

Извештај о процени ризика и анализи рањивости енергетског сектора на утицаје климатских промена, са предлогом мера прилагођавања

Аутор:

Др. Марко Адамовић, хидрогеолог
Заједнички истраживачки центар Европске комисије, ИСПРА

Листа скраћеница

ДЈФ	Децембар-јануар-фебруар
ЈЈА	Јун-јул-август
JRC	Објединњени истраживачки центар (The Joint Research Centre)
МAM	Март-април-мај
RCP	Репрезентативни путеви концентрације (Relative Concentration Pathway)
СОН	Септембар-октобар-новембар
UNFCCC	Оквирна конвенција Уједињених нација о климатским променама (United Nations Framework Convention on Climate Change)

САДРЖАЈ

ЛИСТА СКРАЋЕНИЦА	2
УВОД	4
МЕТОДОЛОГИЈА	4
ПРОЈЕКТОВАНЕ/ПРЕДВИЂЕНЕ ПРОМЕНЕ ТЕМПЕРАТУРЕ И ПАДАВИНА У ЕВРОПИ И СРБИЈИ	7
УТИЦАЈ КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА НА ВОДНЕ РЕСУРСЕ У СРБИЈИ	9
УТИЦАЈ НА РАСПОЛОЖИВОСТ ВОДЕ ЗА ХИДРОЕЛЕКТРАНЕ И ТЕРМОЕЛЕКТРАНЕ	9
ПОТРЕБА ЗА ПРИЛАГОЂАВАЊЕМ	17
ЛИТЕРАТУРА	19

1. Увод

Како утицаји глобалног загревања и климатских промена настављају да се појачавају, владе широм света, укључујући Србију, морају да повећају мере за прилагођавање климатским променама, ублажавање климатских промена и управљање ризиком, а сва три наведена аспекта су одређена као кључни приоритети у свету, како би се избегле велике штете по економију. Париски климатски споразум (UNFCCC - Оквирна Конвенција УН о климатским променама из 2015. године), Оквир за смањење ризика од катастрофа из Сендаија за период 2015-2030 и европске иницијативе попут Стратегије ЕУ прилагођавања на климатске промене су глобални оквири који указују на важност ограничавања глобалног загревања испод 2°C са тежњом да не прелази 1,5°C, истовремено унапређујући капацитете прилагођавања, јачајући отпорност и смањујући рањивост.

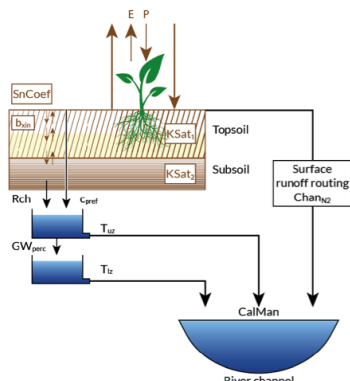
Климатске промене које су обично вођене политичким, демографским и економским факторима ће утицати на равнотежу између расположивости и потражње за водом различитих сектора, посебно енергетског. Стога, одређивање количине воде која је на располагању и процене утицаја природних непогода (тј. суша, поплава) у оквиру различитих сценарија климатских промена и различитих нивоа глобалног загревања, играју важну улогу у информисању и подршци креатора климатских политика у изради стратегија ублажавања и прилагођавања.

2. Методологија

У овом одељку, климатске промене као важан покретач у вези између хидролошког циклуса и воде-енергије су процењене помоћу хидролошког модела отвореног кода LISFLOOD.

Хидролошки модел LISFLOOD

Израчунавање водних ресурса врши се уз помоћ модела потпуно отвореног кода LISFLOOD 2.0 (више информација можете пронаћи на: <https://ec-jrc.github.io/lisflood/>). LISFLOOD 2.0 је просторно распоређен хидролошки систем за моделовање/систем раног упозорења на поплаве заснован на Географском информационом систему (ГИС), у Обједињеном истраживачком центру Европске Комисије (ЕК) од 1997. године (Де Ру и др., 2000. године; Ван дер Книјф и др., 2010. године).



Слика 1: Преглед модела LISFLOOD. P: падавине; E: испаравање и евапотранспирација; SnCoef: топљење снега; bxin: инфилтрација; ChanN2: површинско отицање; GWperc: одводњавање од горње до доње зоне подземних вода; Tuz: изливање из горње зоне подземних вода; Tlz: изливање из доње зоне подземних вода; Rch: одводњавање од дубљих слојева земље до горње зоне подземних вода; одводњавање од горње зоне до дубљих слојева; Cpref: преференцијални ток у горњу зону подземних вода (извор: <https://ec-jrc.github.io/lisflood/>)

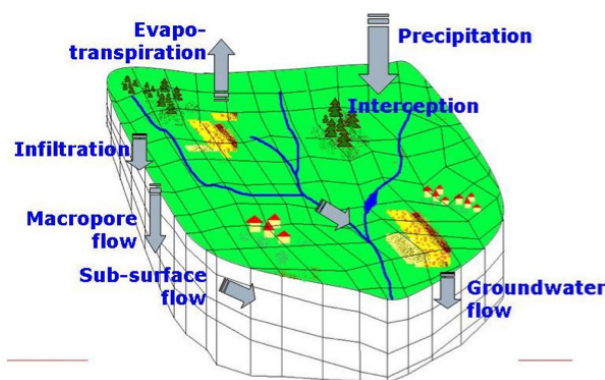
Стандардно подешавање модела састоји се од следећих компоненти (<https://ec-jrc.github.io/lisflood/>):

- подмодел равнотеже воде у трослојном земљишту
- подмодел за симулацију подземних вода и подземних токова (користећи 2 паралелно повезана линеарна резервоара)
- под-модел за усмеравање површинског отицаја до најближег речног канала
- подмодел за усмеравање протока у каналима

Процеси који се симулирају овим моделом укључују и топљење снега, инфилтрацију, пресретање падавина, одводњавање лишћа, испаравање и усисавање воде вегетацијом, површинско отицање, преференцијални ток (заобилажење слоја тла), размену влаге у земљишту између два слоја тла и одводњавање у подземне воде, подземне токове и проток кроз речне канале.

Општи опис

Покретан метеоролошким подацима, LISFLOOD 2.0 израчунава потпуни биланс воде на дневном нивоу и у свакој мрежној ћелији дефинисаној у домену модела (слике 1 и 2).



Слика 2: Просторна шематизација модела LISFLOOD за један речни слив (Бизелинк и др., 2018. године)

Језера, резервоари и површине за задржавање или полдери се симулирају тако што се дају њихове локације, величина, гранични услови дотицаја и отицаја, као и параметри за процену. Пошто у многим случајевима нису доступни подаци о стварном функционисању резервоара, процена је вршена уз претпоставку да њихова запремина остаје иста на вишегодишњем нивоу. Статичке мапе које овај модел користи укључују топографију (т.ј. дигитални елевациони модел, локални правац одвода, нагиб градијента, распон надморске висине), коришћење земљишта (тј. класе употребе земљишта, подручје под шумом, урбано подручје), тло (тј. класе текстуре тла, дубину тла) и геометрију канала (тј. градијент канала, Манингов коефицијент храпавости, дубину канала, дужину канала, ширину дна и бочну падину).

Текстура тла и подаци о дубини изведени су из базе података ISRIC 1km SoilGrids (Хенгл и др., 2014. године). Подаци о надморској висини су изведени из базе података Hydrosheds

- коришћењем SRTM података о надморској висини (Лехнер и др., 2008. године, <http://www.worldwildlife.org/pages/hydrosheds>). Речна мрежа је преузета из рада Вуа и др. (2012. године). Подаци о начину коришћења земљишта су добијени из базе података CORINE у резолуцији 100 м за Европу.

У овој студији модел LISFLOOD 2.0 је коришћен у просторној резолуцији 5x5 км.

Овај модел за сваку мрежу разликује подручја отворене воде, урбане „запечаћене“ (непропусне) зоне, шумско подручје, наводњавано подручје поља пиринча, површине са усевима где се врши наводњавање и друга коришћена земљишта, што је све изведено из модела о начину коришћења земљишта CORINE и LUISA. Збир ових 6 подручја (фракција) чини 100% мреже. Специфични хидролошки процеси (евапотранспирација, инфилтрација итд.) се затим израчунавају на другачији начин за ове класе коришћења земљишта. На крају фазе прорачуна, одлазни токови воде се акумулирају и преусмеравају на речну мрежу ради испуштања.

Климатски подаци из CORDEX базе

Подаци о предвиђањима будуће климе/климатским пројекцијама преузети су из CORDEX базе података за Европу (EURO-CORDEX; Јакоб и др., 2014. године), што је међународна иницијатива која има за циљ да обезбеди климатске пројекције високих резолуција до 2100. године. За симулације сценарија у оквиру програма EURO-CORDEX се користе нови Репрезентативни путеви концентрације (RCPs) (Мос и др., 2010. године). RCP сценарији су засновани на емисији гасова са ефектом стаклене баште. У оквиру EURO-CORDEX-а, постоје бројни регионални климатски модели (RCM's) за смањења броја CMIP5 глобалних циркулацијских модела (GCMs).

У овом раду приказани историјски климатски сценарији (за период 1981-2010. године) и предвиђања будућих климатских сценарија (2011-2100. године) на основу 7 климатских пројекција EURO-CORDEX-а (види Табелу 1) према путевима емисија RCP4.5 и RCP8.5 (Риахи и др., 2011. године) коришћени су за покретање хидролошког модела LISFLOOD на дневном нивоу. За седам модела EURO-CORDEX-а коришћена је хоризонтална резолуциј од 0,11 степени (~ 12 км).

Изведене метеоролошке променљиве су просечне (tas), минималне (tasmin) и максималне (tasmax) температуре површинског ваздуха, укупне падавине (pr), површински ваздушни притисак (psl), специфична влажност од 2 m (huss), брзина ветра од 10 m (sfcWind), површинско низводно краткоталасно зрачење (rsds), површинско узводно краткоталасно зрачење (rsus) и површинско узводно дуготаласно зрачење (rlus).

Све метеоролошке варијабле поново су постављене на 5km x 5km и за сваки временски корак се рачунају карте потенцијалне евапотранспирације помоћу модела Penman–Monteith. Хидролошки модел LISFLOOD се затим изводи за период 1981–2010. године и за будуће климатске сценарије 2011–2100. године, према RCP4.5 и RCP8.5 коришћењем коригованих

дневних количина падавина, просечне температуре и генерисаних карата потенцијалне евапотранспирације. Симулације низа водних ресурса вршене су коришћењем 7 EURO-CORDEX-ових климатских пројекција за периоде од 30 година усредсређене на годину прекорачења глобалне средње температуре од 2°C према коришћеном Глобалном климатском моделу (Табела 1).

s	Институт/ установа	Глобално климатско моделирање ГКМ	Регионално климатско моделирање	2°C	Период за који је вршена процена
1	CLMcom	EC-EARTH	CCLM4-8-17	2041.	2027-2056
2	SMHI	HadGEM2-ES	RCA4	2030.	2016-2045
3	SMHI	MPI-ESM-LR	RCA4	2044.	2030-2059
4	SMHI	EC-EARTH	RCA4	2041.	2027-2056
5	DMI	EC-EARTH	HIRHAM5	2043.	2029-2058
6	KNMI	EC-EARTH	RACMO22E	2042.	2028-2057
7	CLMcom	MPI-ESM-LR	CCLM4-8-17	2044.	2030-2059

Табела 1. Климатске пројекције у оквиру CORDEX-а и одговарајуће године у којима је загревање било веће од 2°C са 30-годишњим периодом евалуације

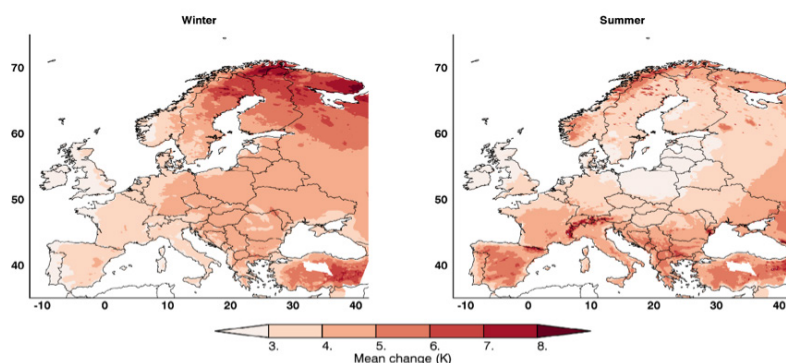
У случају овде разматраних глобалних модела, 2 степена се достижу у просеку око 2040. године по сценарију RCP8.5, када ће доћи до врло малог ублажавања емисија. Симулације у којима се користи 7 модела EURO-CORDEX-а се врше при промењеној клими ради процене утицаја климатских промена на будуће водне ресурсе.

3. Пројектоване/предвиђене промене температуре и падавина у Европи и Србији

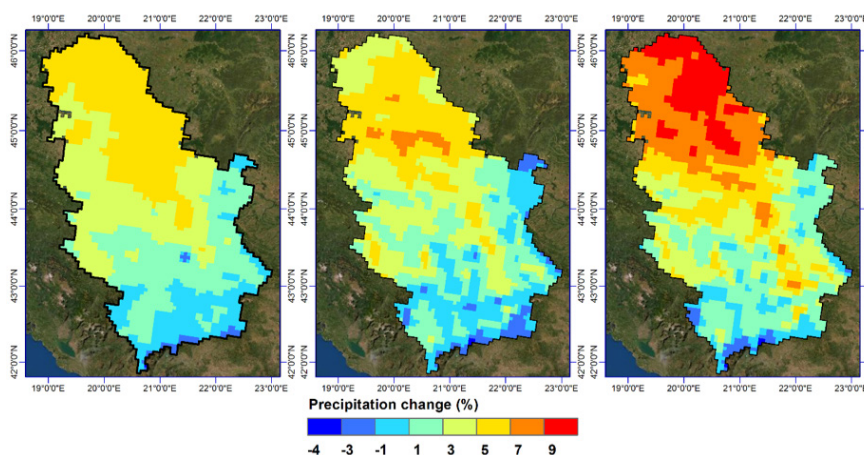
За бољи преглед температуре, на слици 3 су, према сценарију RCP8.5, приказане предвиђене промене температуре крајем века за целу Европу. Предвиђа се да ће Србија и регион Балкана имати много веће зимске температуре од просечног глобалног повећања температуре у Западној Европи. С друге стране, предвиђа се да ће Србија, Медитеран и Алпи имати много веће летње температуре од глобалног повећања температуре. Падавине су далеко најважнији покретач водних ресурса. На Слици 4 су приказане предвиђене промене количине падавина у Србији за почетак, средину и крај века према сценарију RCP8.5. Уопштено говорећи, смањење се предвиђа за јужну Србију у сва три временска периода.

За северну Србију се предвиђа повећање падавина у сва три периода, што је довело до повећања од 9 % на крају века.

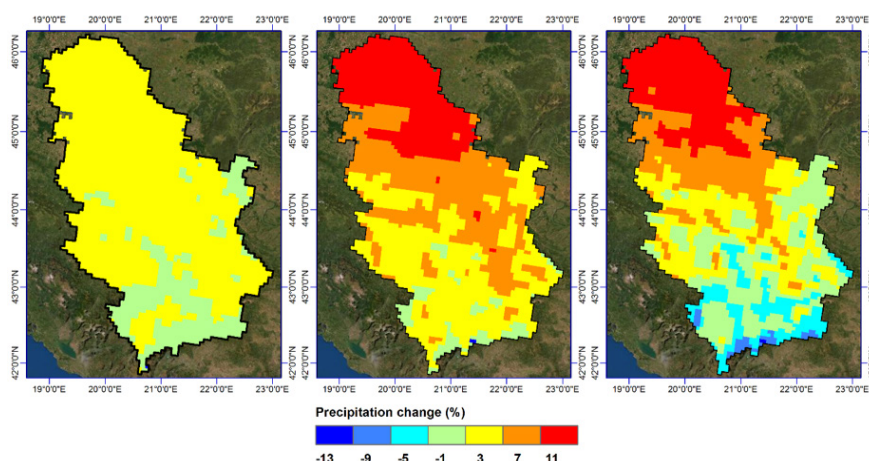
На Сlici 5 су, према сценарију RCP8.5, приказане предвиђене промене количине падавина у Србији за почетак, средину и крај века (просек од 7 модела EURO-CORDEX-а). Повећања се претежно предвиђају за северну Србију, посебно за период 2041-2070. године, као и за крај века. Током овог временског периода према сценарију RCP8.5, глобално повећање температуре је већ 3,5-4,0 степена. Ово представља ситуацију у којој би се смањење емисија имплементирало у малом обиму, а циљеви из Париза не би били испуњени.



Слика 3. Предвиђена промена сезонске средње дневне температуре за зиму и лето, крајем века (2071-2100. године) у поређењу са данашњом климом (1981-2010. године), према сценарију RCP8.5 (Досио, 2016. године)



Слика 4. Предвиђена промена дневне количине падавина за период 2011.-2040. године (лево), 2041-2070. године (у средини), и на крају века (2071-2100. године) у поређењу са данашњом климом (1981-2010. године), према сценарију RCP4.5 за обједињене сценарије



Слика 5. Предвиђена промена дневне количине падавина за период 2011-2040. године (лево), 2041-2070. године (у средини), и на крају века (2071-2100. године) у поређењу са данашњом климом (1981-2010. године), према сценарију RCP8.5 за обједињене сценарије

4. Утицај климатских промена на водне ресурсе у Србији

У овом поглављу су дати резултати прорачуна водних ресурса добијени помоћу модела LIS-FLOOD. У укупно 14 симулација (7 за сценарио RCP4.5 и 7 за сценарио RCP 8.5) коришћењем модела водних ресурса LISFLOOD за периоде од 30 до 90 година, укључујући климатске промене, процењен је њихов утицај на водне ресурсе Србије.

У наредним одељцима је дат опис утицаја промене климе на водне ресурсе за различите енергетске аспекте, попут хидроенергије и хлађења. Више информација о карактеристикама електрана укључених у ову студију можете пронаћи на <https://github.com/energy-modeling-toolkit/hydro-power-database> и отвореној бази података о електранама Обједињеног истраживачког центра ЕК (JRC-PPDB-OPEN).¹

5. Утицај на расположивост воде за хидроелектране и термоелектране

Енергетском сектору је потребна слатка вода као извор за рад хидроелектрана и хлађење термоелектрана. Овде смо размотрили резултате моделирања водних ресурса и за хидроелектране и за хлађење термоелектрана.

¹ Хидалго Гонзалес, Игнацио; Канелопулос, Константинос; Де Фелиће, Матео; Бочин, Андреј (2019): Отворена база података хидроелектрана Обједињеног истраживачког центра (JRC-PPDB-OPEN). Европска Комисија, Обједињени истраживачки центар (JRC) [База података] PID: <http://data.europa.eu/89h/9810feeb-f062-49cd-8e76-8d8cfd488a05>

На Слици 6 је дат преглед проучаваних хидроелектрана и термоелектрана у Србији. Размотрили смо 13 главних хидроелектрана (означених зеленим круговима) у Србији у погледу расположивости воде, посебно са аспекта просечног дотока у резервоаре. Спецификације се могу пронаћи у Табели 2. На Слици 6 десно је приказана просечна годишња производња хидроенергије (већи круг значи већу производњу). Можемо приметити да је просечна годишња производња хидроенергије на Ђердапу I и II и Бајиној Башти међу највећим са преко 1500 GWh (гигават сати) годишње (Слика 6, десно). Детаљније информације о просечној производњи хидроенергије се могу пронаћи у Табели 2.

Бр.	Назив електране	Капацитет [MW]	Ширина	Дужина	GWh
1	Увац	36	43.42	19.93	60
2	ХЕ Бајина Башта Г1	364	43.96	19.41	1462
3	ХЕ Ђердап 1	1083	44.67	22.53	5580
4	Кокин Брод	22.7	43.52	19.81	55
5	Међувршје	7	43.91	20.23	31
6	Овчар Бања	6	43.90	20.18	28
7	ХЕ ЂЕРДАП II	208	44.33	22.53	1510
8	ХЕ Врла 1-4	128.6	42.71	22.32	279
9	РХЕ „Бајина Башта“	614	43.87	19.41	635
10	Бистрица	104	43.52	19.74	332
11	Зворник	96	44.37	19.11	454
12	Пирот	80	43.16	22.62	99
13	Потпећ	51	43.52	19.58	195

Табела 2. Хидроелектране у Србији и њихове карактеристике

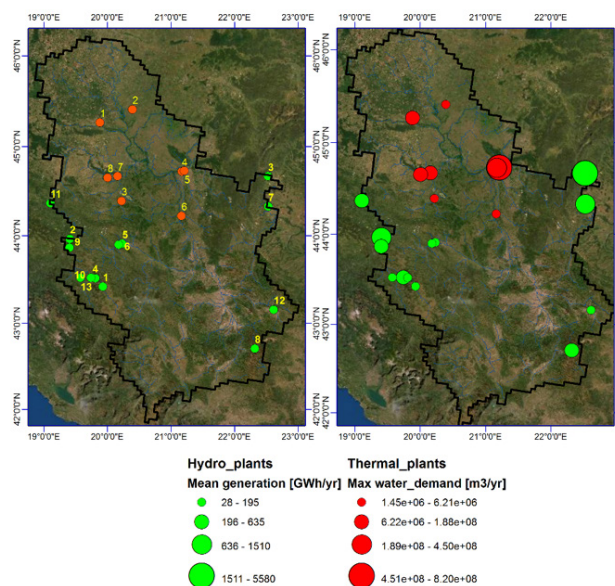
Такође смо размотрили 8 термоелектрана (означених црвеним круговима) широм Србије (Табела 3) и извршили процену њихових годишњих потреба за расхладном водом (Слика 6, десно). Уочили смо да су термоелектране Костолац, Нови Сад и Никола Тесла захтевале највећу потрошњу расхладне воде (преко 107 m³/год). Треба напоменути да потрошња расхладне воде зависи од ефикасности система и технологије хлађења (једнократно, затворено и суво хлађење) која ће одредити потрошњу воде. У Србији скоро све термоелектране имају системе за једнократно хлађење као што је приказано на Слици 3.

Процењујемо просечно повећање/смањење протока за низ сценарија RCP4.5 и RCP8.5 у поређењу са контролним временским периодом 1981-2010. године (Слика 7). Оба RCP-а показују повећање испуштања и самим тим повећање расположивости воде за производњу хидроенергије у електранама Ђердап 1 и 2 (повећање у распону 200-600 m³/s) и повећану расположивост расхладне воде дуж реке Дунав за термоелектране Нови Сад, Костолац А и Б и постројења термоелектране Никола Тесла дуж реке Саве. Ови резултати потврђују

претходно наведене податке о падавинама по којима ће северна Србија имати већи интензитет падавина и по сценарију RCP4.5 и по сценарију RCP8.5. У осталим електранама примећујемо благо (до $100\text{m}^3/\text{s}$) или никакво повећање протока. Треба напоменути да се сезонски обрасци промена понекад разликују од овог општег вишегодишњег просека. Због тога је пожељно да се симулације водних ресурса врше на дневној временској резолуцији, а резултати се усредњавају на сезонској скали у зависности од уочених трендова.

Резултати симулације утицаја сезонских водних ресурса по сценарију RCP4.5 (Слика 8) и по сценарију RCP8.5 (Слика 9) показују нијансиранију слику, са израженим разликама између летњих и зимских токова. Обе слике приказују сезонске просечне разлике испуштања између климатских сценарија RCP4.5 или RCP8.5 у односу на контролни временски период (1981-2010. године). Сlike су резултат низа од 7 проучаваних модела Cordex-а и показују расположивост воде за целу територију Републике Србије током четири годишња доба: децембар-јануар-фебруар (ДЈФ); март-април-мај (МAM); јун-јул-август (ЈЈА) и септембар-октобар-новембар (СОН). Можемо видети опште повећање расположивости воде дуж Дунава и Саве за сезону ДЈФ и МAM по сценарију RCP4.5. У летњим месецима (ЈЈА), недостатак воде се може приметити дуж реке Саве, али и широм јужне Србије. Слика 9 приказује мање расположиве воде у поређењу са сценаријом RCP4.5 а Слика 8 дуж Дунава и Саве у сезони ДЈФ и МAM. Веће несташнице се примећују дуж Саве и Мораве у сезони ЈЈА. Из слика 8 и 9 можемо закључити да се генерално у Србији предвиђа повећана расположивост воде зими, а смањена расположивост воде током летњих месеци.

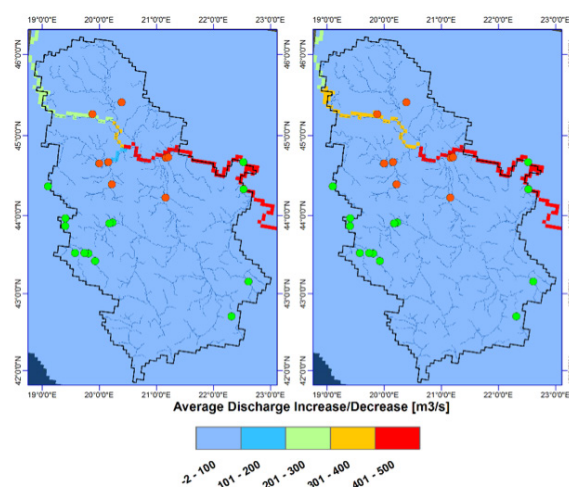
Табеле 4-7 приказују утицаје сценарија RCP4.5 и RCP8.5 (у %) на просечно сезонско испуштање у поређењу са контролним временским периодом 1981.-2010. године за хидроелектране и термоелектране.



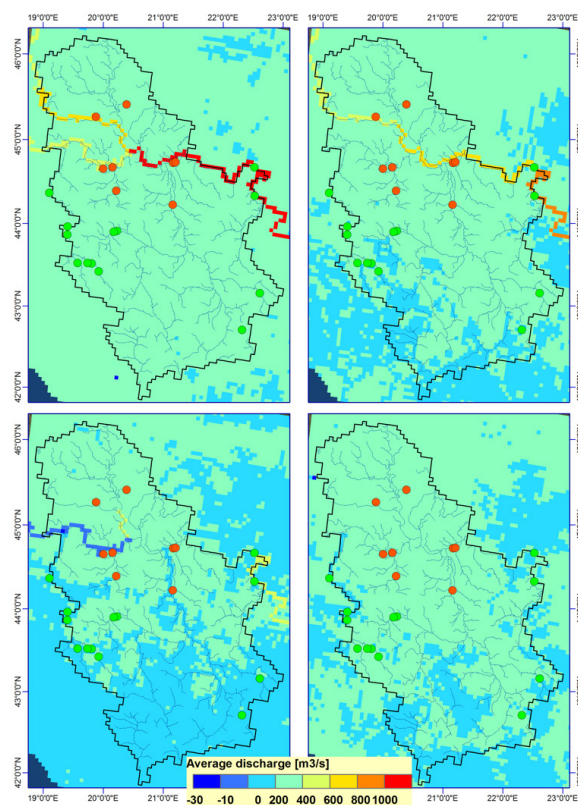
Слика 6. Преглед проучаваних хидроелектрана и термоелектрана у Србији

Бр.	Назив електране	Капацитет [MW]	Гориво	Ширина	Дужина	Потражња воде у м3/год.	Врста хлађења
1	Нови Сад А1	135	GAS	45.27	19.88	83,220,000	Једнократно
	Нови Сад А2	110	GAS	45.27	19.88	105,120,000	Једнократно
2	Зрењанин	120	GAS	45.41	20.39	1,445,400	
3	Колубара А	110	LIG	44.39	20.22	4,015,000	Расхладна кула са механичком циркулацијом
4	Костолац А	100	LIG	44.72	21.17	166,440,000	Једнократно
	Костолац А	210	LIG	44.72	21.17	283,824,000	Једнократно
5	Костолац Б	366	LIG	44.73	21.21	409,968,000	Једнократно
	Костолац Б	366	LIG	44.73	21.21	409,968,000	Једнократно
6	Морава	125	LIG	44.22	21.16	6,205,000	Једнократно
7	Никола Тесла А1	210	LIG	44.67	20.16	8,760,000	Једнократно
	Никола Тесла А2	210	LIG	44.67	20.16	8,760,000	Једнократно
	Никола Тесла А3	335	LIG	44.67	20.16	9,490,000	Једнократно
	Nikola Tesla А4	308.5	LIG	44.67	20.16	9,490,000	Једнократно
	Никола Тесла А5	308.5	LIG	44.67	20.16	9,490,000	Једнократно
	Никола Тесла А6	348.5	LIG	44.67	20.16	9,490,000	Једнократно
8	Никола Тесла Б1	620	LIG	44.65	20.01	26,280,000	Једнократно
	Никола Тесла Б2	620	LIG	44.65	20.01	26,280,000	Једнократно

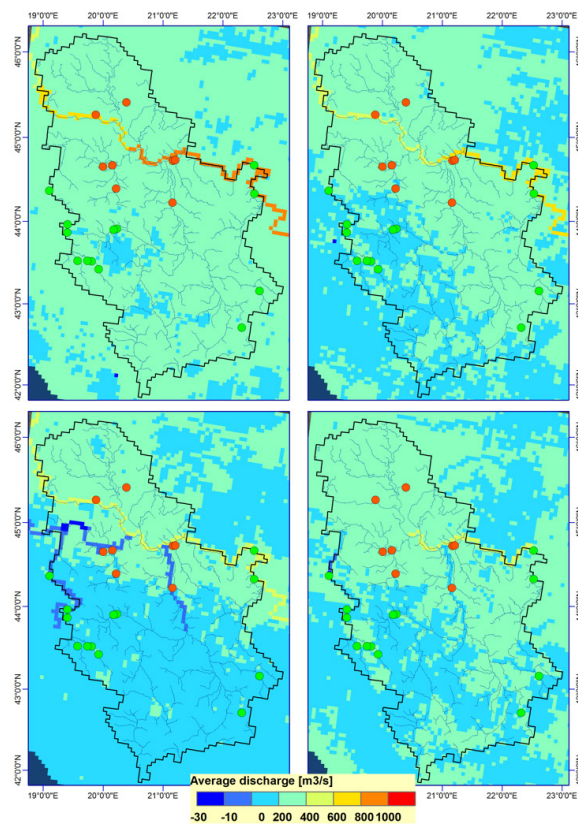
Табела 3. Приказ термоелектрана у Србији



Слика 7. Просечно повећање/смањење протока при промењеној клими (лево: RCP4.5; десно: RCP8.5) у поређењу са контролним временским периодом 1981-2010. године



Слика 8. Разлике у просечном сезонском испуштању према климатском сценарију RCP4.5 у поређењу са контролним временским периодом (1981.-2010. године) (низ од 7 проучаваних модела Cordex-a); горе лево: ДЈФ; горе десно: МАМ; доле лево: ЈЈА; доле десно: СОН



Слика 9. Разлике у просечном сезонском испуштању према климатском сценарију RCP8.5 у поређењу са контролним временским периодом (1981.-2010. године) (низ од 7 проучаваних модела Cordex-a); горе лево: ДЈФ; горе десно: МАМ; доле лево: ЈЈА; доле десно: СОН

У Табели 5 је дат детаљан преглед колики суфицит/дефицит воде можемо очекивати на разматраним хидроенергетским локацијама према сценарију RCP4.5. Уочавамо да се очекује да ће све станице имати повећану расположивост воде у периоду ДЈФ. Предвиђене су одређене несташнице за ХЕ Врла 1-4, Бајина Башта, Зворник, Пирот и Потпећ, посебно у периоду ЈЈА (т.ј. до -17% за Врлу 1-4). Гледајући годишњи просек, очекује се да ће у свим хидроелектранама доћи до повећања расположивости воде.

Бр.	Назив електране	ДЈФ	МАМ	ЈЈА	СОН	Просечно
1	Увац	34.38	11.22	7.92	19.31	18.21
2	ХЕ Бајина Башта Г1	30.23	6.43	-6.31	-4.58	6.44
3	ХЕ Ђердап 1	22.40	11.36	4.69	3.37	10.46
4	Кокин Брод	28.07	14.50	7.76	16.46	16.70
5	Међувршје	24.42	4.58	7.90	8.12	11.26
6	Овчар Бања	24.26	3.47	7.13	8.82	10.92
7	ХЕ ЂЕРДАП II	22.39	11.37	4.68	3.32	10.44
8	ХЕ Врла 1-4	43.86	-0.32	-17.17	8.51	8.72
9	РХЕ „Бајина Башта“	10.66	1.89	-1.80	-0.74	2.50
10	Бистрица	28.53	13.75	7.22	15.86	16.34
11	Зворник	25.91	7.18	-3.82	-3.43	6.46
12	Пирот	23.23	4.93	-11.92	-0.26	4.00
13	Потпећ	43.29	0.27	-11.08	3.91	9.10

Табела 4. Утицај климатских промена према сценарију RCP4.5 (у %) на просечно сезонско испуштање у поређењу са контролним временским периодом 1981.-2010. године за хидроелектране

У Табели 5 је дат детаљан преглед колики суфицит/дефицит воде можемо очекивати на разматраним термоенергетским локацијама према сценарију RCP4.5. Уочавамо највећу расположивост воде у периоду ДЈФ са одређеном негативном тенденцијом у периоду ЈЈА за електране Нови Сад, Зрењанин и Костолац. Ипак, предвиђено је да ће, према сценарију RCP4.5, доћи до општег годишњег повећања у свим термоелектранама.

Бр.	Назив електране	ДЈФ	МАМ	ЈЈА	СОН	Просечно
1	Нови Сад А1 и А2	23.87	6.32	-3.13	2.75	7.45
2	Зрењанин	23.95	6.46	-2.94	2.90	7.59
3	Колубара А	21.69	16.44	1.54	13.57	13.31
4	Костолац А	27.07	7.28	-2.35	7.15	9.79
5	Костолац Б	20.73	13.21	5.16	4.17	10.82
6	Морава	58.21	23.29	13.26	32.73	31.87
7	Никола Тесла А	41.65	27.59	35.07	46.43	37.68
8	Никола Тесла Б	22.79	10.73	3.99	4.54	10.51

Табела 5. Утицај климатских промена према сценарију RCP4.5 (у %) на просечно сезонско испуштање у поређењу са контролним временским периодом 1981.-2010. године за термоелектране

Бр.	Назив електране	ДЈФ	МАМ	ЈЈА	СОН	Просечно
1	Увац	14.66	5.59	0.12	3.89	6.07
2	ХЕ Бајина Башта Г1	15.73	-0.93	-12.92	-14.83	-3.24
3	ХЕ Ђердап 1	17.85	8.08	5.78	4.64	9.09
4	Кокин Брод	9.25	7.66	-0.04	4.18	5.26
5	Међувршје	3.35	-3.54	-7.93	-6.98	-3.77
6	Овчар Бања	2.73	-3.60	-8.91	-5.96	-3.93
7	ХЕ ЂЕРДАП II	17.84	8.08	5.78	4.61	9.08
8	ХЕ Врла 1-4	30.16	2.90	-15.06	5.35	5.84
9	РХЕ „Бајина Башта“	-0.20	-3.37	-8.25	-5.26	-4.27
10	Бистрица	9.45	6.81	-0.72	3.32	4.72
11	Зворник	13.70	0.11	-9.36	-10.42	-1.49
12	Пирот	18.47	3.26	-12.97	-3.65	1.28
13	Потпећ	23.59	-4.69	-14.30	-7.55	-0.74

Табела 6. Утицај климатских промена према сценарију RCP8.5 (у %) на просечно сезонско испуштање у поређењу са контролним временским периодом 1981.-2010. године за хидроелектране

У Табели 6 је дат детаљан преглед очекиваног суфицита/дефицита воде на разматраним хидроенергетским локацијама према сценаријима RCP8.5. Видимо да се очекује да у ХЕ Ђердап 1 и 2 дође до повећања испуштања за око 18% у сезони ДЈФ (децембар-јануар-фебруар), што се смањује како се иде ка топлијим периодима године, са просечном променом испуштања од око 5% у сезони СОН (септембар, октобар, новембар). Ово указује на чињеницу да ће генерално за производњу хидроенергије бити на располагању више воде (годишња промена од +10%), али и за друге потребе у овом региону, попут пољопривреде и туризма, што даље указује на то да би требало успоставити ефикасан и правилан механизам равнотеже како би потрошња воде свих корисника била задовољена.

Све остале хидроелектране показују исту тенденцију повећања испуштања за период ДЈФ. Међутим, све оне показују негативну тенденцију, посебно у периоду ЈЈА када ће потражња за електричном енергијом бити још већа (због већег коришћења климатизације, вртларства/ заливања башти) што указује на могући проблем несташнице воде за производњу довољно електричне енергије.

У Табели 7 је дат детаљан преглед очекиваног суфицита/дефицита воде на разматраним термоенергетским локацијама према сценаријима RCP8.5. Као што је то био случај са хидроелектранама које се налазе у северној Србији, постоји иста позитивна тенденција испуштања за све термоелектране за период ДЈФ (повећање од 13%-32%). Међутим, у периоду ЈЈА уочена је одређена негативна тенденција у постројењима у Костоцу А, Зрењанину и Новом Саду која би могла негативно утицати на потражњу расхладне воде и тако потенцијално утицати на производњу електричне енергије. Упоређујући промене везане за сезонско испуштање према сценаријима RCP 4.5 и RCP 8.5 за све електране, могли бисмо очекивати критичније ситуације за електране према сценарију RCP 8.5, по коме би многе електране у будућности постале рањивије.

Бр.	Назив електране	ДЈФ	МАМ	ЈЈА	СОН	Просечно
1	Нови Сад А1 и А2	14.23	0.66	-3.49	3.78	3.79
2	Зрењанин	14.28	0.73	-3.34	3.84	3.87
3	Колубара А	13.05	9.16	3.09	6.65	7.99
4	Костолац А	15.05	2.52	-10.63	-1.52	1.35
5	Костолац Б	20.41	14.50	8.30	6.82	12.51
6	Морава	32.49	8.84	7.24	16.46	16.26
7	Никола Тесла А	25.10	5.13	24.70	33.17	22.02
8	Никола Тесла Б	18.10	7.67	5.43	5.37	9.14

Табела 7. Утицај климатских промена према сценарију RCP8.5 (у %) на просечно сезонско испуштање у поређењу са контролним временским периодом 1981-2010. године за термоелектране

6. Потреба за прилагођавањем

Озбиљност неких од пројектованих промена везаних за расположивост воде указује на то да ће бити потребни различити механизми прилагођавања како би се смањиле последице по становништво и економске активности изложене смањењу расположивости воде, посебно у условима већег загревања. Како расположивост воде зависи од узводних вода, то захтева даље напоре у водној политици између Србије и суседних земаља, као и међународно управљање водним ресурсима у речним сливовима. Ово је већ оперативно у складу са Оквирном директивом о водама и кроз рад разних међународних комисија за сливове река, попут Дунава и Саве.

Видели смо да се хлађење скоро свих термоелектрана у Србији врши по једнократном систему, што значи да се вода узима директно из реке, преусмерава кроз кондензатор где упија топлоту из паре, а затим се испушта назад у реку на вишим температурама. Иако је ово енергетски најефикаснији начин хлађења, то доводи до врло великих количина дневног захватања воде, као што је приказано у Табели 3. Уређаји за захватање воде у електранама са овом врстом хлађења могу убити неколико милиона риба годишње, а због виших температура испуштања низводно, а понекад чак и изнад еколошки пожељних опсега, ово такође може утицати на читав водени екосистем. Будуће моделирање температуре воде би могло дати одговоре на питање у којој мери би промена климе и рад термоелектрана могли утицати на рибљи екосистем.

С обзиром на то да је ово доминантни тип хлађења, са промењеном климом, вода потребна за рад једнократних расхладних система не би била на располагању током целе године, што би последично учинило електране рањивима у време суша и екстремних врућина (сезона ЈЈА). Као опција прилагођавања, прелазак на рециркулационе расхладне системе (хлађење помоћу расхладне куле са циркулацијом) значајно би смањило потрошњу воде у поређењу са једнократним системима за хлађење. Расхладни торањ такође узима воду из реке, али је захваћена количина 95% мања него код једнократних система за хлађење, а самим тим је смањен негативан утицај на екосистеме.

Резултати показују да ће, према оба сценарија (RCP4.5 и RCP8.5), ефекти климатских промена утицати на производњу хидроенергије која зависи од расположивости воде, посебно у јужној Србији. У овим регијама, климатске промене могу резултирати недостатком воде, што доводи до смањења речних токова, мање акумулације воде, а тиме и до мање количине воде која може проћи кроз турбине за производњу електричне енергије. Насупрот томе, према оба сценарија, климатске промене у северној Србији, посебно у периоду ДЈФ, могу повећати учесталост и интензитет екстремних падавина. Можемо закључити да ће нека подручја у Србији имати одређене проблеме везане за несташицу воде, док ће друга имати обиље воде.

Ова варијабилност очекиваних хидрометеоролошких промена широм Србије, као што је приказано на обрасцима падавина, је образложење за опције прилагођавања које се овде разматрају. У перспективи прилагођавања на климатске промене, од суштинског је

значаја да се руководиоци у хидроелектранама упознају са будућим условима у којима ће свака електрана радити. Климатске промене ће резултирати сезонским варијацијама водног циклуса, са дужиим сушним периодима током којих ће количине воде бити мање него обично, раним топљењем снега у Централној Европи које ће резултирати почетним повећањем расположивости воде дуж Дунава и Саве, након чега следи погоршање везано за расположивост воде. Сви ови феномени захтевају темељну ревизију планирања рада и одржавања хидроелектрана и могуће техничке интервенције отпорне на промену климе. У ситуацијама несташице воде, такође би се тражило да се процени временски оквир потражње од стране различитих корисника поред електропривредних предузећа: пољопривредника, рибарских газдинстава, домаћинстава, водног саобраћаја, рекреативних активности итд.

С друге стране, периоди са повећаном количином падавина и повећањем протока би могли резултирати повећаном појавом поплава на локацијама брана, укључујући преливање, прекиде, оштећење опреме и негативне утицаје низводно. У овим ситуацијама, воду је потребно безбедно испустити како би се смањила штета нанета постројењима, низводним екосистемима и инфраструктури коју користе људи, као и њиховим активностима. Постоје бројне техничке могућности које се могу применити приликом управљања изливањем брана, као што су преливи/преливни канали и покретне конструкције/капије.

Истичемо да у централним и јужним регионима Србије, а посебно дуж Саве, Мораве и Дрине, предвиђено смањење расположивости воде у летњим месецима негативно утиче на производњу хидроенергије са једне стране, а са друге на потражњу расхладне воде за термоелектране. Термоелектране имају исту улогу у Србији као хидроелектране. Како би се осигурала потражња у периодима смањене производње хидроенергије, термоенергетски капацитети морају да повећају производњу. Ово је генерално скупље од производње хидроенергије. Повећање коришћења енергије ветра и сунца/соларне енергије доприноси попуњавању празнине коју остављају хидро и термоенергија.

Резултати ове студије указују на то да у склопу енергетске политике у Србији треба да се размотре утицаји климатских промена у планирању капацитета производње електричне енергије. Са глобалним загревањем, хидроелектране ће постати још вреднија имовина захваљујући повећаној расположивости воде, посебно у подунавским регијама. С друге стране, смањена расположивост воде ће смањити расположиве капацитете хидроелектрана, као и термоелектрана у централној и јужној Србији. Прилагођавањем, надоградњом на технологије хлађења уз употребу мање количине воде, могао би се избећи већи део губитака капацитета коришћењем једнократног хлађења са водом узетом директно из реке. Проширење међурегионалних електроенергетских веза је начин да се уравнотеже еволутивни обрасци производње широм Балкана и повезани трошкови.

7. Литература:

1. Bisselink B., Bernhard J., Gelati E., Adamovic M., Guenther S., Mentaschi L., et al: Impact of a changing climate, land use, and water usage on Europe's water resources, EUR 29130 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-79-80288-1, doi: 10.2760/09027, JRC110927, 2018.
2. De Roo, A.P.J., Wesseling, C.G., and W.P.A. Van Deursen (2000), Physically-based river basin modelling within a GIS: The LISFLOOD model, Hydrological Processes, Vol.14, 1981-1992.
3. Dosio A. (2016), Projections of climate change indices of temperature and precipitation from an ensemble of bias-adjusted high-resolution EURO-CORDEX regional climate models, J. Geophys. Res. Atmos. 121: 5488–5511, <https://doi.org/10.1002/2015JD024411>.
4. Hengl, T., de Jesus, J.M., MacMillan, R.A., Batjes, N.H., Heuvelink, G.B.M., et al. (2014), SoilGrids1km — Global Soil Information Based on Automated Mapping. PLoS ONE 9(8): e105992. doi:10.1371/journal.pone.0105992.
5. Jacob, D., et al. (2014), EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research, Reg. Environ. Change, 14, 563–578, doi:10.1007/s10113-013-0499-2.
6. Lehner, B., Verdin, K., and A. Jarvis (2008), New global hydrography derived from spaceborne elevation data, Eos, Transactions, AGU, 89(10), 93-94.
7. Moss, R., et al. (2010), The next generation of scenarios for climate change research and assessment, Nature, 463, 747-756.
8. Riahi, K., Rao, S., Krey, V., Cho, C., Chirkov, V., Fischer, G., Kindermann, G., Nakicenovic, N., and P. Rafai (2011), RCP 8.5—A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. Climatic Change, 109, 33–57, doi:10.1007/s10584-011-0149-y.
9. UNFCCC (2015), The Paris Agreement, <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>.
10. Van der Knijff J.M., Younis, J., and A.P.J. De Roo (2010), a GIS-based distributed model for river-basin scale water balance and flood simulation, International Journal of Geographical Information Science, Vol. 24, No.2, 189-212.
11. Wu, H., Kimball, J.S., Li, H., Huang, M., Leung, L.R., and R. F. Adler (2012), A new global river network database for macroscale hydrologic modeling, Water Resour. Res., 48(9), doi:10.1029/2012WR012313.