

Vplivi podnebnih sprememb na vodne vire in vodooskrbo v Sloveniji

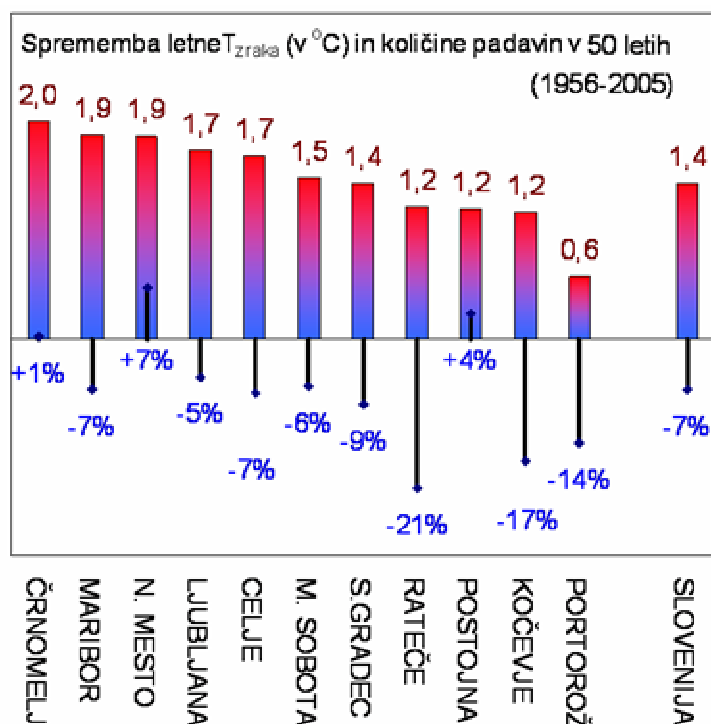
Lučka Kajfež-Bogataj
Univerza v Ljubljani in IPCC Ženeva

1. Uvod

Podnebje je vse bolj cenjeni naravni vir, saj odločilno vpliva na stanje in razvoj ekosistemov, vodne vire, pridelavo hrane, proizvodnjo in porabo energije, promet in industrijsko dejavnost. V zadnjih desetletjih smo priča vse bolj očitnemu spreminjanju podnebja. Globalno ogrevanje našega planeta je dokazano s fizikalnimi meritvami. V zadnjih letih je znanost o podnebnih spremembah izrazito napredovala, saj je na voljo več meritev, poglobljenejše analize in boljši simulacijski modeli. Zato je mnenje klimatologov, da se bodo spremembe podnebja nadaljevale še bolj izrazito, saj bo prišlo do sprememb v celotnem podnebnem sistemu. Zviševala se bo temperatura zraka, tal in oceanov, spreminjala se bo vlažnost zraka, oblačnost, padavinski vzorci, jakost in pogostnost meteoroloških pojavov (megla, snežna odeja, nevihte) in vremenskih ujm.

2. Podnebne spremembe in Slovenija

Evropa se je v zadnjem stoletju ogrela za 1°C , kar je več kot globalno povprečje. Severna Evropa ima že značilno več padavin, Sredozemlje pa postaja bolj sušno. Podobni trendi se bodo nadaljevali tudi v bodoče. Povprečna letna temperatura zraka se je v Sloveniji v zadnjih 50 letih (od 1956 do 2005) statistično značilno povečala za $1,4 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$ (slika 1). Časovne spremembe letne količine padavin na večini območij Slovenije niso statistično značilne, z izjemo Kočevja in Rateč, kjer pa je v zadnjih 50 letih zaznati statistično značilno upadanje padavin. Pri padavinskem režimu opažamo upadanje količine padavin v prvi polovici leta in naraščanje v drugi polovici. Padavinski režimi imajo v večini krajev v zadnjih 15 letih v povprečju maksimum padavin v oktobru. Izjema sta Maribor in Murska Sobota, ki še vedno ohranjata maksimum padavin v juniju. Čeprav letna količina padavin v Sloveniji značilno še ne upada, pa beležimo vse pogostejše poletne suše. Od devetih hudih suš v Sloveniji v zadnjih 40 letih (1967, 1971, 1983, 1992, 1993, 2000, 2001, 2003, 2006) jih je bilo kar šest v zadnjih 15 letih. Tabela 2 podaja, kot ilustracijo ostalih trendov v Sloveniji, primerjavo vrednosti izbranih meteoroloških spremenljivk v obdobjih 1961-1990 in 1991-2005 in absolutne ter relativne razlike za Ljubljano.



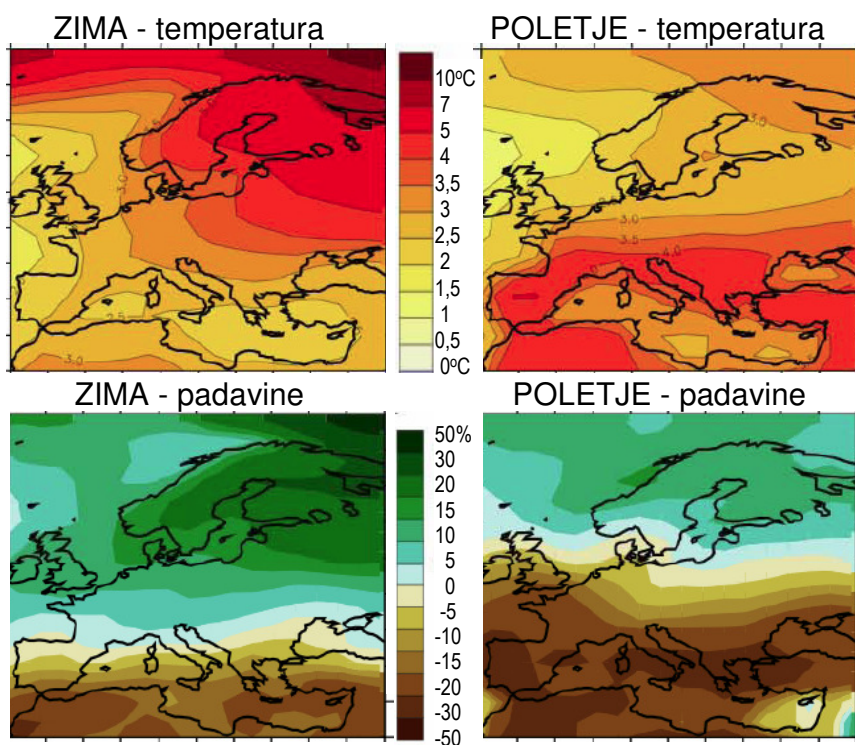
Slika 1:

Opazovane spremembe povprečne letne temperature zraka in letne količine padavin v nekaterih slovenskih krajih.

Tabela 1: Primerjava vrednosti izbranih meteoroloških spremenljivk v obdobjih 1961-1990 in 1991-2005 in absolutne ter relativne razlike za Ljubljano

	1961-1990	1991-2005	razlika	% razlike
povprečna letna temperatura	9,8°C	11,0°C	1,2°C	
št. dni z najnižjo temp. ≤ 0.0 °C	89,6	78,8	-10,8	-12,1
št. dni z najvišjo temp. ≥ 25 °C	60,6	77,2	16,6	27,4
povp. relativna vlaga ob 14. uri	62,4 %	59,1 %	-3,3 %	
povp. trajanje sončnega obsevanja	1712 ur	1950 ur	238 ur	13,9
letna višina padavin	1393 mm	1356 mm	-37 mm	-2,7
št. dni s snežno odejo ob 7. uri	64,9	49,0	-15,9	-24,5
št. dni s padavinami ≥ 1.0 mm	114,8	108,0	-6,8	-5,9

V prihodnje lahko pričakujemo, da bo Slovenija še bo toplejša in poleti sušnješa, snega bo manj, ekstremnega vremena pa več. Zima nam bo prinesla nekaj več padavin (od 5 do 10%), poletje pa do 20% manj (slika 2).



Slika 2: Spremembe povprečne zimske in poletne temperature zraka in količine padavin v Evropi do konca 21. stoletja.

3. Posledice podnebnih sprememb za vodne vire in vodooskrbo v Sloveniji

Upadanje količine padavin poleti bo imelo za posledice več suš z negativnimi učinki na dostopnost vodnih virov. Pričakujemo lahko daljša sušna obdobja ter krajša in krajevno razporejena obdobja intenzivnih padavin. Posledično se bodo spremenili časovni in geografski poplavni vzorci, upadli bodo srednji nizki pretoki vodotokov, prav tako pa lahko pričakujemo tudi težave s preskrbo z vodo zaradi padca nivoja podtalnice oziroma črpanja zalog podtalne vode pod obstoječi spodnji nivo. Zaradi dviga morske gladine bodo poplavno ogrožena vsa obalna mesta, Koper, Izola, Portorož, Piran in soline.

Poleg obalnega in kraškega območja so zaradi podnebnih sprememb v Sloveniji najranljivejša območja, ki so v obstoječem stanju podnebja: (a) problematična s stališča preskrbe s pitno vodo; (b) izpostavljena suši; (c) izpostavljena vodni in eolski eroziji; (č) izpostavljena običajnim in katastrofalnim poplavam; (d) znotraj območij hudourniškega režima pretokov in delovanja vode in vodnih količin; ali (e) izpostavljena nazadovanju gozdne zarasti.

V tabelah 2 in 3 so zbrani potencialni vplivi podnebnih sprememb na vodno in vodnogospodarsko okolje. Zaradi pomanjkanja vode bodo posredno prizadete dejavnosti kmetijstvo, energetika in predelovalna industrija. Posledica prizadetosti gospodarskih panog in preskrbe z vodo pa bo dražje bivanje, predvsem voda, hrana in električna energija. Socialni vplivi na slovenski prostor preko meja iz sosednjih držav (migracije prebivalstva iz huje prizadetih sosednjih regij) so težje opredeljivi.

Tabela 2: Pregled vplivov podnebnih sprememb na vodno naravno okolje

NARAVNO OKOLJE				
vodno okolje	segment okolja	sprememba v okolju	posledica spremembe v okolju	sinergijski vplivi v okolju
akvatični in obalni ekosistemi	obala	<ul style="list-style-type: none"> ▪ dvig morske gladine; 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ pogostejše kritične gladine morja ▪ povečanje poplavne ogroženosti ▪ povečanje delovanja erozijskih sil ▪ dvig gladine podtalnice 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ pomikanje obalne črte proti notranjosti ▪ progresivna salinizacija obalnih vodonosnikov
	plimovalna območja	<ul style="list-style-type: none"> ▪ umik območij plimovanja v notranjost; 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ lokalne izgube nadmorske višine ▪ poglobljanje plimovalnih območij ▪ povečanje delovanja erozijskih sil 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ sprememba površinskega pokrova plimovalnih območij ▪ uničenje ekosistemov
	brakična voda	<ul style="list-style-type: none"> ▪ prodiranje globlje v zalive in obalno zaledje; 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ kompleksne ekološke posledice ▪ spremembe obstoječih ekosistemov 	
	transport sedimentov	<ul style="list-style-type: none"> ▪ sprememba vetrovnih razmer in smeri vetrov; 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ sprememba količine transportiranih snovi ▪ vpliv na ravnovesje snovi v zaledju obalnih območij 	
	vnos snovi	<ul style="list-style-type: none"> ▪ spremenjena distribucija padavin; 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ spremembe substance in vnosa snovi v vodno okolje 	
jezerski in rečni ekosistemi	kakovost vode	<ul style="list-style-type: none"> ▪ segrevanje talne plasti zraka; ▪ spremembe pretočnih režimov; 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ dvig temperature vode in tal 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ sprememba kakovosti vode ▪ sprememba sestave akvatičnih skupnosti
	Pretok in vodne količine	<ul style="list-style-type: none"> ▪ segrevanje ozračja in kompleksne podnebne spremembe; 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ višji zimski pretoki ▪ nižji poletni pretoki ▪ zmanjšanje količine vode, vezane v snežni odeji ▪ povečanje količine padavin v zimskem obdobju 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ omejevanje naseljevanja poplavnih območij ▪ povečana nevarnost poplav ▪ zmanjšana sposobnost odvodnjavanja visokovodnih zadrževalnikov in retenzijskih območij ▪ pomanjkanje kapacitet zadrževalnikov za bogatenje nizkih voda
	Sedimentacija	<ul style="list-style-type: none"> ▪ povečanje transporta trdnih delcev in plavin; 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ povečana sedimentacija 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ motnje v delovanju zadrževalnikov ▪ zamuljevanje zadrževalnikov v območjih povečane erozije
	erozija tal	<ul style="list-style-type: none"> ▪ pogostejše nevihtne padavine; 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ povečana erozija v območjih redkejšega površinskega pokrova in v območjih kmetijskih površin 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ preobremenitve mestnih kanalizacij in izpustov za visoke vode komunalnih čistilnih naprav ▪ poslabšanje razmerja odpadnih voda in sprejemnikov ob suši

Tabela 3: Pregled vplivov podnebnih sprememb vodnogospodarsko okolje

GOSPODARSKO OKOLJE				
Vodnogospodarsko okolje	segment okolja	sprememba v okolju	posledica spremembe v okolju	sinergetski vplivi v okolju
komunalne dejavnosti	Podtalnica	<ul style="list-style-type: none"> ▪ sprememba količine padavin in sezonske razporeditve količin padavin; ▪ povečanje evapotranspiracije; 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ povečanje črpanja podtalnice v zimskih obdobjih v območjih zelo prepustnih tal; ▪ zmanjšanje količine podtalnice v poletnih mesecih, zlasti v območjih manj prepustnih tal; 	
	Vodoskrba	<ul style="list-style-type: none"> ▪ segrevanje ozračja in podnebne spremembe; 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ pomanjkanje kapacitet zadrževalnikov za bogatenje nizkih voda; ▪ manjši pretok vode v poletnih mesecih; 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ povečanje koncentracij hranil in škodljivih snovi; ▪ evtrofizacija vodnih teles;
Hydroenergetske dejavnosti	energija	<ul style="list-style-type: none"> ▪ zmanjšani pretoki vodotokov; ▪ povečana temperatura vode; 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ manj električne energije iz hidroelektrarn poleti in pozimi; ▪ manjša sposobnost prevzemanja termičnih obremenitev; 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ manjša učinkovitost termoelektrarn;
transportne dejavnosti	Navigacija	<ul style="list-style-type: none"> ▪ zmanjšan pretok vodotokov v poletnih mesecih; 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ zmanjšanje globine vode; 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ omejen rečni transport;

Povečanje povprečne letne temperature za 1°C pričakujemo lahko že v naslednjih 20 letih. Tabela 4 kaže, da je občutljivost na povečanje srednjih obdobjnih padavin za vsa porečja enaka. Odtoki se povsod povečajo za 10%. Ob zmanjšanju padavin pa se že pokažejo velike razlike na spremembah srednjih obdobjnih odtokov porečij. Vidimo, da bo v tem primeru največji primanjkljaj na porečjih vzhodne Slovenije, kjer je razmerje med neto padavinami in evapotranspiracijo najmanjše.

Tabela 4: Spremembe odtokov v odvisnosti od spremembe temperature in padavin

dvig temperature	+1⁰C		+2,5⁰C	
sprememba padavin	+10%	-10%	+10%	-10%
<i>porečje</i>	sprememba odtoka (%)			
Jadran	10	-26	-2	-37
Pomurje	10	-69	-34	-114
Podravje	10	-33	-7	-50
Posavje	10	-24	0	-34
Posočje	10	-17	4	-23
Pokolpje	10	-24	-1	-35

Pri povečanju temperature za 2,5⁰C so spremembe odtokov na posameznih porečjih še izrazitejše. Izračun sprememb srednjih obdobjnih odtokov v Pomurju kaže, da je izhlapevanje večje od količine srednjih padavin, kar pomeni, da bodo struge manjših vodotokov, predvsem ob zmanjšanju padavin za 10%, pretežno suhe.

Pričakujemo tudi upadanje srednjih nizkih pretokov. Znižanje srednjih nizkih pretokov in višje temperature okolja lahko povzročijo zmanjšanje samočistilne sposobnosti vodotokov, manjšo sposobnost sprejemanja efluentov iz komunalnih in industrijskih čistilnih naprav, manjše razpoložljive količine vode za odvzem, slabše napajanje vodonosnikov, itd.

Zaradi znižanja srednjih nizkih pretokov bo ogrožena varnost preskrbe s kakovostno pitno vodo. Vodotoki, za katere je danes značilna letna hidrološka dinamika s poletno presušitvijo brez antropogenih vplivov, so del biotopa, ki je na te sezonske spremembe prilagojen.

V primeru nastopa podnebnih sprememb proces ne bo trenuten, temveč dolgotrajnejši. Biotop, že v obstoječem stanju prilagojen na suha obdobja brez vode v strugi vodotoka, se bo z naravnimi procesi prilagodil na nove podnebne razmere. Ranljivost tovrstnih vodotokov zaradi podnebnih sprememb je torej minimalna. Primeri takšnih vodotokov v Sloveniji so Dragonja, Badaševica in nekateri ostali vodotoki, ki se zlivajo v Jadransko morje, ter nekateri vodotoki v Prekmurju.

Vodotoki oziroma deli vodotokov, na katerih odvzema voda za potrebe vodnogospodarskih in energetskih dejavnosti (vodne akumulacije, hidrenergetski objekti), bodo v primeru upada srednjih nizkih pretokov zelo ranljivi. V kolikor odvzete količine ne bomo prilagodili spremenjenim podnebnim razmeram in količinam razpoložljive vode v strugah, bodo izpostavljeni devastacijam okolja in propadanju biotopov.

Vodotoki ali deli vodotokov, na katerih se vodne količine nadzorovano spuščajo v strugo reke (akumulacije hidroelektrarn), bodo zaradi podnebnih sprememb manj prizadeti in so tako manj ranljivi. Absolutne količine vode, ki se za določene potrebe spuščajo dolvodno na obstoječih sistemih, bodo v primeru podnebnih sprememb ostale na istih sistemih enake ali vsaj približno enake. Ranljivost v primeru izgradnje novih sistemov pa je težje opredeljiva.

Vodotoki kot prejeniki neočiščenih odpadnih vod (gospodinjstva, industrija, kmetijstvo) in očiščenih odpadnih voda iz komunalnih in industrijskih čistilnih naprav so zelo ranljivi zaradi sprememb v pretoku vodnih količin. Glede na napovedano zmanjšanje srednjih nizkih pretokov bodo koncentracije efluentov v recipientih večje, če bodo količine odpadnih voda in normativi za kakovost enaki.

Zaradi povečanja temperature in možne večje pogostosti sušnih obdobj pričakujemo povečanje rabe vode končnih uporabnikov, prav tako pa poslabšanje pogojev za oskrbo z vodo. Osnovni prilagoditveni ukrepi so ohranjanje kakovosti podtalnice na vodovarstvenih območjih, ki še niso v uporabi, črpanje vode iz višje ležečih vodonosnikov, ki so poselitveno in razvojno manj obremenjeni oziroma manj privlačni kot so lokacije vodonosnikov na ravnih rečnih nanosih, zmanjšanje izgub v omrežju z obnovo vodooskrbnih sistemov, racionalnejša raba oziroma manjša poraba vode v gospodinjstvih in industriji glede na možna daljša sušna obdobja, prilagoditev izpustov čistilnih naprav na možne spremembe srednjih nizkih pretokov, prilagoditev sistemov odvajanja meteornih voda s povečanjem prostornin zadrževalnih bazenov glede na možne močnejše intenzitete padavin ter rezervacija prostora za izgradnjo novih vodnih akumulacij za bogatenje nizkih pretokov.

Možne spremembe podnebnih razmer bodo imele posledice na hidroloških režimih vodotokov in tako tudi v proizvodnji električne energije. Proizvodnja bo prizadeta, a ne onemogočena, cena električne energije pa bo višja, saj bodo za zagotavljanje zadostnih količin električne energije potrebne dodatne investicije. Zaradi spremenjenih hidroloških značilnosti vodotokov ter možnih daljših sušnih obdobj bodo za zagotavljanje zadostnih količin vode na hidroenergetskih turbinah in s tem zmanjšanje potencialne ranljivosti le teh potrebne sezonske ali letne akumulacije vode za hidroenergetske potrebe. Glede na red velikosti porabe vode za hlajenje v hladilnih stolpih termoenergetskih objektov je tehnološko in cenovno najizvedljivejši prilagoditveni ukrep prehod na tehnologijo hlajenja s suhimi hladilnimi stolpi. Na termoenergetskih sistemih s pretočnim sistemom hlajenja pa je glede na možen padec srednjih nizkih količin vode možen prilagoditveni ukrep izgradnja dodatnih hladilnih stolpov.

4. Sklep

Čas je torej za prilagajanje neizbežnim podnebnim spremembam. Zakaj se je treba začeti v Sloveniji takoj prilagajati podnebnim spremembam? Razlogov je cela vrsta:

- klimatskim spremembam se ne moremo izogniti,
- podnebne spremembe bodo morda potekale hitreje in bodo izrazitejše, kot kažejo trenutne ocene,
- pravočasne prilagoditve so učinkovitejše, predvsem pa cenejše, kot prilagajanje v zadnjem hipu,
- ob pravočasni prilagoditvi lahko podnebne spremembe prinašajo tudi nove bodoče možnosti in ne le nevarnost.

5. Literatura

EEA, 2005. Vulnerability and adaptation to climate change in Europe. Technical report No. 7/2005. Luxembourg: Office for Official Publications of the EC, 2006

Frantar, P., 2005. Pretočni režimi slovenskih rek in njihova spremenljivost. Ujma, 2005, št. 19, s.145-152

IPCC, 2007. Climate Change 2007. The Physical Science Basis - Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Secretariat.

Kajfež - Bogataj, L., in Bergant, K., 2005. Podnebne spremembe v Sloveniji in suša. Ujma , št. 19, str. 37-41.

Kajfež-Bogataj, L., in Bergant, K., 2005. Kakšno bo podnebje v Sloveniji v tem stoletju? Ujma, št. 19, str. 218-223.

Kajfež - Bogataj, L, Bergant, K., Zupančič, B., Črepinšek Z., Matajč, I., Leskošek, M., GOMBOC, S., ROBIČ, D., BIZJAK, A., ROGELJ, D., UHAN, J., SKOBERNE, P., Cegnar, T., Hočevar, A., 1999. *Ocena ranljivosti in strategija prilagoditve ekosistemov na spremembo podnebja v Sloveniji*. Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Ministrstvo za okolje in prostor: Hidrometeorološki zavod R Slovenije, 1999.

PRUDENCE, 2005. Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects. Final Report (<http://prudence.dmi.dk>)

Sušnik, A., 2006: Vodni primanjkljaj v Sloveniji in možni vplivi podnebnih sprememb. Magistrsko delo. Ljubljana: Biotehniška fakulteta.