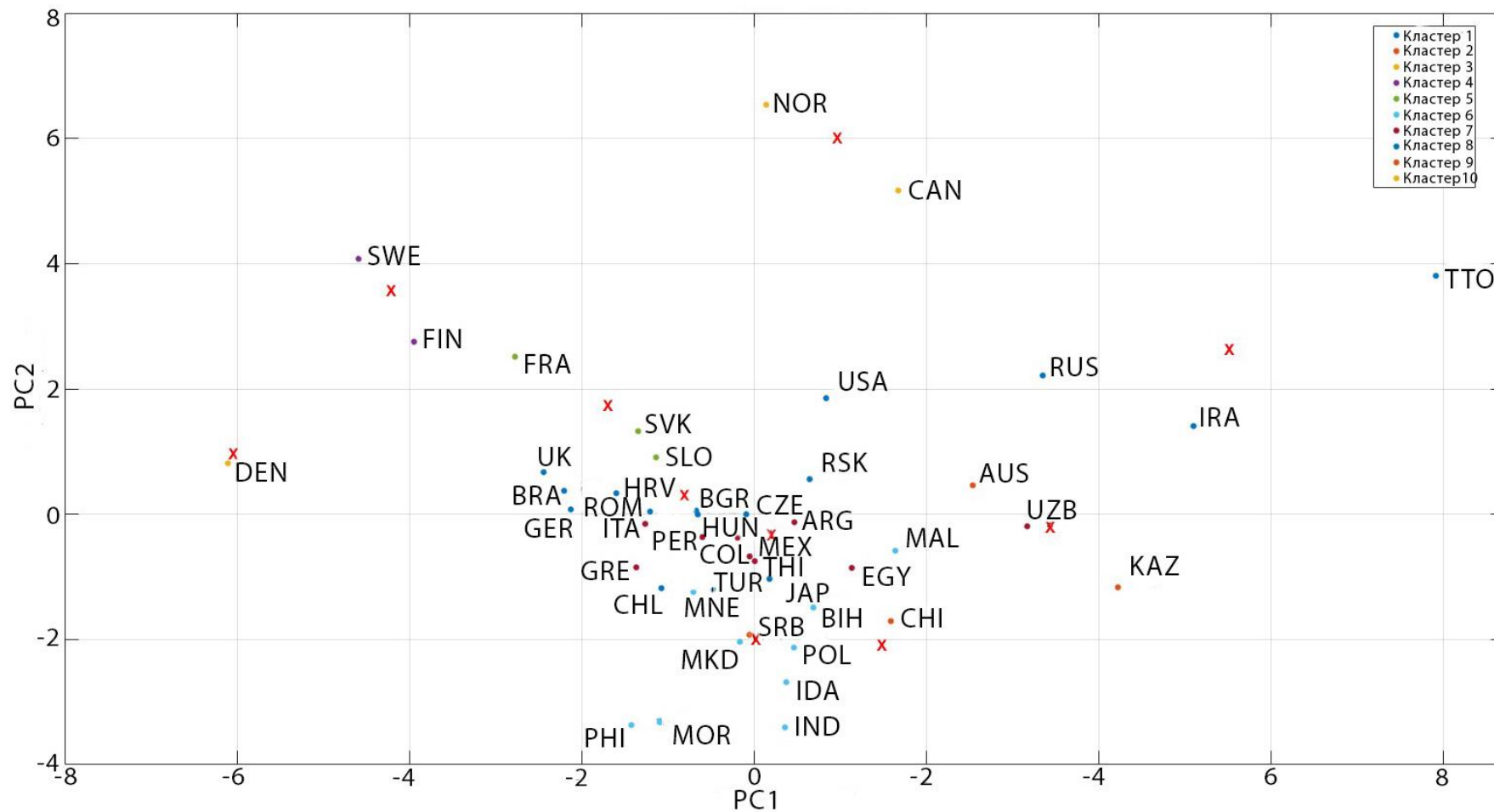
Слика 5-19 Земље које имају регулативе за привлачење инвестиција у различитим државама

Поред система аукција, пореске олакшице представљају још једну важну меру, пре свега у земљама у развоју. Ово се остварује кроз смањење или изузеће пореских обавеза. Најчешћи тип пореске олакшице у земљама у развоју, које је истраживао *Climatescope*, је увозна пореска стопа. Други тип је снижење или ослобађање од пореза.

5.9 АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА К-СРЕДЊЕ ВРЕДНОСТИ

За проверу резултата коришћене су статистичке методе: К-средње вредности, Хијерархијско кластеровање и Анализа главних компоненти. За све методе коришћен је програмски пакет MATLAB. Као и код СОМ, сви параметри су стандардизовани на идентичан начин како поједини индикатори

не би преовладали. На слици 5-20 приказани су резултати добијени помоћу методе K-средњих вредности. Црвеним симболом „X“ су означене централне тачке (енг. *Centroids*). Неурони који су најближи једном од централних тачака припадају датом кластеру. Метода K-средњих вредности захтева унапред дефинисан број кластера. Приликом анализе коришћено је 8 централних тачака. Упоредјујући слике 5-17 и 5-20 могу се уочити сличности. Метода K-средњих вредности групише неуроне, међутим не могу се уочити раздаљине између појединих неурона. Мана ове методе је што фиксиран број кластера може ограничити прецизност. Треба нагласити да укупна објашњена варијанса преко прве главне компоненте износи 20,41% и друге главне компоненте 17,57%, што укупно износи 36,75%. Упоредјујући добијене резултате са сликом 5-17, могу се потврдити да земље које су чиниле прву опсервацију су распоређене на горњој страни дијаграма. То су САД, Русија, Норвешка и Канада. У поставци када има 10 централних тачака, оне претежно чине одвојене кластере, што потврђује слика 5-6 (а). Другу опсервацију су чиниле земље које су чиниле Француска, Словенија, Шведска, Словачка, Бугарска, Мађарска и Чешка. Анализом слике 5-20 те земље се сада налазе на горњој левој страни. Треба приметити да земље које су позициониране на врху COM мапе, односно са високим степеном енергетске одрживости се налазе на рубу леве стране. Француска, Шведска и Данска припадају посебним кластерима са обзиром да су на различите начине постигле тај степен одрживости. Остатак земаља се претежно налази у средини. Ипак, земље са најмањим степеном енергетске одрживости су позициониране на дну слике 5-20. То су земље попут Србије, Кине, Босне и Херцеговине које су се налазиле на доњем делу тополошке мапе (слика 5-6 (б)). Треба приметити да су Мароко и Филипини позиционирани близу земаља са најмањим степеном одрживости али да ипак припадају земљама у средини.



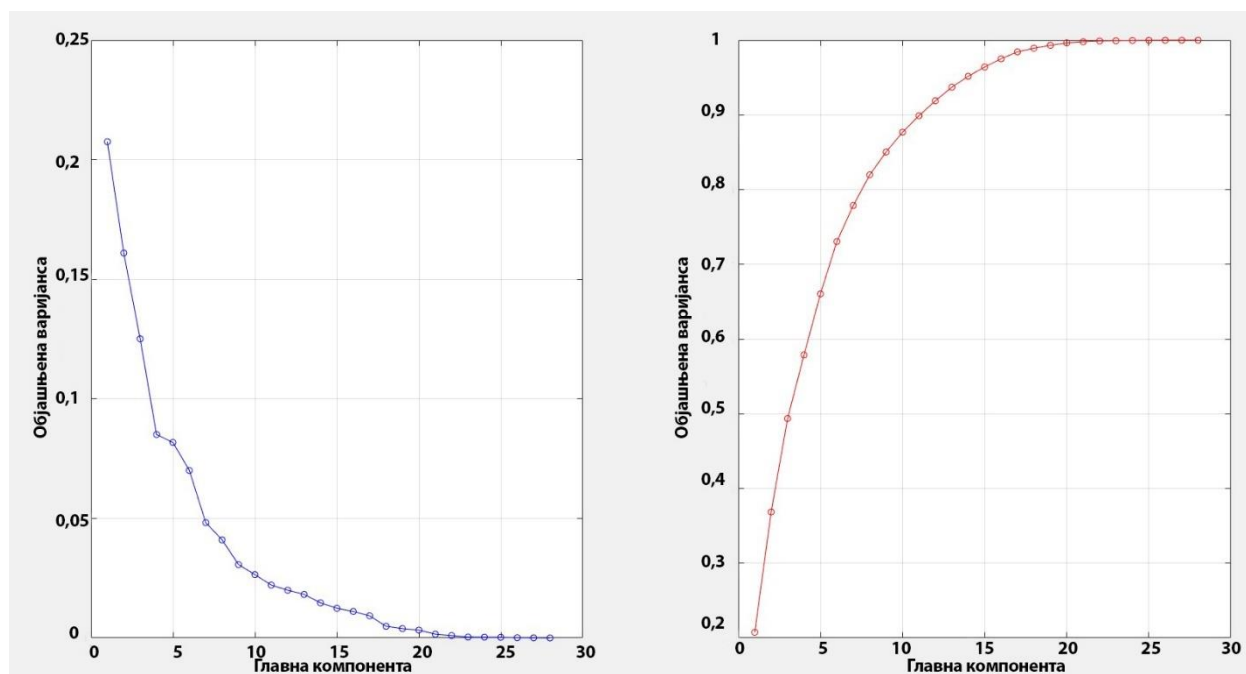
Слика 5-20 Приказ резултата мейодом К-средњих вредности

За бољу анализу слике 5-20 и разлога позиције одређених земаља коришћена је PCA анализа. Корелациона матрица је приказана у табели 5-10. Матрица корелације пружа информације о међусобном односу индикаторима. Вредности у корелацијоној у матрици приказују зависност између променљивих, у овом случају индикатора. Вредности у матрици представљају коефицијенте корелације између две променљиве, варирајући од -1 до 1. Матрица корелације помаже визуелизацији односа између променљивих. Коефицијент корелације близу 1 указује на снажну позитивну корелацију, што значи да када једна променљива расте, друга такође расте. Обрнуто, коефицијенти који имају вредности близу -1 указују на значајну негативну корелацију, што значи да како једна променљива расте, друга тежи да падне. Коефицијенти близу нуле сугеришу одсуство линеарног односа између променљивих.

Сопствене вредности, индивидуални и кумулативни проценти варијансе приказани су на слици 5-21. Прве две главне компоненте одржавају приближно 38% варијансе (слика 5-21 (δ)). После четврте главне компоненте, кумулативни проценат износи 49%. Овај податак указује да се са прве четири главне компоненте значајан део података може ефикасно протумачити. У суштини, кумулативни проценти показују колико је ефикасно смањење димензионалности и визуелизација података. Подаци добијених главних компонената су приказани у табели 5-11. У табели су означене позитивне и негативне вредности које имају апсолутне вредности веће од 0,25. Апсолутне вредности ниже 0,25, не показују значајне корелације са главним компонентама.

Табела 5-10 Корелациона матрица

[illegible]



Слика 5-21 „Scree plot“ а) објашњена варијанса по појединачној главној компоненти б) кумулативна варијанса по главним компонентама

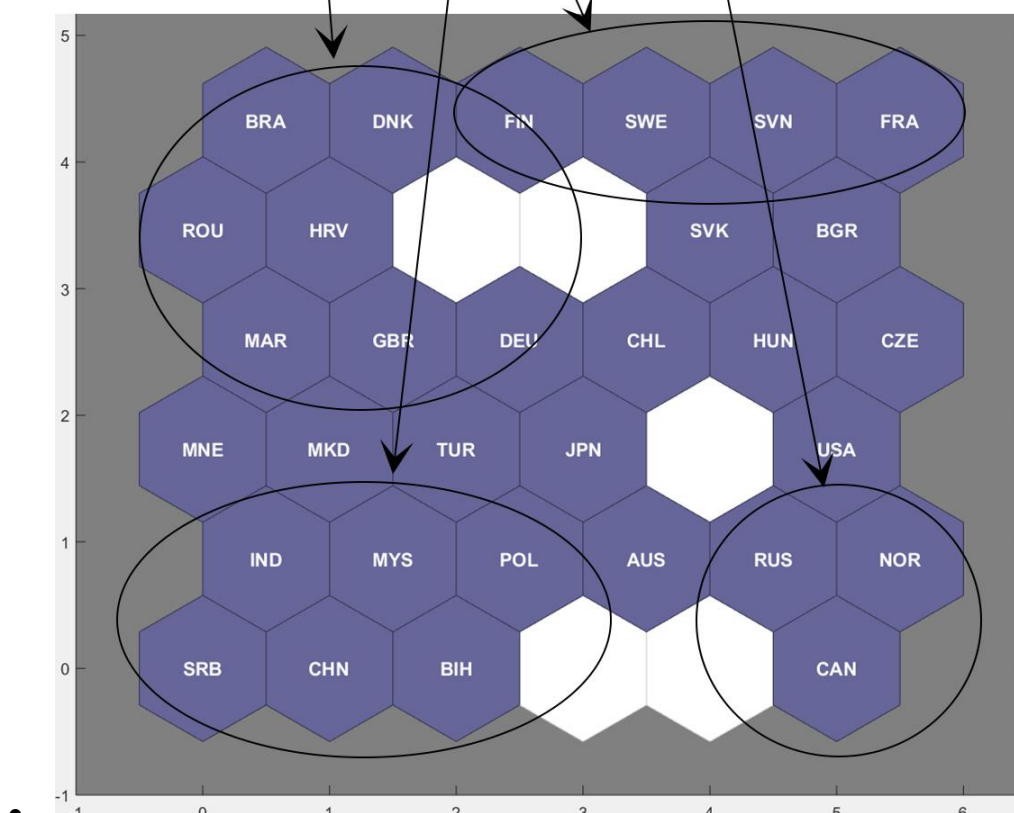
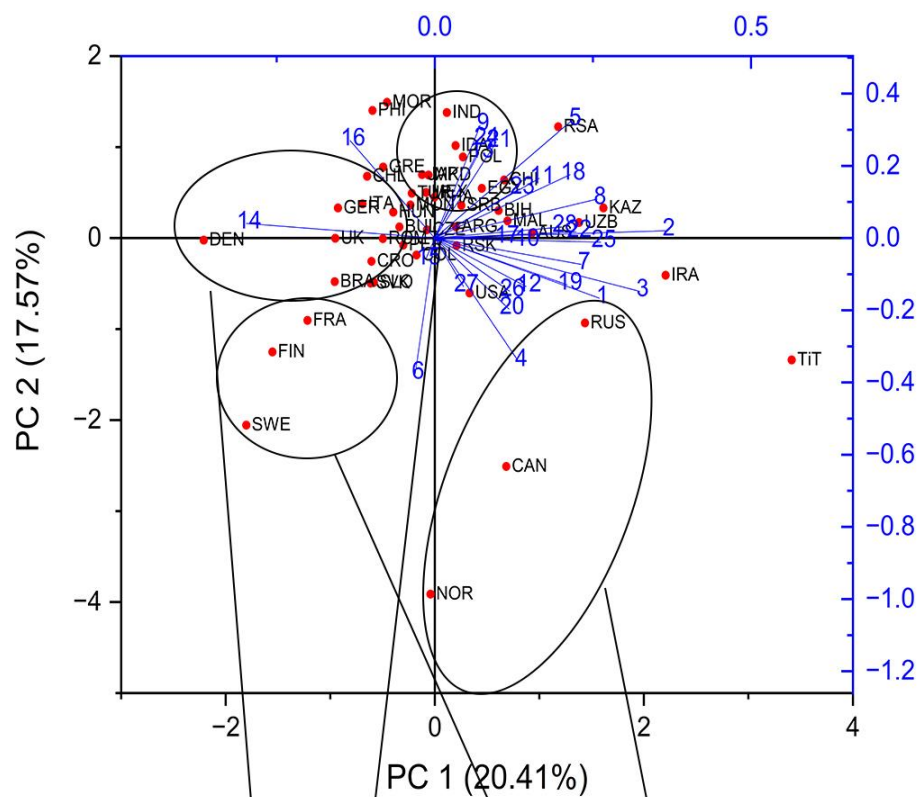
Табела 5-11 Приказ главних компоненти и енергетских индикатора

Индикатори	PC1	PC2	PC3	PC4
1	0,260	0,166	0,057	0,331
2	0,365	-0,021	0,080	0,119
3	0,324	0,147	0,002	0,152
4	0,132	0,341	0,032	0,267
5	0,217	-0,327	0,156	-0,021
6	-0,031	0,376	0,143	0,096
7	0,231	0,072	-0,380	0,026
8	0,257	-0,108	0,030	-0,123
9	0,072	-0,313	-0,141	0,291
10	0,141	0,008	-0,204	0,026
11	0,165	-0,166	-0,034	-0,277
12	0,144	0,134	0,134	-0,296
13	0,070	-0,237	0,416	0,054
14	-0,298	-0,041	-0,159	-0,066
15	-0,015	0,059	0,114	0,162
16	-0,134	-0,271	-0,090	0,173
17	0,110	-0,001	0,090	0,202
18	0,214	-0,176	-0,113	-0,090
19	0,209	0,129	-0,170	-0,093
20	0,117	0,197	0,079	-0,064

21	0,097	-0,266	0,397	0,016
22	0,224	-0,017	-0,414	0,004
23	0,134	-0,137	-0,010	-0,308
24	0,077	-0,273	-0,105	0,374
25	0,262	0,011	0,056	-0,108
26	0,118	0,147	0,142	-0,301
27	0,045	0,134	0,283	0,169
28	0,201	-0,031	0,001	-0,124

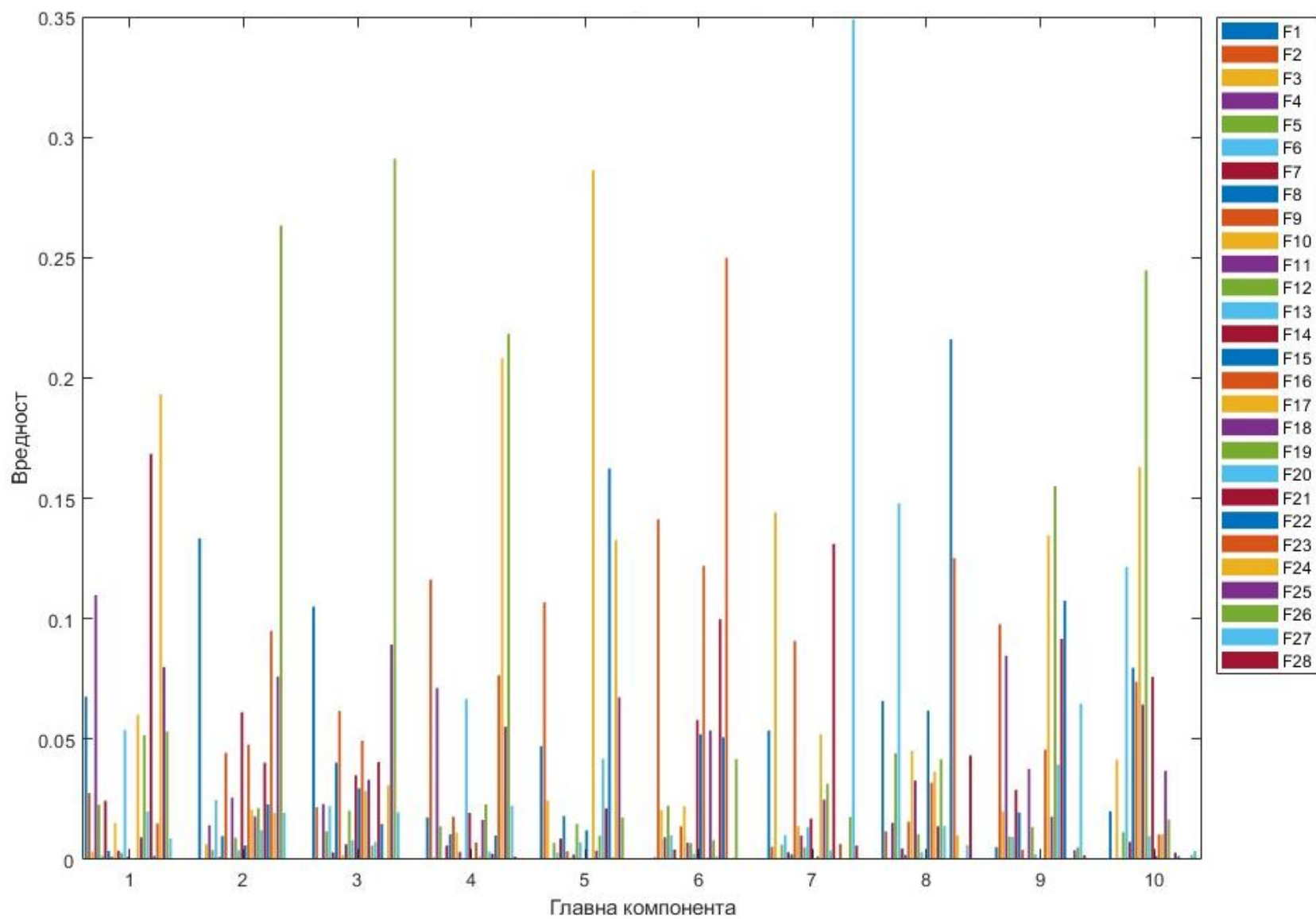
Сопствени вектори и позиције земаља су приказани на слици 5-22. Приликом анализе треба обратити пажњу на смер и величину сопственог вектора. Што је дужина вектора дужа, то је параметар утицајнији. Анализирајући слику 5-22 слику могу се закључити следећи резултати:

- Фактори који су везани за ниво емисија CO₂ налазе се десној страни и имају висок утицај и корелацију између себе. То се првенствено односи на ниво емисија CO₂ по глави становника и ниво емисија CO₂ по БДП.
- Фактори потрошње енергије првенствено примарне енергије су у високој корелацији са факторима емисија.
- Врло мали утицај има фактор примарне потрошње енергије који је у вези са коришћењем соларне енергије.
- Фактор који представља ефикасност система приликом претварања другог вида енергије у електричну има најмањи утицај. Ово се може објаснити сличностима у техничким карактеристикама електрана које се користе. Кључан разлог јесте да електране раде према Ранкиновом циклусу.
- Фактори попут интензитета CO₂ и потрошње електричне енергије су у високој корелацији. Ти фактори су на слици 5-22 означени бројевима 4 и 6.

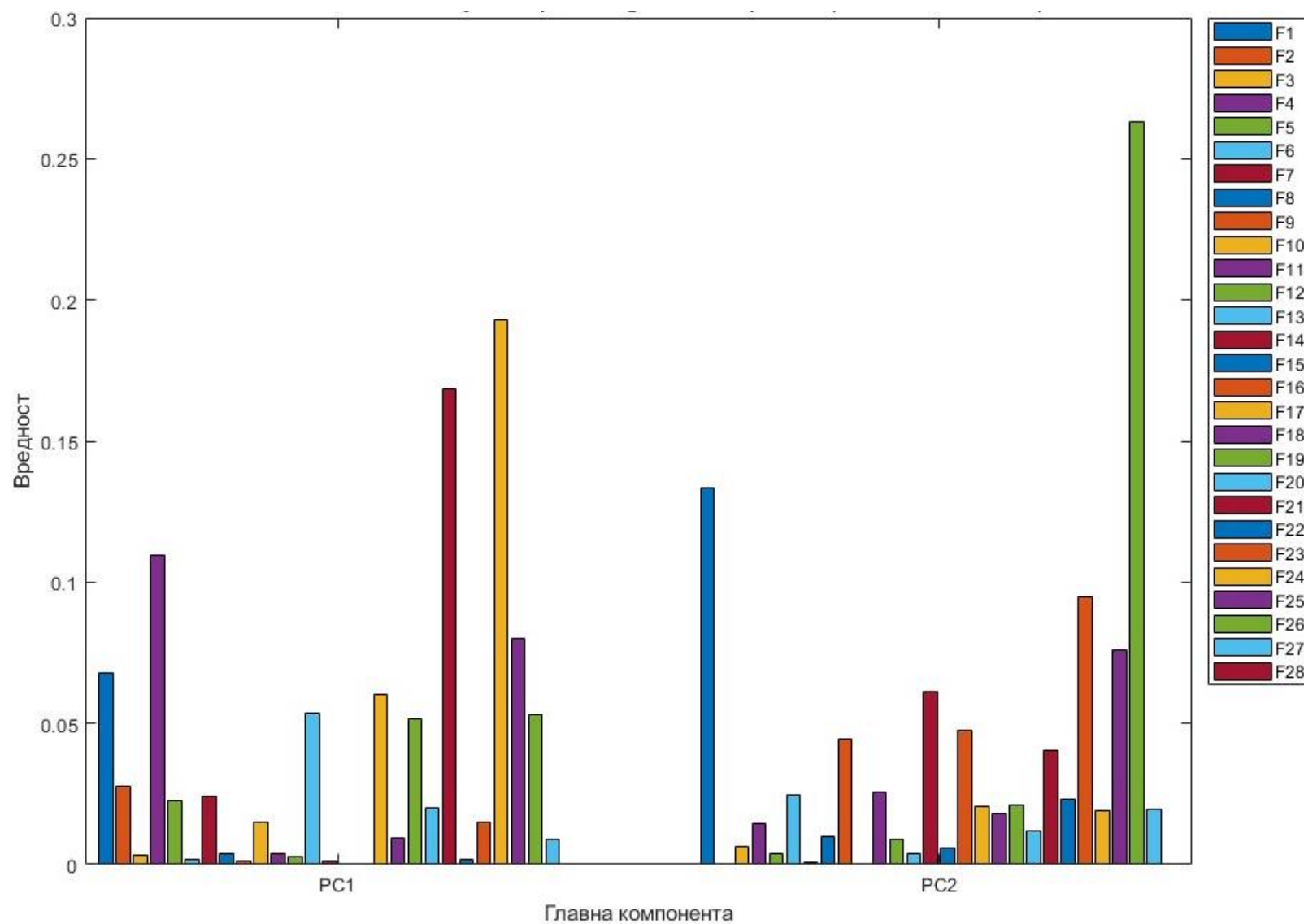


Слика 5-22 Би њлој – њозиције земаља и сојсйвени векџори љроменљивих

Унутар сваке главне компоненте степен објашњености и утицаја варијабле варира, сходно томе и позиција земље се може променити. На слици 5-23 приказане су варијабле и њихови утицаји у првих 10 главних компоненти које се добију приликом калкулације PCA. Са првих 10 главних компоненти укупна варијанса објашњености износи приближно 88% и веродостојно би приказала земље. Анализом слике 5-23 могу се закључити да највећи степен објашњености имају параметри F4 (примарна потрошња енергије по глави становника), F24 (100-удео хидро енергије у производњи електричне енергије), F21 (удео угља у производњи електричне енергије). Због утицаја параметра који мери примарну потрошњу енергије по глави становника Норвешка је позиционирана у самом дну. Други параметар који је утицао на тренутни распоред земаља јесте удео хидроенергије у енергетском миксу. Тај део се првенствено односи на земље које су позициониране близу Бразила. Ипак, резултате је могуће приказати само преко две компоненте. На слици 5-24 су приказане прве две главне компоненте и степен објашњености параметара унутар њих. Треба имати у виду да утицај објашњености параметара унутар главних компонената игра кључну улогу на позиције земаља. Анализом слике 5-24 три варијабле у првој главној компоненти имају вредност преко 0,1. То су примарна потрошња енергије по глави становника, удео угља у производњи електричне енергије и удео електричне енергије добијен из хидроенергије. У другој главној компоненти највећи утицај објашњености имају два параметра: удео електричне добијен из нафте и ниво емисије CO₂ по глави становника. Са обзиром да је укупна варијанса за прве две главне компоненте објашњена са 38% раздаљине између појединих земаља се теже могу одредити са прецизношћу.



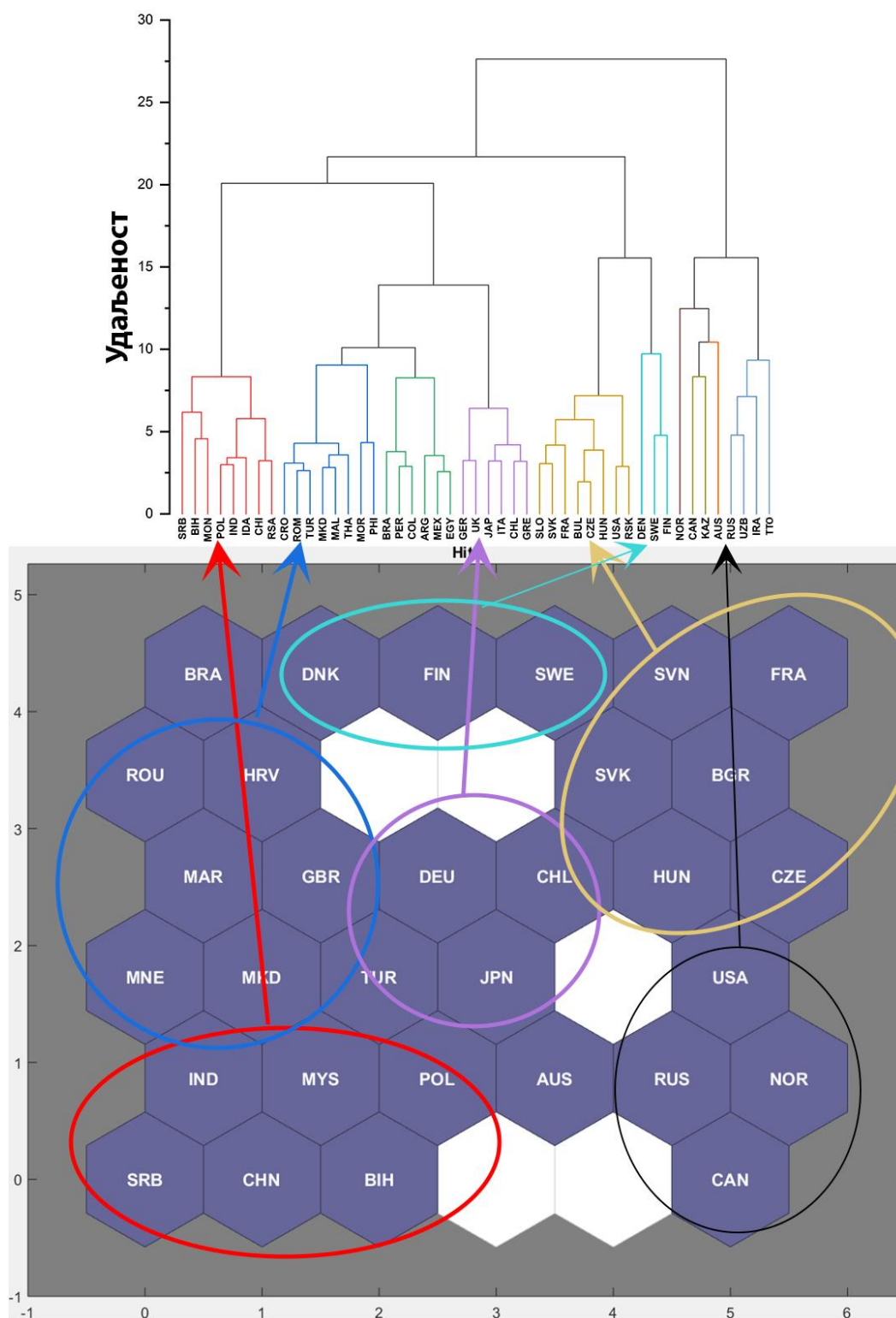
Слика 5-23 Објашњеност првих 10 варијабли у главним компонентама



5.10 АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА ХИЈЕРАРХИЈСКОГ КЛАСТЕРОВАЊА

За кластеровање коришћена је метода Вард. (енг. Ward). Она групише податке у кластере на основу њихових сличности или удаљености. У овом случају на основу удаљености. Вард метода се посебно фокусира на минимизацију варијације унутар кластера при формирању хијерархијске структуре. Ова метода приступа груписању као хијерархијском процесу где се прво формирају мањи кластери, а затим се спајају у веће. При сваком спајању, Вард метода бира пар кластера који ће резултовати најмањим повећањем укупне варијације унутар новог кластера. Вард метода је коришћена у комбинацији са еуклидском удаљеношћу како би се одредила сличност између података. Ова метода резултује хијерархијском структуром која се може представити дендрограмом, визуализацијом која приказује како су кластери формирани и како се спајају током процеса.

На слици 5-25 приказани су резултати добијени хијерархијским кластеровањем. Анализом добијених вредности могу се уочити поклапања са претходним методама. Ради лакше прегледности добијени кластери на дендограму су бојама означени као и на тополошкој мапи. Мана дендограма јесте да се преко њега не могу уочити земље са високим степеном енергетске одрживости што се може закључити на примеру Данске, Финске или Француске јер се налазе у средини. Утицај параметара који утичу на позиције земаља на дендограму је теже уочљиво, што се може закључити на примеру доњег дела тополошке мапе које је претежно условљено високим емисија CO₂. Као и код методе к-средње вредности морају се унапред специфицирати број кластера. Кластери на слици 5-25 су означени различитим бојама, а добијени резултати се подударају са осталим методама.



Слика 5-25 Хијерархијско класификовање земаља помоћу дендрограма

6. ЗАКЉУЧАК

Глобално загревање представља изазов за очување планете и њених екосистема. Повећање емисије гасова са ефектом стаклене баште, попут CO₂ или CH₄ директно утиче на промене климе. Тренутне последице глобалног загревања су већ присутне што указује на хитност и важност предузимања акција. Први знаци укључују екстремне временске услове, попут чешћих и интензивнијих топлотних таласа, поплава, суша и олуја. Ове екстремне временске непогоде проузрокују озбиљне последице по човечанство, пољопривреду и екосистеме, доводећи до губитка живота, уништавања имовине и нарушавања еколошке равнотеже. Када је реч о екосистемима, тренутне промене су већ видљиве које укључују топљење глечера и повећање нивоа мора. Такође, глобално загревање утиче на дистрибуцију падавина, чиме долази до промена у водостају река. Са смањењем падавина неке реке или пресушују или ниво водостаја буде изузетно низак. Све ово негативно утиче и на биодиверзитет.

Енергетска одрживост игра битну улогу у смањењу негативних утицаја на животну средину. Значај енергетске одрживости се преваходно огледа у оквиру Енергетске трилеме, односно њеним кључним аспектима. Ти аспекти укључују потребу да се одржи баланс између енергетске сигурности, приступачности и одрживости. Енергетска транзиција ка одрживом енергетском систему постаје императив за све земље. Коришћење обновљивих извора енергије, попут соларне, ветропаркова и других, постаје неопходно за смањење зависности од фосилних горива и смањење емисије штетних гасова. Поред тога, технологије енергетске ефикасности доприносе одрживости путем паметног коришћења ресурса и смањења енергетске потрошње.

Енергетска одрживост се не може применити по шаблону за све земље. Уместо тога, може се постићи на више начина, укључујући соларну енергију, енергију ветра и нуклеарну енергију. Сваки извор енергије има своје јединствене предности и изазове, али сви играју улогу у промовисању одрживе енергетске будућности, смањујући ослањање на ограничене ресурсе и минимизирајући утицај производње енергије на животну средину. Важно је напоменути да је енергетска одрживост сложено и комплексно питање. Да би се у потпуности реализовала, потребна је комбинација технолошког напретка, промена политике и културних промена.

Узимајући у обзир глобално загревање, енергетски индикатори имају значајну улогу у процесу праћења напретка једне земље ка жељеном циљу. Ти циљеви су најчешће садржани у међународним споразумима попут Кјото протокола, Париског споразума или Европског зеленог договора. Такође, свака земља унутар својих могућности доноси одлуке, законе и регулативе у вези са енергетском транзицијом.

Земље са сопственим ресурсима или богатијом економијом су у предности и могу да инвестирају у напредне технологије, док се земље у развоју могу фокусирати на постепено побољшање енергетске ефикасности и диверсификацију енергетског микса. Земљама у развоју предстоји период енергетске транзиције и сам БДП земље не мора нужно да буде пресудан ка одрживијем енергетском развоју. Земље које су донеле одређене регулативе које подстичу инвестиције у обновљиве изворе енергије успеле су да привуку и стимулишу инвеститоре и направе значајан напредак ка енергетској одрживости.

Као што је речено, регулативе могу да обезбеде значајне инвестиције у сектор ОИЕ. Један такав пример су феед ин тарифе (енг. *feed in tariffs*) које су претежно у Европским земљама омогућиле приватном

сектору инвестиције, али и другим земљама које су их увеле. Други пример је повећање конкурентности и отварању тржишта за инвестирање.

У оквиру докторске дисертације примењена је Кохоненова самоорганизијућа мапа, како би се проблем са 31 димензијом могао свести на 2д. На изабраној матрици 6 x 6 мапирана је прво 31 земља, а потом је додато још 15. Свака од изабраних земаља је имала 28 енергетских индикатора. Енергетски индикатори су одабрани како би најбоље презентовали енергетску одрживост једне земље. Претежно индикатори који су коришћени у анализи односе се на утицај: емисија CO_2 у односу на популацију или БДП, фосилних горива или обновљивих извора енергије у енергетском миксу, примарне потрошње енергије и доступних ресурса у наредних 50 година. Сви индикатори су били специфицирани како ниједан индикатор не би имао преовладавајући утицај. Индикатори који су сматрани за одрживим, су били модификовани тако што је одузета вредност 100 од њихових тренутних вредности.

Добијени резултати су приказани на тополошкој мапи и мапи која приказује раздаљине између неурона. Постоји неколико места на тополошкој мапи где су поједини неурони позиционирани једни поред другог, али је велика разлика између њих. Са друге стране поједини неурони су позиционирани једни поред другог који су слични. На основу тополошке мапе урађена је анализа и уочене су опсервације и формирани су кластери. Позиције земаља на тополошкој мапи приказују одређен ниво постигнуте енергетске одрживости. На основу анализе тополошке мапе без проширења са додатних 15 земаља уочено је да се земље, које су позициониране у доњем левом углу, ослањају на коришћење фосилних горива и имају висок ниво емисија, али не и највиши у односу на остале. Ту опсервацију чине Србија, Кина, Босна и Херцеговина и Индија. Заједничко за све земље јесте да је удео угља у добијању електричне енергије веома висок и износи преко 60%. Са друге стране заједничко им је да поседују врло мали удео соларне енергије и енергије ветра у енергетском миксу. Треба напоменути да ове земље имају угљак као доступан сопствени ресурс. Када је реч о самим емисијама CO_2 земље које су позициониране у доњем десном углу имају такође висок ниво емисија CO_2 по глави становника или БДП. Највише емисије имају земље попут Русије, САД, Норвешке и Канаде. Разлог због чега ове земље нису позициониране близу Србије или Кине јесте да наведене земље нису велики произвођачи нафтних деривата што утиче на ниво саме емисије CO_2 . Енергетски микс ових земаља знатно је разноврснији у односу на претходно поменуте земље. Анализом мапе на којој су приказане раздаљине између неурона може се уочити да је Норвешка позиционирана близу САД и Русије, али да је раздаљина између њих велика. Разлог због чега су ове земље позициониране близу јесте висока потрошња електричне енергије по глави становника, уједно и висока потрошња енергије по глави становника. Код овог индикатора постоје разлике јер Норвешка има велики степен електрификације. На овај фактор превасходно утиче коришћење електричне енергије за грејање и коришћење електричних аутомобила. Такође, треба Норвешка као велики произвођач и прерађивач нафтних деривата има висок ниво CO_2 , али разлика је у енергетском миксу где је удео хидроенергије веома висок.

Транзиција од доњег дела тополошке мапе ка горњем води ка земљама које имају виши ниво енергетске одрживости. Средишњи део мапе заузимају земље попут Велике Британије, Немачке, Турске, Јапана и Чилеа. Претежно ове земље имају диверсификован енергетски микс. Разлог што нису позициониране у самом врху мапе јесте да услед те диверсификације и даље се једним делом ослањају на фосилна горива што за последицу има вишу емисију у односу на енергетски одрживе земље као што су Бразил, Данска, Финска, Шведска или Француска.

Енергетска одрживост се може постићи на различите начине. Данска због својих доступних ресурса у виду енергије ветра је своју политику конципирала на томе. Удео електричне енергије добијен из енергије ветра износи 55%, уз то, удео биоенергије износи 23%. Шведска и Француска су такође постигле висок ниво енергетске одрживости тако што су се ослониле на нуклеарну енергију. Пре свега, Француска која 70% електричне енергије добија из нуклеарне енергије и на тај начин нема емисију CO₂. Када је реч о Шведској, поред Норвешке оне су једне од првих које су увеле порез на емисију CO₂ при чему су додатно убрзале процес смањења емисија.

Анализом добијених резултата такође је уочено да утицај регулатива које доносе земље Европске уније имају велики значај. Ово је потврђено чињеницом да су све земље ЕУ високо позициониране и да је ту још само Бразил у првобитној анализи пре проширења. Поред регулатива и економски фактори имају значајну улогу са обзиром да имају висок ниво БДП. Доступност технологије и економско стање значајно олакшавају земљи да изведе транзицију ка одрживом енергетском развоју. Ипак, из анализе се може закључити да земље са мањим БДП-ом, такође могу постићи висок ниво енергетске одрживости попут Бразила. Разлог тако добре позиционираниости Бразила се огледа да готово 70% добијене електричне енергије долази из хидро-потенцијала. Такође, поред хидроенергије значајна су улагања у соларне системе и енергију ветра. Бразил као и Чиле су отворили тржиште ка приватном сектору и на тај начин успеле да привуку инвеститоре. Треба напоменути да земље Јужне Америке имају доступне ресурсе у виду сунчевог зрачења и енергије ветра, превасходно *off-shore*. Чиле је позициониран нешто слабије у односу на Бразил, али и даље има висок степен енергетске одрживости. За разлику од Бразила у Чилеу су у току пројекти соларне енергије и енергије ветра. Према подацима *Bloomberga*, Чиле је најатрактивнија земља за инвеститоре у Јужној Америци, а то су постигли на основу јачег утицаја владе, коришћењем сопствених ресурса и међународних споразума са инвеститорима. Висок удео хидроенергије у добијању електричне енергије поред својих предности има и ману. Мана код Бразила јесте да су суше знатно пореметиле производњу електричне енергије што је узроковало увоз електричне енергије [145].

Треба напоменути да земље попут Кине, Индије и САД предњаче што се тиче укупних улагања у ОИЕ. Када је у питању глобално инвестирање у капацитет обновљиве енергије од 2010. до 2019. године, Кина је у периоду од 2010. до 2019. године инвестирала 758 милијарди долара, САД 356 милијарди долара, Јапан 202 милијарде долара, Немачка 179 милијарди долара и Велика Британија 122 милијарде долара [146].

Други део доктората се односио на мапирање додатних земаља које имају сличан ниво БДП-а као и Србија. Те земље су на основу њихових енергетских индикатора и координата неурона позициониране на постојећу тополошку мапу. На месту где је позициониран Бразил налази се и Колумбија. Колумбија је свој степен тренутне енергетске одрживости постигла улагањем у ОИЕ, превасходно у хидро-потенцијале, а новчана средства је остварила помоћу извоза сопственог угља. Земље које су још високо позициониране су Перу, Египат и Аргентина. Један од узрока због чега је Перу позициониран нешто ниже у односу на Колумбију и Бразил јесте енергетски микс који се поред хидро-потенцијала ослања и на природни гас. Египат се такође налази на месту где и Перу. У поређењу са Перуом, Египат је своју транзицију покренуо од 2014. године када је кренуо у проширење енергетског микса тако што су приватне компаније инвестирале у енергетска постројења.

У пример добре праксе може се сврстати Мексико који је своја тренутна улагања остварио кроз иновативни модел феед ин тарифе који ставља акценат на рурална подручја. У периоду од 2015. до

2020. године удео угља у производњи електричне енергије се смањио за 7%, а за исто толико су порасли удели из ОИЕ [147]. Ипак са обзиром да природни гас и даље доминантан извор у енергетском миксу, позиција Мексика је у средини, близу Ирана, Тринидада и Тобага, Аустралије и Русије. Други пример добре праксе јест земља која има низак БДП попут Марока, а која је позиционирана близу Румуније и Хрватске. Мароко је тренутно на добром путу транзиције, са обзиром да поседује природне ресурсе у виду сунчевог зрачења које по подацима Солар атласа износе просечно 2489 kWh/m². Начин инвестиција у ОИЕ је остварен преко кредита међународних банака.

Пример лоше праксе се може видети код Ирана и Тринидада и Тобага. Обе земље поседују природне ресурсе, Иран нафту и Тринидад и Тобаго природни гас. Међутим, управо због коришћења сопствених ресурса цена електричне енергије је ниска, а одсуством такве регулативе, компаније немају мотивацију да улажу у ОИЕ. Према подацима Солар атласа сунчево зрачење у Ирану је нешто ниже у односу на Мароко.

Додатна дискусија око добијених резултата као и провера урађена је преко анализе главних компоненти. На основу формирање корелационе матрице изведени су закључци који од параметара су у корелацији, који су у обрнутој корелацији и који не утичу један на другог. Тако на пример фактори попут CO₂ по глави становника, CO₂ по БДП-у и фактори који утичу на потрошњу примарне енергије у односу БДП-у или по становнику су претежно позиционирани у доњем делу мапе. Биплот који приказује сопствене векторе и позиције земаља за прве две главне компоненте износи приближно 37%. Анализом Scree-plota уочено је да се варијанса од приближно 90% постиже након издвајања првих 10 главних компоненти. Када се анализира Биплот, најутицајнија варијабла у односу на наведене је примарна потрошња енергије по БДП-у. Утицај емисије CO₂ у односу на потрошњу енергије је у високој корелацији са уделом угља у енергетском миксу. Треба напоменути да фактори попут самодовољности, потрошње електричне енергије су у обрнутој корелацији. Обрнута корелација је уочена код параметра CO₂/БДП у односу на удео примарне потрошње енергије од нафте. Такође, обрнута корелација је уочена и код примарне потрошње енергије по глави становника и самодовољности. Ова корелација се може протумачити да земље са сопственим ресурсима имају неефикаснију потрошњу.

Предност примене PCA уочено је да поједини параметри попут удела угља у производњи електричне енергије и удела угља у примарној потрошњи енергије, удела природног гаса у производњи електричне енергије и удела природног гаса у примарној потрошњи енергије, удела нафте у производњи електричне енергије и удела нафте у примарној потрошњи енергије као и удела ОИЕ у производњи електричне енергије и удела ОИЕ у примарној потрошњи енергије су у високој корелацији и према томе могла би се изоставити једна од две варијабле, а да се при томе добије висока тачност.

Поређење кластера је урађено преко методе K-средњих вредности. За разлику од COM, за методу K-средњих вредности се мора унапред дефинисати број кластера. У раду је било дефинисано 10 кластера. Координате земаља су биле одређене на основу PCA анализе, а припадност кластеру је била дефинисана аутоматски да центар кластера обухвати што више земаља.

Предност коришћења COM у анализи у односу на K-средње вредности јесте тополошка мапа, односно визуелни приказ. Према анализи слике где су земље позициониране на основу K-средњих вредности теже се могу уочити места са нижом енергетском одрживости. Тај пример се уочио на позицији Србије, која је позиционирана близу Јапана или Турске. Други пример јесте позиција Марока. Који свакако

спада у групу кластера где су Турска и Јапан, међутим позиција на биплоту може навести на погрешан закључак.

Генерално, визуелно уочавање удаљености преко К-средњих вредности и одређивање земаља које имају висок степен одрживости је теже у односу на СОМ. Ово се не односи на земље који имају највиши степен одрживости попут Данске или Шведске јер се оне издвајају, већ на земље попут Немачке, Велике Британије, Чилеа, Словачке итд. Други разлог због чега СОМ има предност у односу на К-средње вредности јесте мањи број предефинисаних кластера може створити погрешну слику о земљама чије су раздаљине мале, односно велике.

Земље које су тренутно у транзицији могу на основу примера земаља које имају сличну економску ситуацију или доступне ресурсе да формирају своју политику и регулативе. На ту одлуку свакако утичу фактори енергетске трилеме као што су снабдевање енергијом, сигурност и приступачност.

Додатна провера је извршена преко методе хијерархијског кластеровања, где су уочени кластери који се поклапају са СОМ. У односу на К-средње вредности, хијерархијско кластеровање омогућава лакшу визуелизацију кластера и дистанци између њих. Ипак, мана дендограма јесте уочавање позиција са високом одрживошћу. Земље су поређане и кластероване на основу блискости али није јасно која земља предњачи или заостаје. Што се показало на примеру Данске, Шведске и Финске, као и на примеру Бразила и Колумбије.

Предност СОМ у односу на претходне две наведене методе јесте у томе да се преко СОМ методе могу лако упоредити земље и јасно прочитати циљана места за земље које су у транзицији у ком смеру могу да се развијају. Већина земаља има различит степен тренутне одрживости.

- Доступни ресурси обновљивих извора енергије нису пресудан фактор да би се једна земља могла сматрати да ће инвестирати у исте, што се види на примеру Ирана или Тринидад и Тобага.
- Економска ситуација, односно низак БДП није пресудан фактор да би једна земља остварила виши степен енергетске ефикасности, што се може видети на примеру Марока.
- Земља са доступним ресурсима укључујући фосилна горива и ОИЕ могу остварити висок ниво енергетске одрживости и обезбедити новчана средства за инвестиције. Што се може видети на примеру Колумбије која извози своје енергенте у виду нафте и угља.
- Земље са доступним ресурсима и регулисаним тржиштем могу остварити висок ниво енергетске одрживости. Тај пример је потврђен на примеру Бразила и Чилеа.
- Начин да се привуку стране инвестиције у ОИЕ се може остварити и ако земља нема највиши степен доступних ресурса обновљивих извора енергије, првенствено соларне енергије или енергије ветра. Тај пример је потврђен на основу регулативе у Мексику.
- Добром енергетском политиком, регулативом, отвореним тржиштем за стране инвестиције могу се привући инвестиције и постићи висок степен енергетске одрживости.
- Помоћу само феед ин тарифа не остварује се потпуни прогрес ка привлачењу инвестиција, што је потврђено на основу биланса укупних инвестиција у ОИЕ у односу на земље које су примениле аукцијске цене.

На основу добијених резултата потврђена је хипотеза да се са применом Кохоненоих мапа на модел енергетске одрживости и мапирање може упоредити степен енергетске одрживости једне у односу на другу. То је потврђено приказом на тополошкој мапи где су се јасно уочили кластери земаља и позиције

са високим, односно ниским степеном енергетске одрживости. Оптималан пут једне земље је одређен првенствено на основу доступних ресурса, регулативе и економије.

7. РЕФЕРЕНЦЕ

- [1] W. E. Council, „World Energy Trilemma Index,” 2022. <https://www.worldenergy.org/transition-toolkit/world-energy-trilemma-index>. [Последњи приступ 6. 12. 2023.].
- [2] A. Shipley, „Hurricane Ian ranks as the costliest natural disaster in USA during 2022,” FOX4 Southwest Florida, 12. 1. 2023.. <https://www.fox4now.com/news/local-news/hurricane-ian-ranks-as-the-costliest-natural-disaster-in-usa-during-2022>. [Последњи приступ 18. 3. 2023.].
- [3] A. Tandon, „Climate change made 2022’s northern-hemisphere droughts ‘at least 20 times’ more likely,” CarbonBrief, 5. 10. 2022.. <https://www.carbonbrief.org/climate-change-made-2022s-northern-hemisphere-droughts-at-least-20-times-more-likely/>. [Последњи приступ 18. 3. 2023.].
- [4] „Drought in Europe: Shipping threatened in Germany as Rhine water levels continue to drop,” Euronews, 11. 8. 2022.. <https://www.euronews.com/2022/08/10/germany-drought-river-rhine-water-levels-could-fall-to-critical-low>. [Последњи приступ 19. 3. 2023.].
- [5] N. Salahieh, „Death toll from Hurricane Ian surpasses 100 as the search for survivors continues in Florida,” CNN, 3. 10. 2022.. <https://www.theguardian.com/world/2022/aug/19/hunger-stones-wrecks-and-bones-europe-drought-brings-past-to-surface>. [Последњи приступ 18. 3. 2023.].
- [6] „Millions in Bangladesh impacted by one of the worst floodings ever seen,” 28. 6. 2022.. <https://www.ifrc.org/press-release/millions-bangladesh-impacted-one-worst-floodings-ever-seen>. [Последњи приступ 18. 3. 2023.].
- [7] N. Salahieh и D. Andone, „Death toll from Hurricane Ian surpasses 100 as the search for survivors continues in Florida,” CNN, 3. 10. 2022.. <https://edition.cnn.com/2022/10/03/us/hurricane-ian-florida-recovery-monday/index.html>. [Последњи приступ 19. 3. 2023.].
- [8] L. James, „‘If you see me, cry’: Drought reveals ‘hunger stones’ in River Elbe historically used to forecast famine,” Yahoo News, 16. 8. 2022.. <https://news.yahoo.com/see-cry-drought-reveals-hunger-150038537.html>. [Последњи приступ 19. 3. 2023.].
- [9] „Bangladesh floods: Heavy rains claim 108 lives,” The Statesman, 4. 8. 2019.. <https://www.thestatesman.com/world/bangladesh-floods-heavy-rains-claim-108-lives-1502785414.html>. [Последњи приступ 19. 3. 2023.].
- [10] „10 Big Findings from the 2023 IPCC Report on Climate Change,” World Resources Institute, 20. 3. 2023.. <https://www.wri.org/insights/2023-ipcc-ar6-synthesis-report-climate-change-findings>. [Последњи приступ 2024. 1. 25.].
- [11] „Climate Change Evidence & Causes,” https://royalsociety.org/~media/royal_society_content/policy/projects/climate-evidence-causes/climate-change-evidence-causes.pdf, 2020.

- [12] „Trends in Atmospheric Carbon Dioxide,” Global Monitoring Laboratory, <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/>.
- [13] M. A. Rosen, „Design and Performance Optimization of Renewable Energy Systems,” у *Chapter 2 - Renewable energy and energy sustainability*, M. A. R. amdouh El Haj Assad, Ур., 2021, pp. Pages 17-31.
- [14] T. Stanić, „ANALIZA GLAVNIH KOMPONENTI SA PRIMERIMA U STATISTIČKIM SOFTVERIMA R I STATISTICA,” 2019..
- [15] „Uvod u multivarijacionu analizu,” Multivarijaciona statistička analiza, <https://www.ef.uns.ac.rs/predmeti/mas/multivarijaciona-statisticka-analiza/Uvod-u-Multivarijacionu-analizu.pdf>.
- [16] Y.-S. Park, T.-S. Chon, M.-J. Bae, D.-H. Kim и S. Lek, „Multivariate Data Analysis by Means of Self-Organizing Maps,” *Ecological Informatics*, pp. 251-272, 2018.
- [17] I. Knežević, „ANALIZA DINAMIČKOG PONAŠANJA KUGLIČNIH LEŽAJA PRIMENOM VEŠTAČKIH NEURONSKIH MREŽA,” 2020.
- [18] A. Oken, „An Introduction To and Applications of Neural Networks,” 2017.
- [19] C. Schmidt, R. Sergio и A. Skupin, „Effects of Irregular Topology in Spherical Self-Organizing Maps,” *International Regional Science Review*, т. 34, бр. 2, pp. 215-229, 2017.
- [20] S. M. Guthikonda, „Kohonen Self-Organizing Maps,” Wittenberg University, 2005.
- [21] J. Marko, „Samoorganizujuće neurane mrežme za analizu glavnih komponenata,” Elektrotehnički fakultet Univerzitet u Beogradu, Beograd, 2006..
- [22] B. Rusmir, „PRILOG IDENTIFIKACIJI OŠTEĆENJA ZUPČASTIH PAROVA PRIMENOM TEHNIKA ANALIZE SIGNALA MEHANIČKIH VIBRACIJA,” FTN, Novi Sad, 2016..
- [23] V. J. Lobo, „Application of Self-Organizing Maps to the Maritime Environment,” *Information Fusion and Geographic Information Systems*, pp. 19-36, 2009.
- [24] „What Are Self Organizing Maps: Beginner’s Guide,” upGard, <https://www.upgrad.com/blog/what-are-self-organizing-maps-beginners-guide/>. [Последњи приступ 09. 01. 2024.].
- [25] H. M. Beale, M. T. Hagan и H. B. Demuth, „Deep Learning Toolbox User's Guide,” 2023. https://www.mathworks.com/help/pdf_doc/deeplearning/nnet_ug.pdf. [Последњи приступ 10. 1. 2023.].
- [26] J. Vesanto и E. Alhoniemi, „Clustering of the Self-Organizing Map,” *IEEE TRANSACTIONS ON NEURAL NETWORKS*, т. 11, бр. 3, pp. 586-600, 2000.

- [27] „Plot self-organizing map neighbor distances,” Mathworks, <https://www.mathworks.com/help/deeplearning/ref/plotsomnd.html>. [Последњи приступ 12. 1. 2024.].
- [28] U. Asan и S. Ercan, „An Introduction to Self-Organizing Maps,” у *Computational Intelligence Systems in Industrial Engineering*, 2012.
- [29] M. Mullai и P. Venkatesan, „Visualization of Breast Cancer Data by SOM Component Planes,” *International Journal of Science and Technology*, т. 3, 2014.
- [30] A. Ultsch, „U*-Matrix: a Tool to visualize Clusters in high dimensional Data.,” 2003.
- [31] J. M. L. Gorricha, „Visualization of Clusters in Geo-referenced Data Using Three-dimensional Self-Organizing Maps,” 2009.
- [32] S. Rey и A. Skupin, „EFFECTS OF IRREGULAR TOPOLOGY IN SPHERICAL SELF-ORGANIZING MAPS,” Faculty of San Diego State University, 2008.
- [33] O. Yilmaz, M. U. Torun и A. N. Akansu, „A Fast Derivation of Karhunen-Loeve Transform Kernel for First-Order Autoregressive Discrete Process,” *Performance Evaluation Review*, т. 41., бр. 4., 2014..
- [34] „Analiza glavnih komponenti,” <http://statlab.fon.bg.ac.rs/wp-content/uploads/2015/06/Analiza-glavnih-komponentata1.pdf>. [Последњи приступ 6. 9. 2023.].
- [35] Ž. N. Todorović, „MULTIVARIJANTNA ANALIZA U RAZDVAJANJIMA NEORGANSKIH JONA I JONA NISKOMOLEKULARNIH ORGANSKIH KISELINA JONSKOM HROMATOGRAFIJOM,” FAKULTET ZA FIZIČKU HEMIJU , Beograd, 2021..
- [36] „Analiza glavnih komponenti i primene,” https://www.pmf.ni.ac.rs/download/master/master_radovi_matematika/matematika_master_radovi/2018/2018-02-19-lb.pdf.
- [37] „Data Normalization/Standardization,” <https://courses.cs.washington.edu/courses/cse446/21wi/sections/04/section04.pdf>. [Последњи приступ 10. 1. 2024.].
- [38] „What is covariance?,” Minitab, <https://support.minitab.com/en-us/minitab/21/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/supporting-topics/correlation-and-covariance/what-is-covariance/>. [Последњи приступ 20. 1. 2024.].
- [39] „QuestionPro,” Correlation Matrix: What is it, How It Works with Examples, <https://www.questionpro.com/blog/correlation-matrix/>. [Последњи приступ 10. 1. 2024.].
- [40] „Methods and formulas for Principal Components Analysis,” Minitab, <https://support.minitab.com/en-us/minitab/21/help-and-how-to/statistical-modeling/multivariate/how-to/principal-components/methods-and-formulas/methods-and-formulas/>. [Последњи приступ 7. 1. 2024.].

- [41] T. Kohonen и M. Schroeder, *Self-Organizing Maps*, 2001.
- [42] R. Bajrić, „PRILOG IDENTIFIKACIJI OŠTEĆENJA ZUPČASTIH PAROVA PRIMENOM TEHNIKA ANALIZE SIGNALA MEHANIČKIH VIBRACIJA,“ 2016..
- [43] D. Pratiwi, „The Use of Self Organizing Map Method and Feature Selection in Image Database Classification System,“ *International Journal of Computer Science Issues*, т. 9, бр. 3, 2012.
- [44] P. Lamb, R. Bartlett, A. Robins и G. Kennedy, „Self-Organizing Maps as a Tool to Analyze Movement Variability,“ у *6th Int. J. Comput. Sci. Sport*, 2007.
- [45] J. Lee, J. Kim и W. Ko, „Day-Ahead Electric Load Forecasting for the Residential Building with a Small-Size Dataset Based on a Self-Organizing Map and a Stacking Ensemble Learning Method,“ *Appl. Sci.*, т. 6, п. 9, 2019.
- [46] N. A. Vlassis, G. Papakonstantinou и P. Tsanakas, „Robot Map Building by Kohonen’s Self-Organizing Neural Networks,“ у *Proc. 1st Mobinet Symposium*, Athens, 1997.
- [47] D. Miljković, „Brief Review of Self-Organizing Maps,“ 2017.
- [48] G. . J. Deboeck, „SELF-ORGANIZING MAPS FACILITATE KNOWLEDGE DISCOVERY IN FINANCE,“ *Neural Network World*, 2000..
- [49] Y. Mehmood, M. Abbas, X. Chen и T. Honkela, „Self-Organizing Maps of Nutrition, Lifestyle and Health Situation in the World,“ у *Advances in Self-Organizing Maps - 8th International Workshop*, Espoo, Finland, 2011.
- [50] P. Holubar, L. Zani, M. Hager, W. Froschl , Z. Radak и R. Braun, „Modeling of anaerobic digestion using self-organizing maps and artificial neural networks,“ *Water Science and Technology*, 2000.
- [51] G. A. Angulo-Saucedo, J. X. Leon-Medina, A. W. Pineda-Muñoz, M. A. Torres-Arredondo и D. A. Tibaduiza, „Damage Classification Using Supervised Self-Organizing Maps in Structural Health Monitoring,“ *Sensors*, т. 22, бр. 4, 2022.
- [52] M. I. Samson, D. A. Calvert и L. Trick, „Analysis of Distracted Driver Behaviour Using Self-Organizing Maps,“ у *IEEE 11th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC)*, 2021.
- [53] S. Lakshminarayanan, „Application of Self-Organizing Maps on Time Series Data for identifying interpretable Driving Manoeuvres,“ *European Transport Reserach Review*.
- [54] Haviluddin, A. Yunianta, A. H. Kridalaksana, Z. Arifin, B. Kresnapati, F. Rahman, A. F. O. Gaffar, H. Y. Irawan, M. Mulyo и A. Pranolo, „Modelling of Network Traffic Usage Using Self Organizing Maps Techniques,“ у *2nd International Conference on Science in Information Technology (ICSITech)*, 2016.
- [55] M. Ramadas, S. Ostermann и B. Tjaden , „Detecting Anomalous Network Traffic with Self-organizing Maps,“ 2003.

- [56] A. H. Azadnia, M. Z. Mat Saman, Y. K. Wong, P. Ghadimi и N. Zakuan, „Sustainable Supplier Selection Based on Self-organizing Map Neural network and Multi Criteria Decision Making approaches,” у *International Congress on Interdisciplinary Business and Social Science*, 2012.
- [57] M. M. Montana и M. A. Sanz-Bobi, „Anomaly Detection Indicators of a Wind Turbine Gearbox Based on Feature Extraction from its Vibration Performance,” у *EUROPEAN CONFERENCE OF THE PROGNOSTICS AND HEALTH MANAGEMENT SOCIETY*, 2018.
- [58] M. Du, L. B. Tjernberg, S. Ma, Q. He, L. Cheng и J. Guo, „A SOM based Anomaly Detection Method for Wind Turbines Health Management through SCADA Data,” *International Journal of Prognostics and Health Management*, т. 029, pp. 2153-2648, 2016.
- [59] A. Blanco-M, K. Gibert, P. Marti-Puig, J. Cusidó и J. Solé-Casals, „Identifying Health Status of Wind Turbines by Using Self Organizing Maps and Interpretation-Oriented Post-Processing Tools,” *Energies*, т. 11, p. 723, 2018.
- [60] S. Catmull, „Self-Organising Map Based Condition Monitoring Of Wind Turbines,” у *RES Offshore*, 2011.
- [61] M. m. Esmaeili, „Self-Organizing Map (SOM) in Wind Speed Forecasting: A New Approach in Computational Intelligence (CI) Forecasting Methods,” у *Proceedings of the 7th Annual GRASP Symposium*, Wichita State University, 2011.
- [62] A. Androniceanu и I. Georgescu, „Using the Self-Organizing Maps to explore the economic viability of the EU member states in time of crisis,” у *AASRI International Conference on Social Sciences*, 2013.
- [63] B. Martin-del-Brio и C. Serrano-Cinca, „Self-organizing Neural Networks for the Analysis and Representation of Data: Some Financial Cases,” *Neural Computing and Applications*, т. 1, pp. 193-206, 1993.
- [64] S. Kaski, „Bankruptcy Analysis with Self-Organizing Maps in Learning Metrics,” у *IEEE TRANSACTIONS ON NEURAL NETWORKS*, 2001.
- [65] M. Shanmuganathan, „Visualized Financial Performance Analysis: Self-Organizing Maps,” у *Future Technologies Conference*, Vancouver, Canada, 2017.
- [66] Y. Kameoka, K. Vagi, S. Munakata и Y. Yamamoto, „Customer Segmentation and Visualization by Combination of Self-Organizing Map and Cluster Analysis,” у *Thirteenth International Conference on ICT and Knowledge Engineering*, 2015.
- [67] S. A. A. Afjeh и M. Darvishi, „Segmentation and profiling consumers in a multi-channel environment using a combination of self-organizing maps (SOM) method, and logistic regression,” *Management Science Letters*, т. 4, pp. 1009-1014, 2014.
- [68] J. Kong и M. Ren, „Cluster analysis of Xi'an restaurants by Self-organizing maps,” *Journal of Physics: Conf. Series*, т. 1237, 2019.

- [69] Z. H. Raúl Eduardo, L. V. Yensi, M. F. Edward José, R. C. Cuba Aguilar, S. K. Llanos Chacaltana, L. F. Alfredo Cesar и D. R. Monica, „Strategy for the detection of types of eye diseases using SOM neural network,” у *20th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: “Education, Research and Leadership in Post-pandemic*, 2022.
- [70] D.-R. CHEN, R.-F. CHANG и Y.-L. HUANG, „BREAST CANCER DIAGNOSIS USING SELF-ORGANIZING MAP FOR SONOGRAPHY,” *Ultrasound in Med. & Bio.*, т. 26, бр. 3, pp. 405-411, 2000.
- [71] M. ZRIBI, R. FEKI, I. ABDELKAFI и Y. BOUJELBENE, „The self-organizing maps of Kohonen in the medical classification,” у *Sciences of Electronics, Technologies of Information and Telecommunications*, Tunisia, 2012.
- [72] D. Pratiwi, „The Use of Self Organizing Map Method and Feature Selection in Image Database Classification System,” <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1206/1206.0104.pdf>.
- [73] M. Favorskaya, L. C. Jain и A. Bolgov, „Image inpainting based on self-organizing maps by using multi-agent implementation,” *Procedia Computer Science*, т. 35, pp. 861-870, 2014.
- [74] C. AMERIJCKX, J. D. LEGAT и M. VERLEYSEN, „IMAGE COMPRESSION USING SELF-ORGANIZING MAPS,” *Systems Analysis Modelling Simulation*, т. 43, бр. 11, pp. 1529-1543, 2003.
- [75] C. S. Wickramasinghe, K. Amarasinghe и M. Manic, „Deep Self-Organizing Maps for Unsupervised Image Classification,” у *IEEE*, 2018.
- [76] F. H. Shariski, K. Priandana и S. Wahjuni, „Performance Analysis of Self-Organizing Map Method for Wheeled Robot Control System,” у *International Conference on Smart Technology and Applications*, 2020.
- [77] S. McCammon, D. Jones и G. A. Hollinger, „Topology-Aware Self-Organizing Maps for Robotic Information Gathering“.
- [78] N. Vlassis и P. Tsanakas, „Robot Map Building by Kohonen's Self-Organizing Neural Networks,” у *Proc. 1st Mobinet Symposium*, Athens, Greece, 1998.
- [79] B. Tang и A. Robey, „Autonomous Robotic Navigation Using Self-Organized Maps,” <https://www.cs.swarthmore.edu/~meeden/cs81/f17/projects/AlexBecky.pdf>.
- [80] S. B. Khobdeh, R. M. Yamaghani и S. Khodaparast Sareshkeh, „Clustering of Basketball Players Using Self-Organizing Map Neural Networks,” *Journal of Applied Research on Industrial Engineering* .
- [81] M. Aljohani и K. Kipp, „Use of self-organizing maps to study sex- and speed-dependent changes in running biomechanics,” *Human Movement Science*, т. 72, 2020.
- [82] K. Hébert-Losier, P. Lamb и M. C. Beaven, „SELF-ORGANISING MAP ANALYSIS OF RUGBY PLACEKICKING BIOMECHANICS,” у *36th Conference of the International Society of Biomechanics in Sports*, Auckland, New Zealand, 2018.

- [83] Y. Lee, „Using Self-Organizing Map and Clustering to Investigate Problem-Solving Patterns in the Massive Open Online Course: An Exploratory Study,” *Journal of Educational Computing*, т. 0, бр. 0, pp. 1-20, 2018.
- [84] T. Teeraratkul, D. O’Neill и S. Lall, „Shape-Based Approach to Household Electric Load Curve Clustering and Prediction,” *IEEE Transactions on Smart Grid*, т. 9, бр. 5, pp. 5196-5206, 2017.
- [85] Ł. Topolewski, „Relationship between Energy Consumption and Economic Growth in European Countries: Evidence from Dynamic Panel Data Analysis,” *Energies*, т. 14, бр. 12, p. 3565, 2021.
- [86] H. Talei, D. Benhaddou, C. Gamarra, M. Benhaddou и M. Essaaidi, „Identifying Energy Inefficiencies Using Self-Organizing Maps: Case of A Highly Efficient Certified Office Building,” *Applied Sciences*, т. 13, p. 1666, 2023.
- [87] T. Rasanen, J. Ruuskanen и M. Kolehmainen, „Reducing energy consumption by using self-organizing maps to create more personalized electricity use information,” *Applied Energy*, т. 85, pp. 830-840, 2008.
- [88] H. Liu, T. Eklund, B. Back и H. Vanharanta, „Visual Data Mining: Using Self-Organizing Maps for Electricity Distribution Regulation,” *y Communications in Computer and Information Science*, 2011.
- [89] M. Domínguez, J. J. Fuertes, I. D’íaz, A. A. Cuadrado, S. Alonso и A. Mor’an, „Analysis of electric power consumption using Self-Organizing Maps,” *y Proceedings of the 18th World Congress*, Milano (Italy) August 28 - September 2, 2011.
- [90] M. Martín-Merino и J. Román, „Electricity Load Forecasting Using Self Organizing Maps,” *Notes in Computer Science*, pp. 709-716, 2006.
- [91] A. E. Ioannou, D. Kofinas, A. Spyropoulou и C. Laspidou, „Data mining for household water consumption analysis using selforganizing maps,” *European Water*, т. 58, pp. 443-448, 2017..
- [92] T. Dhakal, T. Kim, D. Lee и . G. Jang, „Examining global warming factors using self-organizing map and Granger causality network: a case from South Korea,” *Ecological Processes*, т. 9, бр. doi.org/10.1186/s13717-023-00422-3, p. 12, 2023.
- [93] H. U. Yilmaz, E. Fouch’e, T. Dengiz, L. Krauß, D. Keles и W. Fichtner, „Reducing Energy Time Series for Energy System Models via Self-Organizing Maps,” *Information Technology*, p. 57, 2015.
- [94] J. A. F. Costa и N. D. L. Júnior, „Self-organizing maps applied to analysis of state energy balances,” *y IEEE*, 2019.
- [95] A. Huang и F.-J. Chang, „Using a Self-Organizing Map to Explore Local Weather Features for Smart Urban Agriculture in Northern Taiwan,” *MDPI*, т. 13, бр. 23, p. 3457, 2021.
- [96] S. Kaski, „Example of application of the SOM: World Poverty Map,” 22. 9. 1997..
<http://www.cis.hut.fi/research/som-research/worldmap.html>. [Последњи приступ 31. 1. 2023.].

- [97] S. Kaski и Т. Kohonen, „Exploratory Data Analysis By The Self-Organizing Map: Structures Of Welfare,” у *Proceeding of the Third International Conference on Neural Network in the Capital Markets*, London, England, 1996.
- [98] W. Bank, „World Development Report - Development and the Environment,” Oxford University Press, 1992.
- [99] „JavaScript Charts & Maps,” AM Charts, <https://www.amcharts.com/>. [Последњи приступ 6. 2. 2023.].
- [100] „Our World in Data,” <https://ourworldindata.org/charts>. [Последњи приступ 10. January 2023.].
- [101] „Energy Statistics - Year pocketbox,” UN Stats, <https://unstats.un.org/unsd/energystats/pubs/yearbook/>. [Последњи приступ 12. January 2023.].
- [102] „Independent Statistics and Analysis U.S. Energy Information Administration,” EIA, <https://www.eia.gov/international/overview/world>. [Последњи приступ 13. January 2023.].
- [103] „Statistical Office of the Republic of Serbia 2022,” April 2022. <https://publikacije.stat.gov.rs/G2022/PdfE/G202217015.pdf>. [Последњи приступ 1. 2. 2023.].
- [104] „Statistical office of Montenegro,” 2022.. <https://www.monstat.org/eng/page.php?id=1314&pageid=39>. [Последњи приступ 1. 2. 2023.].
- [105] „Bosnia and Herzegovina Energy,” Worldometer, 2017.. <https://www.worldometers.info/energy/bosnia-and-herzegovina-energy/>. [Последњи приступ 1. 2. 2023.].
- [106] „e-Statistika,” 5. 2. 2016.. 2024.. [Последњи приступ 10. 1. 2024.].
- [107] Ž. Vlaović, B. Stepanov, A. Anđelković, V. Rajs, Z. Čepić и M. Tomić, „Application of Kohonen Self-Organizing Maps for Mapping Energy Sustainability - Focus on Serbia,” у *7th International Conference on Smart and Sustainable Technologies Splitech*, Split, 2022.
- [108] „Executive summary - Norway 2022,” IEA, <https://www.iea.org/reports/norway-2022/executive-summary>. [Последњи приступ 13. 1. 2024.].
- [109] M. Pistilli, „Top 10 Countries for Natural Gas Production,” Investing News Network, 5. 10. 2023.. <https://investingnews.com/top-natural-gas-producers/#toggle-gdpr>. [Последњи приступ 13. 1. 2024.].
- [110] „Oil Production by Country,” Worldometer, <https://www.worldometers.info/oil/oil-production-by-country/>. [Последњи приступ 13. 1. 2024.].
- [111] „Sweden and overview,” IEA, <https://www.iea.org/countries/sweden>. [Последњи приступ 14. 1. 2024.].

- [112] „Czech Republic,“ IEA, <https://www.iea.org/countries/czechia>. [Последњи приступ 14. 1. 2024.].
- [113] M. Adachi, „Success and Failure of Renewable Energy Policies in the EU: a Comparative Study of Bulgaria and Poland,“ 2020.
- [114] „Brazil energy overview,“ IEA, <https://www.iea.org/countries/brazil>. [Последњи приступ 14. 1. 2024.].
- [115] „Denmark energy overview,“ IEA, <https://www.iea.org/countries/denmark>. [Последњи приступ 14. 1. 2024.].
- [116] „Croatia energy overview,“ IEA, <https://www.iea.org/countries/croatia>. [Последњи приступ 14. 1. 2024.].
- [117] „China - Country Commercial Guide,“ TradeGOV, <https://www.trade.gov/country-commercial-guides/china-energy>. [Последњи приступ 14. 1. 2024.].
- [118] „Germany - Country Commercial Guide,“ TradeGOV, <https://www.trade.gov/country-commercial-guides/germany-energy>. [Последњи приступ 15. 1. 2024.].
- [119] D. o. Economics, „Promoting the market and system integration of renewable energies through premium schemes: A case study of the German market premium,“ Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH - UFZ, Leipzig, 2013.
- [120] BloombergNEF, „Climatescope - Power Transition Factbook,“ 2003.
- [121] „Summary of the Commission assessment of the draft National Energy and Climate Plan 2021-2030,“ European Commission, https://energy.ec.europa.eu/system/files/2019-06/necp_factsheet_hr_final_0.pdf, 2019.
- [122] „Slovenia - Country Commercial Guide,“ TradeGOV, <https://www.trade.gov/country-commercial-guides/slovenia-energy>. [Последњи приступ 15. 1. 2024.].
- [123] Ž. D. Vlaović, B. L. Stepanov, A. S. Anđelković, V. M. Rajs, Z. M. Čepić и M. A. Tomić, „Mapping energy sustainability using the Kohonen self-organizing maps - case study,“ *Journal of Cleaner Production*, т. 412, 2023.
- [124] „The energy sector in Serbia,“ Bankwatch, <https://bankwatch.org/beyond-fossil-fuels/the-energy-sector-in-serbia>. [Последњи приступ 15. 1. 2024.].
- [125] „Bosnia and Herzegovina - Country Commercial Guide,“ TradeGOV, <https://www.trade.gov/country-commercial-guides/bosnia-and-herzegovina-energy>. [Последњи приступ 15. 1. 2024.].
- [126] E. community, „Energy transition tracker,“ ENERGY COMMUNITY SECRETARIAT, June 2021, 2021.
- [127] „Kjoto protokol,“ Srbija i Klimatske promene, <https://www.klimatskepromene.rs/obaveze-prema-un/kjoto-protokol/>. [Последњи приступ 9. 1. 2024.].

- [128] „The Paris Agreement,” United Nations Climate Change, https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement?gclid=Cj0KCQiAnrOtBhDIARIsAFsSe52vW7Lrkp5HvqSz755RqUcHW3QL3NdE0rpmwy4pv rVzCHP_LYxROkaAuw-EALw_wcB. [Последњи приступ 10. 1. 2024.].
- [129] W. CORNWALL, „The Paris climate pact is 5 years old. Is it working?,” Science, 12. 12. 2020.. <https://www.science.org/content/article/paris-climate-pact-5-years-old-it-working>. [Последњи приступ 10. 1. 2024.].
- [130] E. G. D. Survey, „Are Europe’s businesses ready for the EU Green Deal?,” European council, March 2022.
- [131] S. team, „Good practice examples of regional and sub-regional strategies in coal regions in transition,” 2021.
- [132] N. Jawerth, „What is the Clean Energy Transition and How Does Nuclear Power Fit In?,” IAEA, 2020. <https://www.iaea.org/bulletin/what-is-the-clean-energy-transition-and-how-does-nuclear-power-fit-in>. [Последњи приступ 11. 1. 2024.].
- [133] W. WILLS и F. F. WESTIN, „CLIMATE TRANSPARENCY POLICY PAPER: ENERGY TRANSITION IN BRAZIL,” Federeal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety, 2020.
- [134] R. M. Dutra и A. S. Szklo, „Incentive policies for promoting wind power production in Brazil: Scenarios for the Alternative Energy Sources Incentive Program (PROINFA) under the New Brazilian electric power sector regulation,” *Renewable Energy*, т. 33, pp. 65-76, 2008.
- [135] „Renewables: Chile is the most attractive place to invest in LatAm,” InvestChile, 28. 6. 2023.. <https://blog.investchile.gob.cl/renewable-energy-chile>. [Последњи приступ 14. 1. 2024.].
- [136] „Energy: Where are the investment opportunities in Chile?,” InvestChile, 24. 5. 2021.. <https://blog.investchile.gob.cl/energy-where-are-the-investment-opportunities-in-chile>. [Последњи приступ 15. 1. 2024.].
- [137] „RENEWABLE ENERGY IN CHILE: GROWTH, REGULATION AND CHALLENGES,” 16. 10. 2023.. <https://www.atlasrenewableenergy.com/en/renewable-energy-in-chile-growth-regulation-and-challenges/>. [Последњи приступ 16. 1. 2024.].
- [138] „Chile is the most attractive country for investment in renewables,” InvestChile, 16. 10. 2022.. <https://blog.investchile.gob.cl/chile-is-the-most-attractive-country-for-investment-in-renewable-energies>. [Последњи приступ 16. 1. 2024.].
- [139] „CHILE’S NEW COAL FLEET CHALLENGED BY RENEWABLES AND AIR POLLUTION,” Powering past coal alliance, 12. 12. 2018.. <https://poweringpastcoal.org/insights/chiles-new-coal-fleet-challenged-by-renewables-and-air-pollution/>. [Последњи приступ 14. 1. 2024.].
- [140] IEA, „Colombia Energy Policy Review,” 2023.

- [141] „Egypt,“ Global SolarAtlas,
<https://globalsolaratlas.info/detail?c=23.402765,10.986328,4&s=26.752498,29.53125&m=site>.
[Последњи приступ 10. 1. 2024.].
- [142] „RENEWABLE ENERGY OUTLOOK EGYPT,“ IRENA, 2018..
- [143] Bloomberg, „ClimateScope,“ 2017.
- [144] „TRINIDAD AND TOBAGO,“ Climatescope , 2017. <https://2017.global-climatescope.org/en/country/trinidad-and-tobago/#/ghg-management>.
- [145] W. E. Forum, „Fostering Effective Energy Transition 2023 Edition,“ 2023.
- [146] „Top 10 countries leading the worlds decarbonization,“ Climatetrade, <https://climatetrade.com/top-10-countries-leading-the-worlds-decarbonization/>. [Последњи приступ 18. 1. 2024.].
- [147] N. Fulghum, „Mexico tops G20 in reducing coal last year, but three quarters of electricity is still from fossil fuels,“ 2021.
- [148] „Examining global warming factors using self-organizing map and Granger causality network: a case from South Korea,“ *Ecological Processes*, т. 12, 2023.
- [149] T. Kohonen, Self-Organizing Maps, 2001.
- [150] „Czech Republic,“ IEA, <https://www.iea.org/reports/czech-republic-2021>. [Последњи приступ 14. 1. 2024.].
- [151] „How Much Will the Paris Agreement Cost?,“ World data, <https://worldat1c.org/how-much-will-the-paris-agreement-cost-85f78d9a035a>. [Последњи приступ 10. 1. 2024.].

Овај Образац чини саставни део докторске дисертације, односно докторског уметничког пројекта који се брани на Универзитету у Новом Саду. Попуњен Образац укорицити иза текста докторске дисертације, односно докторског уметничког пројекта.

План третмана података

Назив пројекта/истраживања
Примена Кохоненових самоорганизујућих мапа у области енергетске одрживости земаља
Назив институције/институција у оквиру којих се спроводи истраживање
а) Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду
б)
в)
Назив програма у оквиру ког се реализује истраживање
1. Опис података
1.1 Врста студије
Укратко описати тип студије у оквиру које се подаци прикупљају
<u>Докторска дисертација</u>
1.2 Врсте података
а) квантитативни
б) квалитативни

1.3. Начин прикупљања података

- а) анкете, упитници, тестови
- б) клиничке процене, медицински записи, електронски здравствени записи
- в) генотипови: навести врсту _____
- г) административни подаци: подаци признатих међународних институција које се баве анализама различитих енергетских параметара (нпр. Our World in data, International Energy Agency и др.). _____
- д) узорци ткива: навести врсту _____
- ђ) снимци, фотографије: навести врсту _____
- е) текст, навести врсту Актуелна литература у области истраживања _____
- ж) мапа, навести врсту _____
- з) остало: описати _____

1.3 Формат података, употребљене скале, количина података

1.3.1 Употребљени софтвер и формат датотеке:

- а) Excel фајл, датотека _____
- б) SPSS фајл, датотека _____
- с) PDF фајл, датотека _____
- д) Текст фајл, датотека _____
- е) JPG фајл, датотека _____
- ф) Остало, датотека Матлаб _____

1.3.2. Број записа (код квантитативних података)

- а) број варијабли 31 x 28 _____
- б) број мерења (испитаника, процена, снимака и сл.) = _____

1.3.3. Поновљена мерења

- а) да

б) не

Уколико је одговор да, одговорити на следећа питања:

- а) временски размак измедју поновљених мера је _____
- б) варијабле које се више пута мере односе се на _____
- в) нове верзије фајлова који садрже поновљена мерења су именоване као _____

Напомене: _____

Да ли формати и софтвер омогућавају дељење и дугорочну валидност података?

а) *Да*

б) *Не*

Ако је одговор не, образложити _____

2. Прикупљање података

2.1 Методологија за прикупљање/генерисање података

2.1.1. У оквиру ког истраживачког нацрта су подаци прикупљени?

- а) експеримент, навести тип _____
- б) корелационо истраживање, навести тип _____
- ц) **анализа текста, навести тип Анализа доступне литературе и база података**
- д) остало, навести шта _____

2.1.2 Навести врсте мерних инструмената или стандарде података специфичних за одређену научну дисциплину (ако постоје).

_____ Подаци су прикупљани претрагом база података међународних институција
које се баве анализама и прикупљањем, истих, а који су у вези са енергетским индикаторима .

2.2 Квалитет података и стандарди

2.2.1. Третман недостајућих података

а) Да ли матрица садржи недостајуће податке? Да **Не**

Ако је одговор да, одговорити на следећа питања:

- а) Колики је број недостајућих података? _____
- б) Да ли се кориснику матрице препоручује замена недостајућих података? Да Не
- в) Ако је одговор да, навести сугестије за третман замене недостајућих података
-

2.2.2. На који начин је контролисан квалитет података? Описати

2.2.3. На који начин је извршена контрола уноса података у матрицу?

Податке у табеле је уносио аутор дисертације.

3. Третман података и пратећа документација

3.1. Третман и чување података

3.1.1. Подаци ће бити депоновани у **Репозиторијум докторских дисертација**
Универзитета у Новом Саду.

3.1.2. URL адреса _____

3.1.3. DOI _____

3.1.4. Да ли ће подаци бити у отвореном приступу?

- a) *Да*
- б) *Да, али после ембарга који ће трајати до _____*
- в) *Не*

Ако је одговор не, навести разлог _____

3.1.5. Подаци неће бити депоновани у репозиторијум, али ће бити чувани.

Образложење

3.2 Метаподаци и документација података

3.2.1. Који стандард за метаподатке ће бити примењен? **Стандард који примењује Репозиторијум Универзитета у Новом Саду.**

3.2.1. Навести метаподатке на основу којих су подаци депоновани у репозиторијум.

Жељко Влаовић (2024), Примена Кохоненових мапа у области енергетске одрживости земаља, (необјављена докторска дисертација, Универзитет у Новом Саду)

Ако је потребно, навести методе које се користе за преузимање података, аналитичке и процедуралне информације, њихово кодирање, детаљне описе варијабли, записа итд.

3.3 Стратегија и стандарди за чување података

3.3.1. До ког периода ће подаци бити чувани у репозиторијуму? **Неограничено**

3.3.2. Да ли ће подаци бити депоновани под шифром? Да **Не**

3.3.3. Да ли ће шифра бити доступна одређеном кругу истраживача? Да **Не**

3.3.4. Да ли се подаци морају уклонити из отвореног приступа после извесног времена?

Да **Не**

Образложити

4. Безбедност података и заштита поверљивих информација

Овај одељак МОРА бити попуњен ако ваши подаци укључују личне податке који се односе на учеснике у истраживању. За друга истраживања треба такође размотрити заштиту и сигурност података.

4.1 Формални стандарди за сигурност информација/података

Истраживачи који спроводе испитивања с људима морају да се придржавају Закона о заштити података о личности (https://www.paragraf.rs/propisi/zakon_o_zastiti_podataka_o_licnosti.html) и одговарајућег институционалног кодекса о академском интегритету.

4.1.2. Да ли је истраживање одобрено од стране етичке комисије? Да **Не**

Ако је одговор Да, навести датум и назив етичке комисије која је одобрила истраживање

4.1.2. Да ли подаци укључују личне податке учесника у истраживању? Да **Не**

Ако је одговор да, наведите на који начин сте осигурали поверљивост и сигурност информација везаних за испитанике:

- а) Подаци нису у отвореном приступу
- б) Подаци су анонимизирани
- ц) Остало, навести шта

5. Доступност података

5.1. Подаци ће бити

а) јавно доступни

б) доступни само уском кругу истраживача у одређеној научној области

ц) затворени

Ако су подаци доступни само уском кругу истраживача, навести под којим условима могу да их користе:

Ако су подаци доступни само уском кругу истраживача, навести на који начин могу приступити подацима:

5.4. Навести лиценцу под којом ће прикупљени подаци бити архивирани.

Ауторство – некомерцијално – без прераде

6. Улоге и одговорност

6.1. Навести име и презиме и мејл адресу власника (аутора) података

Жељко Влаовић vlaovicz@uns.ac.rs

6.2. Навести име и презиме и мејл адресу особе која одржава матрицу с подацима

6.3. Навести име и презиме и мејл адресу особе која омогућује приступ подацима другим истраживачима
