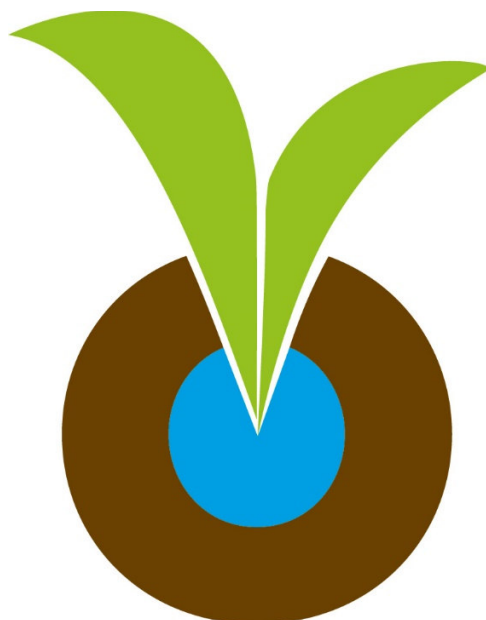


Ranljivost vodonosnikov na podnebne spremembe

**Priporočila in dobre prakse za upravljanje
virov podzemne vode**



Dokument pripravljen za COST akcijo CA19120: WATER isotopes in the critical zONE from groundwater recharge to plant transpiration (WATSON)

<https://watson-cost.eu/>

© 2024, WATSON, Univerza v Firencah, Italija

Avtorji:

Konstantinos Voudouris (Univerza Aristotel v Solunu, Grčija)

Manuel Sapiano (Agencija za energijo in vodo, Malta)

s prispevki:

Miriam Coenders-Gerrits (Univerza za tehnologijo v Delftu, Nizozemska)

Marina Gillon (Univerza v Avignonu, Francija)

Tugbanur Ozen Balaban (Univerza Katip Celeb Izmir i, Turčija)

Gabriele Chiogna (Geozentrum Nordbayern, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Nemčija)

Ilja van Meerveld (Univerza v Zürichu, Švica)

Prevod:

Petra Žvab Rožič (Univerza v Ljubljani, Slovenija)

Polona Vreča (Institut "Jožef Stefan", Slovenija)

Nina Rman (Geološki zavod Slovenije)

Publikacija temelji na delu v okviru COST akcije WATSON, CA19120, ki jo podpira COST (Evropsko sodelovanje na področju znanosti in tehnologije).

COST (Evropsko sodelovanje na področju znanosti in tehnologije) je agencija za financiranje raziskovalnih in inovacijskih mrež. Ukrepi pomagajo povezovati raziskovalne pobude po vsej Evropi in omogočajo znanstvenikom, da razvijajo svoje ideje in jih delijo s svojimi kolegi. To spodbuja njihove raziskave, kariero in inovacije.

www.cost.eu



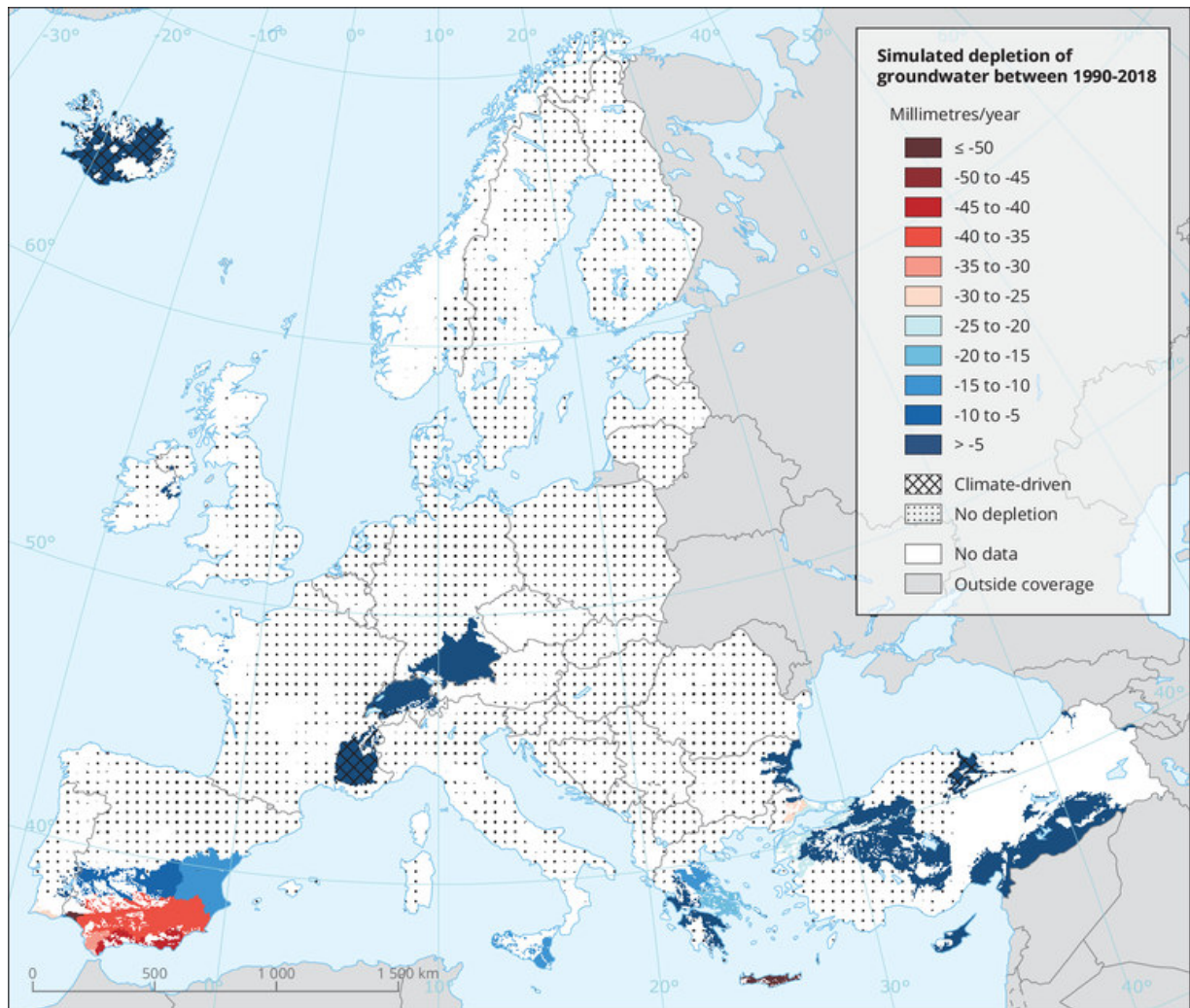
Uvod

Podzemna voda je dragocen naravni vir in ima pomembno vlogo pri zagotavljanju potreb po vodi za gospodinjstvo, industrijsko in kmetijsko rabo ter pri ohranjanju ekosistemov, odvisnih od podzemne vode. Podzemna voda je še posebej pomembna v državah, za katere je značilno pomanjkanje padavin v sušnem obdobju. Na svetovni ravni podzemna voda zagotavlja približno 26 % oskrbe s pitno vodo, 42% za namakanje v kmetijstvu in 24% za neposredne industrijske potrebe (IAH, 2016). Glavni vodonosniki v Evropi so v peskih in prodih (medzrnski vodonosniki) ter peščenjakih, konglomeratih, apnencih, dolomitiziranih apnencih in marmorjih (razpoklinski in kraški vodonosniki).

Podzemna voda je deležna številnih pritiskov, ki jih dodatno povečujejo spremembe rabe zemljišč, vključno z urbanizacijo, povečanimi potrebami po proizvodnji hrane, slabšo kakovostjo vode, slabim upravljanjem in podnebno krizo. Ti pritiski ustvarjajo režim, za katerega je značilno prekomerno izkoriščanje podzemne vode (zaradi pomanjkanja drugih virov v sušnem obdobju in/ali neustreznega izkoriščanja površinskih voda) ter zniževanje gladine podzemne vode, skupaj z zmanjševanjem njenih zalog (negativna/deficitarna vodna bilanca). Sliki 1 in 2 prikazujeta dva značilna zemljevida zniževanja gladine podzemne vode in onesnaženja vodnih teles podzemne vode zaradi kmetijstva v Evropi (podatki Evropske agencije za okolje, <https://www.eea.europa.eu>). Iz njiju je razvidno, da se kakovost številnih vodonosnikov slabša, predvsem kot posledica zasoljevanja zaradi vdora morske vode, ki je neposredna posledica prekomernega črpanja na priobalnih območjih. To se bo zaradi dviga morske gladine še povečalo. Hkrati se kakovost podzemne vode slabša tudi zaradi onesnaževanja z nitrati, pesticidi in drugimi onesnaževali zaradi uporabe gnojil in agrokemikalij. Druga grožnja ohranjanju čiste podzemne vode je nenadzorovano odvajanje neprečiščenih gospodinjskih in industrijskih odpadnih voda v površinske vode in/ali greznice ter uhajanje odpadnih vod iz komunalne infrastrukture. Onesnažena podzemna voda je pogosta na gosto poseljenih, urbaniziranih območjih ter na območjih intenzivne kmetijske in industrijske dejavnosti (WWDR, 2022). Poleg tega bo lahko dolgotrajno prekomerno črpanje prispevalo k širjenju posedanja zemljišč, saj bo znatno znižalo gladino podzemne vode v aluvialnih vodonosnikih, kar bo sčasoma lahko povzročilo škodo na vodovodnih omrežjih in površinski infrastrukturi, vključno s cestami in drugimi storitvami.

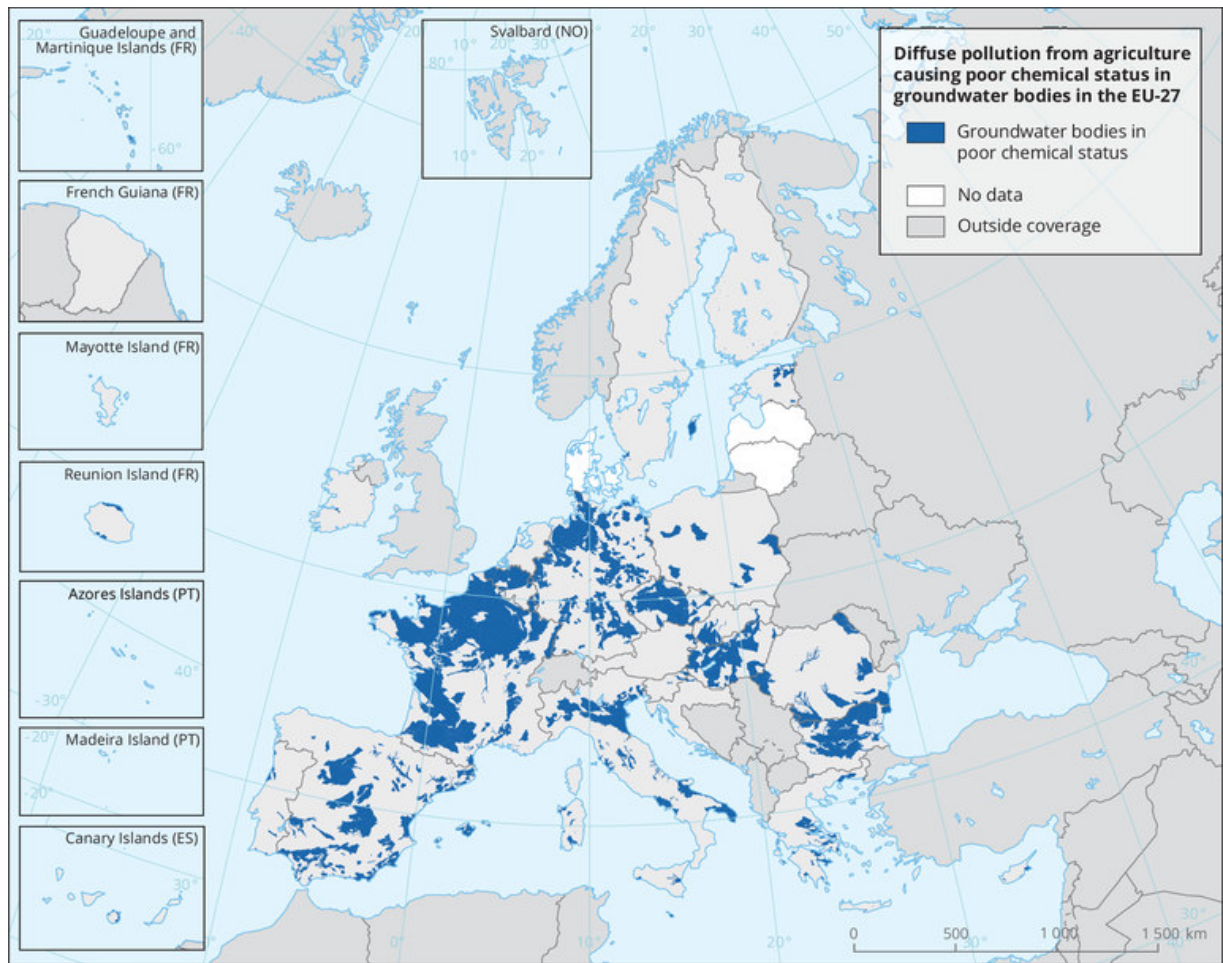
Čeprav je podzemna voda bolj odporna na podnebne spremembe kot številni površinski vodni viri (Amobichukwu et al., 2020), ostaja ranljiva, saj podnebne spremembe vplivajo na spremenjeno napajanje vodonosnih sistemov. Poudarjeno je, da bosta podnebna kriza (poplave, suše, zmanjšane količine padavin) in posledično razširjenost ekstremnih vremenskih dogodkov vplivala na spremenjeno kroženje vode in posledično na drugačno naravno napajanje virov podzemne vode. Ranljivost se pogosto uporablja za opis možnih (škodljivih) vplivov sprememb na podzemno vodo, tudi zaradi podnebnih sprememb. Nistor (2020) navaja, da so območja z visokim in zelo visokim razredom ranljivosti podzemne vode na podnebne spremembe razporejena v srednji in severozahodni Evropi, južno od Britanskega otočja ter na kmetijskih

območjih in obširnih nižinah (Severnoevropska ravnina, Padska nižina, Romunska nižina). Medtem pa so bili za gorska in hribovita območja določeni srednji, nizek in zelo nizek razred ranljivosti (Slika 3). Rezultati analiz stanja kažejo, da sta kakovostno in količinsko stanje podzemne vode v Evropi pod pritiskom podnebnih sprememb (npr. manjša razpoložljivost vode) in človekovih dejavnosti (npr. odlagališča odpadkov, kmetijstvo in namakalne prakse).

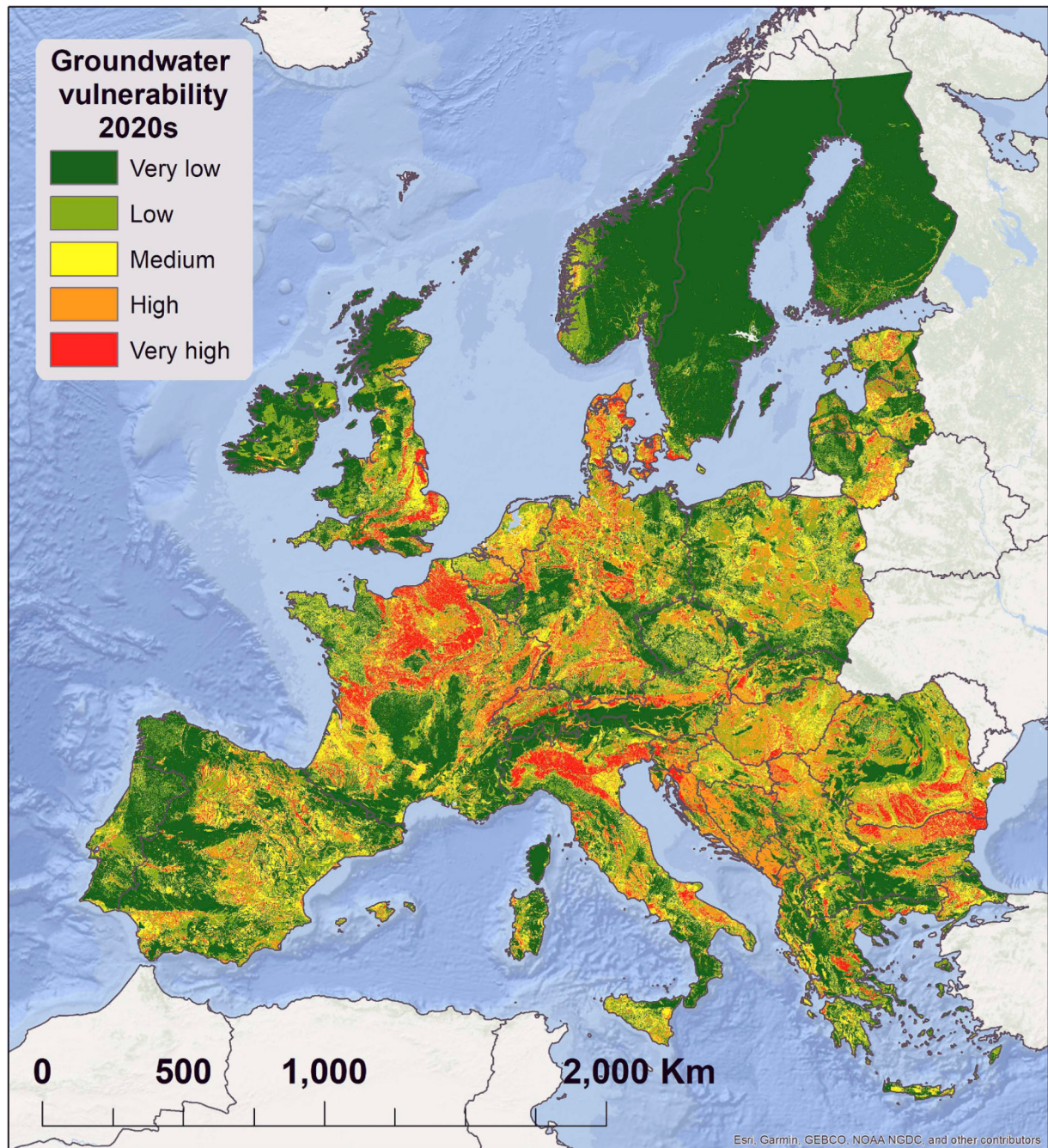


Reference data: ©ESRI

Slika 1: Zniževanje gladine podzemne vode v Evropi v obdobju 1990-2018 (Vir: EEA, <https://www.eea.europa.eu>).



Slika 2: Onesnaženje podzemne vode v Evropi zaradi kmetijstva (Vir: EEA, <https://www.eea.europa.eu>).



Slika 3: Zemljevid ranljivosti podzemne vode v Evropi (Vir: Nistor, 2020).

Priporočila in dobre prakse

Podzemna voda nam lahko pomaga pri prilagajanju na podnebno krizo in zaščiti ekosistemov. Zato jo je treba racionalno izkoriščati in z njo trajnostno upravljati. Voda je v središču krožnega gospodarstva. Zato se je potrebno osredotočiti na krožno gospodarstvo, začenši s ponovno uporabo odpadne vode. Enako pomembno vlogo ima obnova sistemov vodonosnikov z rešitvami, kot je umetno bogatenje podzemne vode (ang. Managed Aquifer Recharge), ki lahko blaži vplive ekstremnih dogodkov in s tem zagotavlja večjo trajnost za rabo podzemne vode. Prav tako ima pri upravljanju virov podzemne vode pomembno vlogo odnos med rabo zemljišč in napajanjem podzemne vode ter njenim varstvom. Evropski projekt PROLINE-CE (<https://programme2014-20.interregcentral.eu/Content.Node/PROLINE-CE.html>) je na primer opredelil prakse gospodarjenja z zemljišči, ki jih je mogoče izvajati s poudarkom na varovanju virov pitne vode. Poleg tega se lahko ob upoštevanju okvira celostnega upravljanja z vodnimi viri oblikujejo tudi prakse upravljanja poplav in suše ob upoštevanju njihovih posledic za podzemno vodo. Nazadnje je potrebna tudi prilagoditev političnih smernic, da se omogoči učinkovito izvajanje zahtevanih ukrepov, potrebnih za boljše upravljanje virov podzemne vode.

Izboljšano učinkovitost rabe vode in trajnost podzemne vode z uporabo načel 5R (reduce - zmanjšanje, reuse - ponovna uporaba, recover - predelava, recycle - recikliranje, replenish - obnavljanje) je mogoče doseči z naslednjimi priporočili (Findidakis in Sato, 2011; Voudouris, 2024), kot je prikazano tudi v preglednici 1:

1. S sočasno uporabo površinske in podzemne vode bi povečali učinkovitost rabe vode in zadovoljili naraščajoče povpraševanje po vodi za namakanje (upravljanje povpraševanja). Ugotavljajo, da je učinkovito varstvo podzemne vode mogoče doseči tako, da podzemne vode ne obravnavamo ločeno, temveč v okviru celostnega upravljanja vodnih virov, ki vključuje površinsko vodo in druge alternativne (nekonvencionalne) vodne vire.
2. Poudarek na reprezentativnih opazovalnih mrežah z namenom zbiranja zanesljivih podatkov v realnem času in razvoju zmogljivosti za interpretacijo podatkov. Učinkovito vključevanje zainteresiranih strani - razširjanje informacij, spodbujanje ozaveščenosti in sodelovanja zainteresiranih strani ter zagotavljanje, da so informacije predstavljene tako, da jih zainteresirane strani razumejo. Podatki o študijah o napajanju podzemne vode, zemljevidi in lokacije vzorčenja, kjer so na voljo podatki o izotopski sestavi vode, so sedaj na voljo na spletni strani COST akcije WATSON (<https://watson-cost.eu>).
3. Gradnja manjših zadrževalnikov na glavnih vodotokih za upočasnitev hudourniških tokov in povečanje napajanja podzemne vode (upravljanje oskrbe) po opravljeni presoji ekoloških vplivov in ob upoštevanju lokalnih razmer.
4. Zmanjšanje količine vode za namakanje z uporabo tehnik varčevanja z vodo. V vsakem primeru je treba metode namakanja prilagoditi podnebnju, pridelku in vrsti tal. Izotopski podatki lahko pomagajo določiti vir vode, ki jo porabi vegetacija (WATSON WG2).

5. Ponovna uporaba očiščene odpadne vode v okviru krožnega gospodarstva za zmanjšanje količine vode, ki izteka v morje in okolje, ter za zagotavljanje vode za namakanje, zlasti na območjih s pomanjkanjem vode.
6. Sprejeti cenovne politike, ki zagotavljajo raven povračila stroškov (vključno s stroški virov in okoljskimi stroški), ki zadostuje za spodbujanje učinkovite rabe vodnih virov, skupaj z ekonomskimi spodbudami za obnovo in učinkovitejšo rabo naravnih sladkovodnih virov. Preprečiti prekomerno izkoriščanje vodonosnikov z določitvijo omejitev odvzema.
7. Uporaba najboljših kmetijskih praks za zmanjšanje količine uporabljenih gnojil in agrokemikalij. To pomeni uporabo določenega tipa in odmerka gnojila v izbranih tleh za določen pridelek ob določenem času. V okviru COST akcije WATSON je bil objavljen pregledni dokument o uporabi podatkov o izotopski sestavi nitratov (Matiatos et al., 2023).
8. Sprejetje ustrezne strategije upravljanja na ravni porečja, ki bo upoštevala podzemno vodo v okviru celovitega upravljanja, vključno z ukrepi za ohranjanje vode, urejanjem obstoječega razvoja, izboljšanjem obstoječe zakonodaje ter izobraževanjem in ozaveščanjem javnosti.
9. Upravljanje poplav in suš v okviru načrtov celostnega upravljanja povodij z izgradnjo ustrezne infrastrukture, npr. protipoplavnih jezov, manjših zadrževalnikov na hudournikih v gorskih območjih, vodnih zbiralnikov itd.
10. Ocena ranljivosti podzemne vode kot posledice zunanjega onesnaževanja in določitev vodovarstvenih območij okoli vrtin in izvirov za zagotavljanje varne pitne podzemne vode (zadostna količina in sprejemljiva kakovost).
11. Trajnostno upravljanje podzemne vode je vprašanje nacionalne in mednarodne varnosti oskrbe z vodo, saj so nekateri vodonosniki čezmejni. To pomeni, da je za reševanje sporov potrebno sodelovanje med zadevnimi državami.
12. Zagotavljanje trajnostnega in učinkovitega upravljanja voda z "digitalno vodo" s pozitivnimi učinki na njeno kakovost in količino, zlasti z razvojem pametnih naprav in senzorjev, pametnih omrežij in napredne analitike podatkov (Water Europe, 2020).

Preglednica 1: Ujemanje 12 priporočil z modelom načel 5R.

Ni priporočil	Zmanjšanje	Ponovna uporaba	Predelava	Recikliranje	Obnavljanje
1	+		+		
2	+			+	
3			+		+
4	+				
5		+			
6			+		
7	+				
8			+		+
9					+
10					
11					
12					

Zaključki

Podzemna voda je zanesljiv naravni vir, vendar je upravljanje z njo zahtevno. Človeška inteligenca in izjemen razvoj hidrotehnologije (droni, GIS, daljinsko zaznavanje, sateliti, internet stvari (IoT), državljanska znanost, digitalna voda in numerične simulacije) sta privedla do ustreznih kapacitet in sposobnosti človeštva, da se v lahko prilagodi podnebni krizi. Vendar so za to potrebna večja prizadevanja vlad, znanstvenikov in celotne družbe za zaščito virov podzemne vode za dobrobit planeta in dostojanstva človeškega življenja.

Reference

- Amobichukwu C. Amanambu, Omon A. Obarein, Joann Mossa, Lanhai Li, Shamusideen S. Ayeni, Olalekan Balogun, Abiola Oyebamiji, Friday U. Ochege (2020). Groundwater system and climate change: Present status and future considerations, *Journal of Hydrology*, 125163, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125163>.
- European Environmental Agency (EEA). <https://www.eea.europa.eu>.
- Findidakis, A.N., Sato, K. (2011). Groundwater management practices. IAHR Monograph, UNESCO-IHP, CRC Press/Balkema.
- International Association of Hydrogeologists (IAH) (2016). eNews. www.iah.org
- Matiatos, I., Moeck, C., Vystavna, Y., Marttila, H., Orłowski, N., Jessen, S., Evaristo, J., Sebiló, M., Koren, G., Dimitriou, E., Müller, S., Panagopoulos, Y., Stockinger, M.P. (2023) Nitrate isotopes in catchment hydrology: insights, ideas and implications for models. *Journal of Hydrology* 130326. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130326>
- Nistor, M.-M. (2020). Groundwater vulnerability in Europe under climate change. *Quaternary International*, Vol. 547, 185-196.
- UN World Water Development Report, WWDR (2022). Groundwater, making the invisible visible. <https://www.unesco.org/reports/wwdr/2022/en>
- Voudouris, K. (2024). The role of groundwater in adapting to climate crisis in Greece. *Elgar Encyclopedia of Water Policy, Economics and Management, Chapter 62, 271-276*. Edited by [Koundouri Ph.](#) and [Alamanos, A.](#)
- Water Europe (2020). A water-smart society for a successful post-COVID-19 recovery plan. <https://watereurope.eu>

WATSON



COST ACTION

<https://watson-cost.eu/foac/>



Funded by
the European Union