

Monitoring podzemne vode i zakonska regulativa

Slaviček, David

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:130:836405>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-13**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

DAVID SLAVIČEK

MONITORING PODZEMNE VODE I ZAKONSKA
REGULATIVA

DIPLOMSKI RAD

VARAŽDIN, 2023.

Sazivam članove ispitnog povjerenstva
za 25. 09. 2023. u 9 sa
Obranu ovog rada kandidat će vršiti i pred
ispitnim povjerenstvom u Varaždinu
Varaždin, 11. 09. 2023.

Predsjednik
ispitnog povjerenstva:

Prof. dr. sc. Saša Karčić

Članovi povjerenstva

- 1) Doc. dr. sc. Jelena Loboec
- 2) Prof. dr. sc. Ranko Bičević
- 3) Prof. dr. sc. Saša Kapelj

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

DAVID SLAVIČEK

MONITORING PODZEMNE VODE I ZAKONSKA
REGULATIVA

DIPLOMSKI RAD

KANDIDAT:

DAVID SLAVIČEK

David Slaviček

MENTOR:

doc. dr. sc. JELENA LOBOREC

VARAŽDIN, 2023.

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom:

MONITORING PODZEMNE VODE I ZAKONSKA REGULATIVA

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom **doc. dr. sc. Jelena Loborec**.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 04.09.2023,

DAVID SLAVIČEK

(Ime i prezime)

David Slaviček

(Vlastoručni potpis)

IZJAVA MENTORA O POSTOTKU SLIČNOSTI DIPLOMSKOG RADA S VEĆ OBJAVLJENIM RADOVIMA

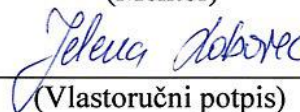
Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom:

Monitoring podzemne vode i zakonska regulativa

pregledan anti-plagijat programskim paketom PlagScan te da postotak sličnosti cjelovitog diplomskog rada, s već objavljenim radovima, ne prelazi 20 %, kao i da pojedinačni postotak sličnosti diplomskog rada sa svakom literaturnom referencom pojedinačno ne prelazi 5 %.

U Varaždinu, 29.08.2023.

Doc. dr. sc. Jelena Loborec
(Mentor)



(Vlastoručni potpis)

ZAHVALA

Ovim putem se zahvaljujem mentorici, doc.dr.sc. Jeleni Loborec, na ukazanoj potpori, strpljenju, suradnji, vremenu, dostupnošću i savjetima tokom izrade cijelog rada. Također se zahvaljujem i članovima povjerenstva (prof.dr.sc. Sanji Kapelj i prof.dr.sc. Ranku Biondiću) na suradnji, savjetima i izmjenama tijekom izrade rada.

Zahvaljujem svojim roditeljima, djevojci te obitelji na strpljenju i što su mi bili oslonac tijekom cijelog studija. Hvala mojim prijateljima na ukazanoj pomoći.

SAŽETAK

IME I PREZIME AUTORA: DAVID SLAVIČEK

NASLOV RADA: Monitoring podzemnih voda i zakonska regulativa

Voda je nedvojbeno jedan od najvažnijih resursa za život na Zemlji a podzemna je voda u većini razvijenih država primarni izvor pitke vode. Prednost korištenja podzemne vode za vodoopskrbu je u tome što je prirodno bolje kvalitete i bolje je zaštićena od izravnog onečišćenja u odnosu na površinsku vodu, zbog čega su manji troškovi njene obrade. Međutim, najveći nedostatak je cijena eksploatacije zbog potrebe izrade bušotina i zdenaca kako bi joj se pristupilo (u nekim slučajevima na velikim dubinama). Također su potrebna specifična istraživanja kako bi se uočio trend kretanja podzemne vode i planirala njena zaštita. Stoga monitoring podzemnih voda postaje sve važnija djelatnost kako bi se pravovremeno uočila promjena u njihovim razinama te potencijalno onečišćenje. Monitoring je često skup, stoga postoji zakonska regulativa i vodiči koji definiraju gdje, kako i kada će se motriti podzemna voda te iznose graničnih vrijednosti onečišćivala.. Ovaj rad donosi pregled zakonske regulative koja propisuje načine motrenja podzemne vode u Republici Hrvatskoj, a obrađeni su i praktični primjeri iz drugih država koji prikazuju stanje njihovih podzemnih voda i provođenje monitoringa.

KLJUČNE RIJEČI: Podzemna voda, monitoring, zakonska regulativa

ABSTRACT

NAME AND SURNAME of the AUTHOR: DAVID SLAVIČEK

TITLE: Groundwater monitoring and legal regulations

Water is undoubtedly one of the most important resources for life on the Earth and groundwater is the primary source of drinking water in most developed countries. The advantage of using underground water for water supply is that it is naturally of better quality and it is better protected from direct pollution than surface water, which is why its treatment costs are lower. However, the biggest disadvantage is the cost of exploitation due to the fact that boreholes and wells have to be drilled to allow access to it (in some cases at great depths). Specific research is also needed in order to observe the trend of groundwater movement and to plan its protection. Therefore, groundwater monitoring is becoming an increasingly important activity in order to timely detect changes in groundwater levels and potential pollution. Monitoring is often expensive, therefore there are legal regulations and guides that define where, how and when groundwater should be monitored and which also determine limit values for pollutants.. This paper provides an overview of the legal regulations that prescribe the methods of groundwater monitoring in the Republic of Croatia, and it also presents practical examples which show the situation with groundwater in other countries and how they implement the process of monitoring.

KEYWORDS: groundwater, monitoring, legal regulation

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. POSTUPCI MOTRENJA PODZEMNE VODE	2
2.1. Podzemne vode	2
2.1.1. Problematika ugroženosti podzemnih voda	4
2.1.2. Podzemne vode u Republici Hrvatskoj	5
2.2. Monitoring podzemnih voda	10
2.2.1. Izrada konceptualnog modela	11
2.2.2. Monitoring kvantitativnog stanja	14
2.2.3. Monitoring kemijskog stanja	16
3. PREGLED ZAKONSKE REGULATIVE	23
3.1. Zakon o vodama	23
3.2. Okvirna direktiva o vodama	24
3.3. Uredba o standardu kakvoće voda	24
3.4. Pravilnik o posebnim uvjetima za obavljanje djelatnosti uzimanja uzoraka i ispitivanja voda	27
3.5. Pravilnik o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta	27
4. PRIMJERI IZ PRAKSE	29
4.1. Monitoring podzemnih voda u Danskoj	29
4.1.1. Program monitoringa	29
4.1.2. Prikupljanje i pohrana podataka	32
4.1.3. Kemijsko stanje podzemnih voda	33
4.1.4. Kvantitativno stanje podzemnih voda	33
4.1.5. Glavne značajke programa monitoringa u Danskoj	34
4.2. Monitoring podzemnih voda u Južnoj Koreji	34
4.2.1. Zakoni i propisi	36
4.2.2. Program monitoringa podzemnih voda	36
4.2.2.1. Nacionalna mreža za monitoring podzemnih voda (NGMN)	37

4.2.2.2.	Mreža za monitoring kvalitete podzemnih voda (GQMN)	38
4.2.2.3.	Ostale mreže monitoringa	40
4.3.	Monitoring podzemnih voda u Republici Hrvatskoj	41
4.3.1.	Elementi kakvoće i njihova učestalost ispitivanja.....	42
4.3.2.	Nadzorni i operativni monitoring.....	45
4.3.3.	Ocjena količinskog i kemijskog stanja podzemnih voda	46
5.	DISKUSIJA	51
6.	ZAKLJUČAK.....	55
7.	LITERATURA	56
	POPIS SLIKA	58
	POPIS TABLICA	59

1. UVOD

Na Zemlji se nalazi 2,5 % slatke vode u odnosu na ukupnu količinu vode, dok podzemna voda čini 30 % slatke vode [1]. U 18. stoljeću postavljeni su temelji geologije što je omogućilo razumijevanje pojava i kretanja podzemne vode [2]. Došlo se do zaključka da je podzemna voda bolja za ljudsku potrošnju u odnosu na površinsku zbog toga što je prirodno bolje kvalitete, zahtijeva manje tretiranja, teže i sporije se onečisti te je konstantno dostupna u odnosu na površinsku koja brzo reagira na hidrološke prilike i može uzrokovat nestašicu vode u sušnim razdobljima. Tijekom 20. stoljeća, eksploatacija podzemne vode je naglo porasla, a zadnjih 50 godina je utrostručena [3]. Podzemna voda je danas primarni izvor vode za ljudsku potrošnju. Osim za piće, koristi se za navodnjavanje, u industriji, kao i u mnogim drugim segmentima svakodnevnog života.

Prosječno na godišnjoj razini, eksploatacija podzemne vode raste za 1 - 2 % [3]. Danas ključni problem više nije tehnologija zahvaćanja podzemne vode, već kako osigurati resurse podzemnih voda održivima i kako spriječiti onečišćenje podzemnih voda. U svijetu, sve izraženiji problem je precrpljivanje podzemnih voda (posljedica rasta broja stanovnika na Zemlji, ali i porast životnog standarda) koji može izazvati velike geotehničke probleme (slijeganje tla) ili salinizaciju (prodor morske vode). Sve većom potrošnjom vode, dolazi do porasta količine otpadnih voda koja se upušta u okoliš. Dugo se vjerovalo da podzemlje samo pročisti podzemnu vodu i da se ona ne može ugroziti, međutim to nije istina i tek sada na vidjelo izlaze onečišćenja od prije nekoliko desetljeća.

Danas se veliki naglasak stavlja na monitoring podzemnih voda u cilju zaštite vodnih resursa od narušavanja količinskog (precrpljivanje) i kemijskog (onečišćivanje) stanja. Monitoring pruža važne informacije u svrhu upravljanja količinom i kakvoćom podzemnih voda. Monitoringom se želi kontrolirati utjecaj crpljenja, nadzirati utjecaj antropogenog onečišćenja (analiza i identifikacija trendova onečišćivača) i pratiti odgovor vodonosnika na spomenute utjecaje.

U ovom radu dan je pregled važnosti motrenja podzemne vode, način izrade konceptualnog modela vodonosnika, predstavljene su vrste monitoringa podzemnih voda, time povezana zakonska regulativa u Republici Hrvatskoj te primjeri monitoringa podzemnih voda iz prakse (Danska, Južna Koreja i Hrvatska).

2. POSTUPCI MOTRENJA PODZEMNE VODE

2.1. Podzemne vode

Podzemne vode su vode koje se nalaze u podzemlju u zasićenim zonama vodonosnika. Vodonosnik je tijelo porozne stijene ili sedimenta ispod površine terena. Voda ispunjava pore, šupljine u materijalima kao što su npr. pijesak, šljunak ili pukotine u čvrstim stijenama. Podzemna voda je sirovina koja se najviše eksploatira na svijetu i redovito crpi iz podzemnih vodonosnika putem bušotina te koristi u poljoprivredi, industriji i kućanstvima. Ponekad se može naći neposredno ispod površine terena (visoke razine podzemne vode), dok na drugim mjestima, poput pustinja, razine podzemne vode budu vrlo niske pa bušotine moraju biti duboke stotine metara. Podzemne vode najčešće nastaju infiltracijom oborina u podzemlje. Postoje dvije osnovne vrste vodonosnika: otvoreni i zatvoreni. Zatvoreni vodonosnici imaju sloj nepropusne stijene ili gline u krovini te je u njima voda pod tlakom, dok se otvoreni vodonosnici nalaze ispod propusnog sloja tla. Prihranjivanje otvorenih i zatvorenih vodonosnika ima različite mehanizme pa su i mogućnosti ulaska onečišćenja u podzemlje u tim slučajevima drugačije. Također, o propusnosti stijene koja izgrađuje vodonosnik ovisi brzina kojom se podzemna voda kreće kroz vodonosnik te vrijeme zadržavanja vode u podzemlju, što u nekim slučajevima može biti i stotinama godina [4,5].

Veliki udio vode koja se koristi u kućanstvu, u industrijske i/ili poljoprivredne svrhe dolazi iz zaliha podzemne vode. Da bi se pristupilo toj vodi, potrebno je napraviti objekte za pristup – bušotine ili zdence (Slika 1). Zdenac je hidrotehnički objekt pomoću kojeg se crpi voda iz vodonosnika [4-6].

Zdenci se razlikuju prema namjeni:

- zdenci za opskrbu vodom:
 - za javnu vodoopskrbu (crpilišta)
 - za opskrbu vodom pojedinačnih domaćinstava ili grupe domaćinstava (“lokalni vodovod”)
 - za opskrbu vodom gospodarskih i industrijskih objekata
- zdenci za navodnjavanje poljoprivrednih i dr. (npr. parkovnih) površina
- zdenci za odvodnjavanje poljoprivrednih površina
- zdenci za odvodnjavanje građevnih jama
- zdenci za umjetno prihranjivanje vodonosnika

- zdenci za odlaganje otpadnih voda (pročišćenih)

Zalihe podzemne vode mogu biti ugrožene u slučaju pretjeranog crpljenja podzemne vode, odnosno ukoliko se crpi više nego što se podzemna voda može sama obnoviti. Podzemna voda se najčešće obnavlja infiltracijom površinske vode (oborina) u podzemlje. Do pretjerane eksploatacije podzemne vode dolazi zbog sve veće potrebe za vodom za ljudsku potrošnju potrebe, uključujući i sve veću potrebu za navodnjavanjem poljoprivrednih zemljišta. Podzemna voda se može onečistiti kada se prekomjernom količinom pesticida i herbicida tretiraju poljoprivredne površine, kada dolazi do infiltracije sadržaja septičkih jama ili kada se odlagališta otpada nepravilno oblože ili se njima upravlja na neodgovarajući način pa dolazi do infiltracije štetnih tvari u vodonosnik. Podzemna voda se u svojem toku može prirodno filtrirati prolaskom kroz sitnozrnate materijale što pomaže u uklanjanju pojedinih tvari iz vode zadržavanjem na krutim česticama, ali taj proces prirodne filtracije je ograničenog trajanja i vrlo često nedovoljan za uklanjanje onečišćenja u vodi [5].



Slika 1 - Crpljenje podzemne vode iz vodonosnika pomoću zdenaca za potrebe kućanstva [5]

Podzemna voda predstavlja 99 % slatke vode na Zemlji koja nije zarobljena u ledu, a 2,5 milijarde ljudi ovisi o podzemnoj vodi zbog osnovne životne potrebe za vodom. Osim toga, vrlo često je jedan od primarnih izvora vode za proizvodnju hrane jer se koristi za navodnjavanje. Većina velikih svjetskih vodonosnika doživljava brze stope iscrpljivanja podzemnih voda, što prijeti održivosti poljoprivrede, proizvodnji hrane i gospodarskoj

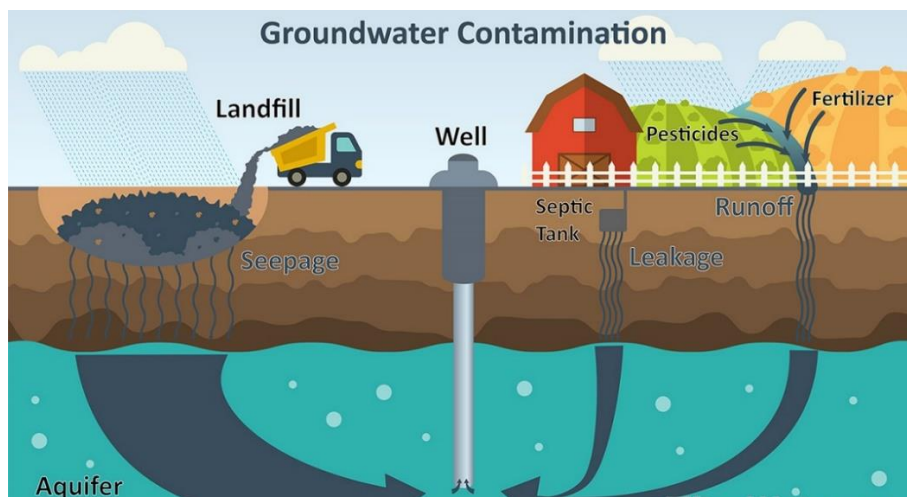
sigurnosti te povećava političke napetosti koje dovode do građanskih i međunarodnih sukoba. Onečišćenje podzemnih voda prirodnim i umjetnim štetnim tvarima također je sveprisutno [6].

2.1.1. Problematika ugroženosti podzemnih voda

Prekomjerna eksploatacija podzemnih voda može uzorkovati precrpljivanje zaliha podzemnih voda u plićim vodonosnicima. Ukoliko nema više zaliha podzemnih voda u plićim vodonosnicima, crpljenje će se nastaviti iz dubokih vodonosnika što znači da je sve manje zaliha podzemnih voda. Također, biti će potrebno upotrijebiti još više resursa za razvoj alternativnih metoda za doseganje vode dublje u zemlji. Na primjer, stanovnici u blizini Meksičkog zaljeva i Mexico Cityja oslanjaju se isključivo na crpljenje podzemne vode kao izvor pitke vode. Budući da prekomjerno crpljenje može izazvati slijeganje tla, posljedično, razina tla grada Mexico City pada i do 50 centimetara godišnje. Također zbog pretjerane eksploatacije podzemne vode, čak i velike vodene površine postat će pliće. Sve niže razine podzemne vode sprječavaju podzemno prihranjivanje jezera, rijeka i mora što će imati posljedice na sve ekosustave, biljke i životinje. Precrpljivanjem može doći i do prodora slane vode kod priobalnih vodonosnika. Do miješanja slatke i slane vode dolazi zbog pretjeranog crpljenja vode u blizini granica mora sa kopnom te dolazi do remećenja prijelazne zone (zona gdje se slatka i slana voda miješa) koja se podiže bliže površini terena i može biti zahvaćena u zdencima za vodoopskrbu. Ova vrsta kontaminacije podigla bi cijene pitke vode za sve, jer crpljenje i pročišćavanje zaslanjene vode košta mnogo više, a može trajno ugroziti izvore pitke vode [7,8].

Konzumacija vode iz onečišćenog izvora vode može uzrokovati ozbiljne zdravstvene posljedice. U područjima gdje septička jama nije ispravno izvedena, ljudski otpad može zagađivati podzemne vode i izvore pitke vode. Otpad može sadržavati bakterije koje uzrokuju hepatitis i koje mogu dovesti do nepovratnog oštećenja jetre. Također, može uzrokovati probavne probleme, dehidraciju, pa čak i smrt. Kontaminacija podzemne vode čini područje neodgovarajućim za život, stanovništvo na tom području se smanjuje, a ekonomska vrijednost zemljišta pada. Sanacija bi najčešće uključivala transport vode iz drugih područja što može sa sobom nositi određene financijske probleme. Također, osim ekonomskih problema treba sagledati i ekološke, jer onečišćenje podzemnih voda može dovesti do razornih promjena u okolišu i ekosustavima. Povezanost podzemnih i površinskih voda uzrokuje posljedično da i vodene životinje kao što su ribe mogu brzo uginuti kao rezultat previše štetnih tvari u vodenim tijelima. Životinje i biljke koje koriste

onečišćenu vodu također mogu biti pogođene. Štetne tvari se s vremenom mogu akumulirati u vodonosnicima, ali konzumacijom i u prehrambenom lancu na čijem vrhu je čovjek. Slika 2 prikazuje proces onečišćenja podzemne vode putem infiltracije u podzemlje od strane ljudskih aktivnosti.



Slika 2 - Infiltracija onečišćenja podzemne vode i onečišćenje pitke podzemne vode [9]

Iz gore navedenih posljedica onečišćenja i prekomjerne eksploatacije podzemne vode može se doći do zaključka da je potrebno učiniti sve što se može kako bi se to spriječilo. Poznavanje situacije u podzemlju je ključno, stoga je monitoring podzemne vode osnova za zaštitu i upravljanje vodnim resursima u svrhu očuvanja količine i kakvoće podzemnih voda.

2.1.2. Podzemne vode u Republici Hrvatskoj

Podzemne vode čine 12 % ukupne količine vode u Hrvatskoj, a o njihovoj važnosti najbolje govori podatak da je 83 % javne vodoopskrbe u 2020. godini dolazilo iz podzemnih voda. Zbog bolje zaštite od vanjskih onečišćenja, podzemne vode su najprikladniji izvor pitke vode. U Hrvatskoj se podzemne vode, osim za piće i javnu vodoopskrbu, koriste i za navodnjavanje poljoprivrede, za potrebe industrije i stočarstva [10].

Prema istraživanju Eurostata iz 2019. godine, Hrvatska ima najveću zalihu pitke vode po stanovniku u Europskoj Uniji (Tablica 1), dok je UNESCO-vo izvješće o dostupnosti vode i bogatstvu izvora pitke vode svrstalo Hrvatsku među prvih pet u Europi i među 40

zemalja svijeta s najviše zaliha vode [11]. Uz veliko bogatstvo vodenih zaliha treba biti i velika odgovornost za očuvanje tog resursa.

Tablica 1 - Obnovljivi izvori pitke vode izraženi u milijunima m³ [12]

Renewable freshwater resources - long-term annual average
(million m³)

	A. Precipitation	B. Evapotranspiration	C. Internal Flow	D. External Inflow	E. Renewable freshwater resources - total E=C+D	F. Renewable freshwater resources per 1000 inhabitants
	C=A-B					
Belgium	25 337	15 428	10 048	13 772	23 820	2.1
Bulgaria	72 930	57 141	15 789	84 064	99 853	14.4
Czechia	53 832	38 572	15 260	892	16 152	1.5
Denmark ^(*)	38 485	22 145	16 340	0	16 340	2.8
Germany	307 000	190 000	117 000	71 000	188 000	2.3
Estonia	29 018	:	12 347	:	12 347	9.3
Ireland ^(*)	87 632	38 308	49 324	3 469	52 793	10.6
Greece	115 000	55 000	60 000	12 000	72 000	6.7
Spain	333 657	226 453	107 204	0	107 204	2.3
France	512 563	317 327	195 236	11 000	206 236	3.1
Croatia ^(*)	63 805	42 096	24 530	93 783	118 313	29.2
Italy	273 133	147 365	125 618	:	:	:
Cyprus	3 030	2 709	321	0	321	0.4
Latvia	43 220	23 573	19 647	16 992	36 639	19.3
Lithuania	44 886	31 584	13 854	8 413	22 267	8.0
Luxembourg	2 030	1 125	905	739	1 644	2.6
Hungary	56 172	50 592	5 580	91 500	97 080	10.0
Malta	177	93	85	0	85	0.2
Netherlands	31 618	21 293	10 325	81 500	91 825	5.3
Austria	99 800	43 100	56 700	29 300	86 000	9.6
Poland	195 656	142 772	52 884	7 669	60 553	1.6
Portugal	82 164	43 571	38 593	35 000	73 593	7.1
Romania	156 996	117 391	39 606	314	39 920	2.1
Slovenia	31 746	13 150	18 596	13 496	32 092	15.3
Slovakia	37 352	24 278	13 074	67 252	80 326	14.7
Finland	222 000	115 000	107 000	3 200	110 000	19.9
Sweden	350 466	169 381	181 684	15 011	196 695	19.0
Norway	374 833	82 402	292 430	9 467	301 897	56.1
Switzerland	61 207	21 382	39 825	12 560	52 385	6.1
United Kingdom	287 607	127 290	161 369	6 454	172 861	2.6
North Macedonia	19 533	:	:	1 014	:	:
Serbia	56 879	43 626	13 253	158 135	171 388	24.8
Turkey	503 100	275 700	227 400	6 900	234 300	2.8
Bosnia and Herzegovina ^(*)	55 863	25 940	29 922	2 000	31 922	9.1
Kosovo [*]	763	478	285	11	296	0.2

(-) not available; (*): estimated (Denmark, Ireland: only external inflow; Norway: only actual evapotranspiration)

The minimum period taken into account for the calculation of long term averages is 30 years.

* This designation is without prejudice to positions on status, and is in line with UNSCR 1244/1999 and the ICJ Opinion on the Kosovo declaration of independence.

Source: Eurostat (online data codes: env_wat_res and demo_gind)

eurostat 

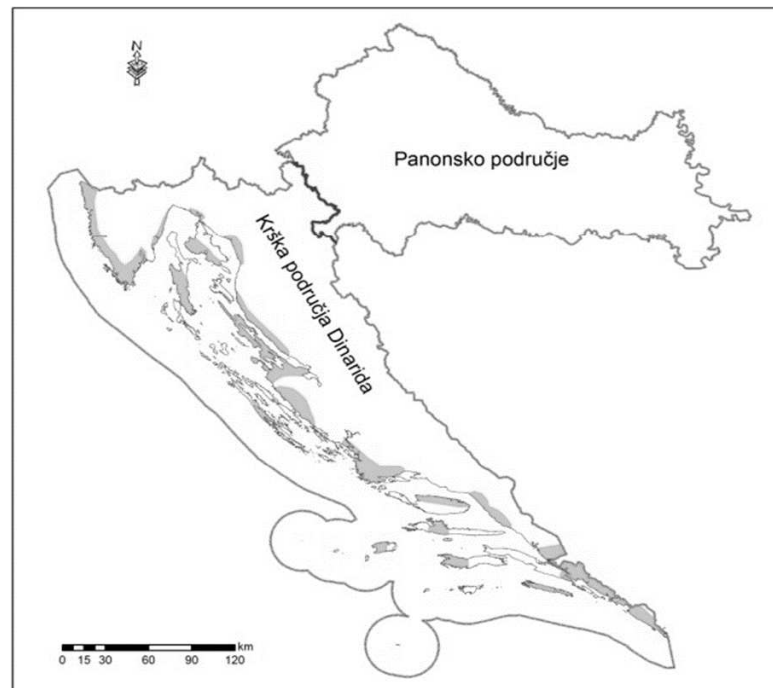
Na prostoru Hrvatske nalaze se dva osnovna tipa vodonosnika (Slika 3):

- međuzrnski (intergranularni) koji se nalazi u Panonskom dijelu,
- krški, sekundarne pukotinsko-kavernozne poroznosti u području Dinarida

Na Panonskom području (Crnomorski sliv) nalaze se vodonosnici intergranularne poroznosti s iznimno velikim količinama podzemnih voda. Ovi vodonosnici su glavni vodoopskrbni resursi kopnenog dijela Hrvatske. U primorskom dijelu Republike Hrvatske, tj. u slivu Jadranskog mora prevladava krš kao reljefno obilježje i postoje zanemarive pojave vodonosnika intergranularne poroznosti.

Osnovne značajke krških vodonosnika su velike površine akumulacije vode u planinskim područjima i vrlo složeni uvjeti izviranja na granici između pukotinskih, propusnih karbonatnih naslaga i slabopropusnih stijena. Iako je bogatstvo vode nedvojbeno, zalihe su prostorno i vremenski nejednoliko raspoređene. Tok podzemne

vode je brz (do 30 cm/s), a zbog male sposobnosti zadržavanja vode u vodonosniku, dolazi do problema s vodoopskrbom u ljetnom razdoblju kada su dostupne količine vode najmanje, a potrebe za vodom najveće. Kakvoća podzemnih voda prirodno je izvrsna, međutim javlja se problem uzrokovan povremenim zamućenjem i bakteriološkim onečišćenjem izvora kao posljedica obilnih kiša i ispiranja nezasićene zone vodonosnika, osobito nakon dugog sušnog razdoblja [13,14].



Slika 3 - Prikaz dva osnovna tipa vodonosnika na karti Republike Hrvatske [15]

Rezerve podzemnih voda podijeljene su u četiri razine na temelju kakvoće i dostupnih količina, značenju za trenutnu i buduću vodoopskrbu i stupnju njihovog trenutnog iskorištavanja, a određene su na temelju istraživanja [13].

U prvoj razini rezerva podzemnih voda nalaze se vode krških područja (Gorski kotar, Lika i unutrašnjost Dalmacije) čiji se cijeli slivovi nalaze na području Hrvatske (može se utjecati na cijeli sliv podzemne vode – nisu prekogranični) i oni imaju visoku kakvoću. U drugu razinu ulaze vode iz aluvijalnih vodonosnika (dolina Drave i Save) čija je kakvoća lošija u odnosu na slivove krških područja, ali su količine značajne. U treću razinu smještena su područja iz kojih se voda intenzivno eksploatira zbog čega može doći do dodatnog pogoršanja kakvoće te postoji opasnost budućeg isključenja crpljenja te vode

zbog pogoršane kakvoće. Četvrtoj razini rezervi podzemnih voda pripadaju vodom bogata područja na jugu Hrvatske.

Prema Planu upravljanja vodnim područjima do 2027. godine, prosječna opskrbljenost stanovništva vodom iz javnih vodovodnih mreža u Hrvatskoj u 2018. godini je bila oko 87 % (3,54 milijuna stanovnika). Opskrbljenost stanovništva iz javnih vodovodnih mreža veća je u jadranskom slivu (93 %) nego u crnomorskom slivu (84 %). Postoji oko 512 zona opskrbe (područje iz kojeg voda namijenjena za ljudsku potrošnju dolazi iz jednog ili više izvora) podzemne vode za javni vodoopskrbni sustav. Također, određeni dio stanovništva se koristi vodom iz lokalnih vodovoda, odnosno pomoću zdenaca i hidropaka, pretežito na području crnomorskog sliva. Ovdje se javlja pitanje kakvoće vode koja nije testirana i može biti onečišćena.

Najveći obnovljivi resursi vodonosnika crnomorskog sliva nalaze se u dolinama Drave i Save (vodonosnici s intergranularnom poroznošću), a u pukotinsko-kavernoznim vodonosnicima najveće rezerve se nalaze u dijelovima slivova Kupe i Une. Glavni izvor prihranjivanja podzemnom vodom u području rijeke Drave je oborinska infiltracija, dok u savskom vodonosniku, osim infiltracije, postoji i površinska opskrba iz rijeke Save. Obnovljivi resursi podzemne vode određuju se na temelju kapaciteta crpljenja, kapaciteta skladištenja podzemne vode, procijenjene efektivne poroznosti i minimalne izdašnosti izvora [13,14]. Tablica 2 prikazuje obnovljive zalihe podzemnih voda po glavnim slivovima Republike Hrvatske (crnomorski i jadranski sliv) te dodatnu podjelu po vrstama vodonosnika unutar tih slivova

Tablica 2 – Obnovljive zalihe podzemne vode podijeljene po slivovima [14]

Područje		Aluvijalni vodonosnik	Karbonatni vodonosnik	Ukupno
		10 ⁶ m ³ /god.		
crnomorski sliv	sliv Save	1.198,3	653,8	1.852,1
	slivovi Drave i Dunava	802,6	7,8	810,4
jadranski sliv	primorsko-istarski slivovi	-	2.639,5	2.639,5
	dalmatinski slivovi	-	3.831,3	3.831,3
Hrvatska		2.006,9	7.132,4	9.133,3

Zbog velike naseljenosti područja na kojima se prostiru najznačajniji vodonosnici, najveća opterećenja podzemnih voda dolaze od otpadnih voda iz kućanstava i otpadnih

voda iz industrije te zbog nepostojanja i lošeg stanja sustava odvodnje, odlagališta otpada i intenzivne primjene agrotehničkih sredstava u poljoprivredi.

Podzemna voda u zapadnom dijelu savskog i dravskog aluvijalnog vodonosnika (zagrebačko i varaždinsko područje) gdje se u krovini nalaze tanke prašinasto-glinovite naslage, prema pokazateljima kvalitete imaju visoku prirodnu ranjivost te povećane koncentracije nitrata zbog antropogenog onečišćenja. U prošlosti je na području zagrebačkih crpilišta zbog antropogenog onečišćenja ugašeno nekoliko gradskih zdenaca, ali se u posljednje vrijeme uslijed pridržavanja konkretnih mjera zaštite javlja poboljšanje kakvoće podzemne vode. Što se tiče vodonosnika u središnjem i istočnom dijelu RH, ranjivost je manja, pretežito zbog povećane debljine pokrovnih naslaga, međutim podzemna voda po svojoj prirodi sadržava visoke koncentracije amonijaka, željeza i mangana što također predstavlja određene probleme u vodoopskrbi.

U slivu Dunava, vodonosnik je obložen debelim slabo propusnim pokrovnim naslagama pa je prirodna ranjivost vodonosnika mala, ali podzemna voda ima prirodno povećane koncentracije mangana, željeza, amonijaka i arsena u plićim vodonosnim slojevima (do 50 metara). U panonskom dijelu postoje još i gorski vodonosnici koji mjestimično imaju pukotinsku poroznost, gdje je voda visoke kakvoće, ali se povremeno pojavljuje bakteriološko onečišćenje kao rezultat neodgovarajuće odvodnje otpadnih voda lokalnih naselja.

Što se tiče kakvoće podzemnih voda u krškom području, zbog karakteristika krša, vodonosnici imaju veliku prirodnu ranjivost, brzi tok podzemne vode te su zbog toga stalno ugroženi. Javljaju se kratkotrajna i povremena zamućenja, kao i bakteriološka onečišćenja kod velikih i dugotrajnih oborina, a posebice nakon dugog sušnog razdoblja. Podzemne vode u kršu su opterećene ljudskim djelatnostima, uključujući otpadne vode industrija i naselja, poljoprivredne djelatnosti, uskladištenje i prijevoz opasnih tvari koje nisu u skladu propisanim zaštitnim mjerama. Postojeća zaštita temelji se prema Zakonu o vodama i Pravilniku o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta [13,14].

2.2. Monitoring podzemnih voda

Monitoring podzemnih voda je program praćenja kvantitativnog i kvalitativnog stanja podzemnih voda. Sustavno praćenje podzemnih voda provodi se radi određivanja kemijskog stanja vodnih tijela, utvrđivanja dugotrajnih promjena prirodnih uvjeta, određivanja promjena uzrokovanih intenzivnim antropogenim djelovanjem te promjena uslijed djelovanja na područjima koja ne ispunjavaju uvjete za dobro stanje. [2,16].

Glavni su ciljevi monitoringa podzemnih voda [2]:

- dobivanje informacija o kvantitativnom stanju vode;
- dobivanje informacija koji se mogu koristiti za ilustraciju kemijskog sastava površinskih i podzemnih voda;
- identifikacija svih značajnih trendova rasta i pada koncentracije onečišćujućih tvari u podzemnim vodama (identifikacija utjecaja čovjeka).

Rezultati monitoringa koriste se za [17]:

- određivanje kemijskog i kvantitativnog statusa tijela podzemnih voda (uključujući i procjenu raspoloživih zaliha podzemnih voda),
- potporu daljnjoj karakterizaciji tijela podzemnih voda,
- evaluaciju procjene rizika,
- procjenu brzine i smjera toka podzemnih voda u onim prekograničnim tijelima,
- karakterizaciju prirodne kakvoće podzemne vode s obzirom na prirodne trendove (početne vrijednosti),
- određivanje trendova koncentracija onečišćujućih tvari i njihovih obrata uzrokovanih ljudskim djelovanjem.

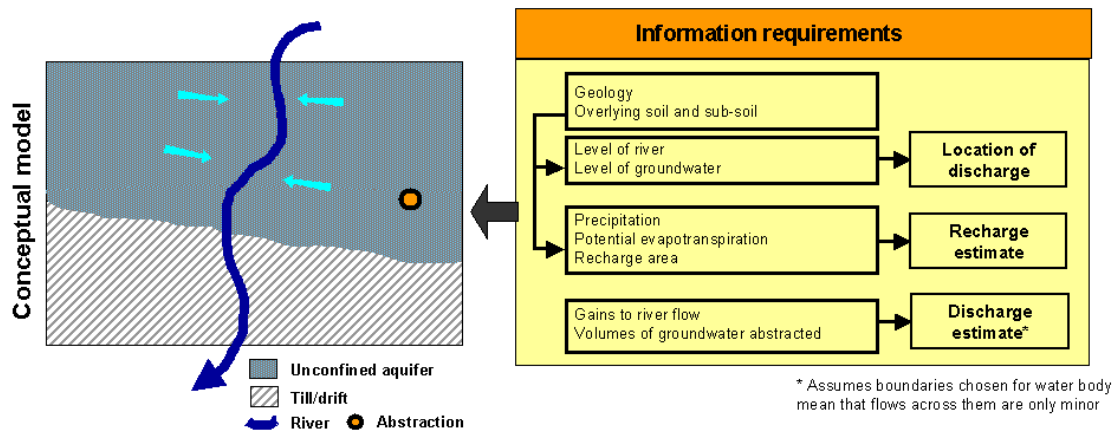
Podzemna voda nije na „dohvat ruke“ kao površinska voda te zbog toga treba dobro poznavati uvjete njenog kretanja i zadržavanja u podzemlju kako bi se mogao planirati dobar monitoring. Zbog toga se posebna važnost svakog plana motrenja stavlja na izradu konceptualnog modela vodonosnika koji je osnova za svako daljnje planiranje i točaka opažanja i ostalih faza monitoringa. Konceptualni model predstavlja potpuni opis i razumijevanje promatranog hidrogeološkog sustava koji je potreban za izradu efektivnog i vjerodostojnog programa monitoringa. Konceptualni model opisuje kako se podzemni sustav ponaša u svojoj prirodi. Konceptualni model kao osnova kod izrade efektivnog programa monitoringa osigurava da će programi monitoringa biti odgovarajući s obzirom

na distribuciju onečišćivala u hidrogeološkom sustavu. Pouzdanost programa monitoringa ovisi o pouzdanosti konceptualnog modela.

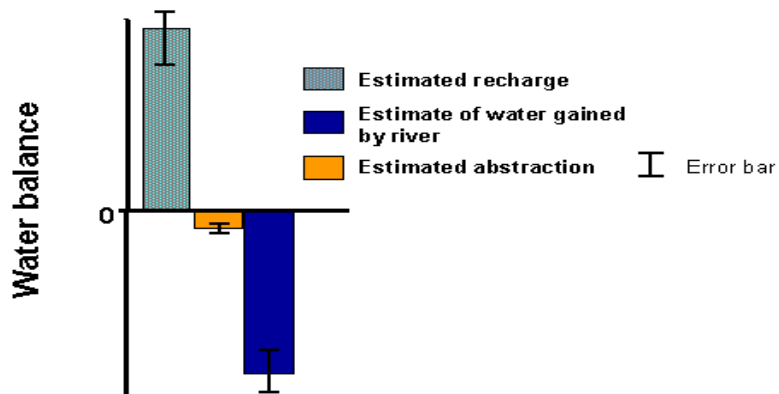
2.2.1. Izrada konceptualnog modela

Konceptualni modeli su pojednostavljeni prikazi ili opisi istraživog hidrogeološkog sustava. S povećanjem količine i pouzdanosti dostupnih informacija o okolišu, raste i složenost i točnost modela, čineći ga učinkovitijim i pouzdanijim opisom sustava. Konceptualni model predstavlja trenutačno razumijevanje sustava podzemnih voda na temelju poznavanja njegovih prirodnih svojstava (npr. 3D struktura, dinamika podzemnih voda, tip vodonosnika i rubni uvjeti), uočenih pritisaka i znanja o utjecajima. Konceptualni modeli su potrebni za izradu učinkovitih programa monitoringa, klasifikaciju stanja vodnih tijela i razvoj odgovarajućih programa mjera. Ako model točno odražava stvarni hidrološki sustav, dugoročno obnavljanje podzemne vode trebalo bi odgovarati ispuštanju podzemne vode u površinske ekosustave i susjedna tijela podzemne vode.

Razina složenosti svakog modela ovisi o složenosti procjene stanja tijela podzemne vode. Primjerice, ako je tijelo podzemne vode izloženo malom ili nikakvom pritisku, prikladan je vrlo jednostavan konceptualni model, dok će se relativno složeni modeli koristiti za poboljšanje ili obnovu vodnih tijela koja nemaju dobar status. Slika 4 prikazuje jednostavni konceptualni model podzemne vode kojoj su jedini gubici otjecanje u površinsku vodu. Jednostavan konceptualni model prikazan na Slici 4 može se testirati procjenama prihranjivanja, pražnjenja i crpljenja kako bi se vidjelo objašnjava li tok vode u hidrogeološkom sustavu (Slika 5). Ako je izračun vodne bilance uravnotežen, a model prikladan za korištenje u procjeni stanja tijela podzemne vode, daljnji razvoj modela nije potreban [17].



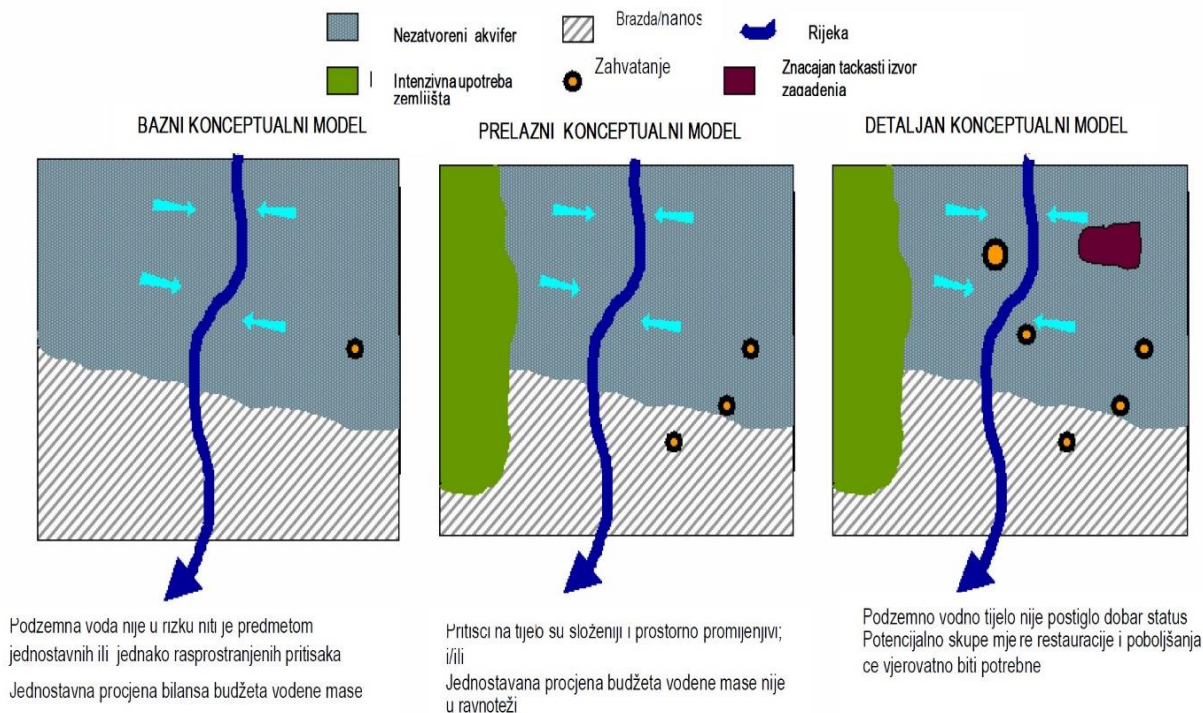
Slika 4 - Shematski prikaz jednostavnog konceptualnog modela [17]



Slika 5 - Prikaz vodne bilance [17]

Ako se javlja dugoročni manjak u vodnoj bilanci (prekomjerna eksploatacija vode, pogreška u konceptualnom modelu ili procjena jedne ili više komponenti vodne bilance) u tom slučaju, potreban je poboljšani, detaljniji konceptualni model.

Razina točnosti koja je potrebna u vodnoj bilanci varirat će ovisno o složenosti i vjerojatnom značaju pritiska kojima je vodno tijelo izloženo. Na primjer, ako je vodno tijelo podložno samo manjim pritiscima jednostavan model bio bi prikladan. Tamo gdje su pritisci veći (u smislu broja, distribucije i/ili značaja) bila bi potrebna poboljšanja konceptualnog modela kako bi se adekvatno procijenio status i osmislile odgovarajuće mjere. Poboljšanje osnovnog konceptualnog modela uključuje smanjenje pogrešaka u procjenama elemenata vodne bilance [17,18]. Slika 6 prikazuje razvoj konceptualnih modela ovisno o broju i vrsti pritiska.



Slika 6 - Razvoj konceptualnih modela ovisno o pritiscima na tijelo podzemne vode [19]

Programi monitoringa moraju biti osmišljeni tako da daju podatke potrebne za odgovarajuće testiranje konceptualnih modela. Podaci praćenja potrebni za testiranje bilo kojeg modela ovisit će o opsegu i kvaliteti postojećih podataka. Različite vrste podataka monitoringa mogu se koristiti za potvrđivanje konceptualnog modela. Na primjer, informacije o fizikalno-kemijskim svojstvima podzemne vode i tijela površinske vode pri niskim riječnim tokovima mogu poboljšati povjerenje u procjene opsega povezanosti podzemne i površinske vode.

Razlikuju se dvije vrste konceptualnih modela:

- regionalni
- lokalni

Regionalni konceptualni model se koristi za razumijevanje čimbenika po cijeloj veličini tijela podzemne vode koji ukazuju na potrebu za postavljanjem točke/mreže praćenja i kako se podaci koriste, dok se lokalni konceptualni model koristi za razumijevanje lokalnih čimbenika koji utječu na kemijsko i kvantitativno ponašanje svake točke praćenja. Regionalnim konceptualnim modelom definiraju se specifični zahtjevi za uspostavu mreže motrenja u smislu broja lokacija, gustoće lokacija i učestalosti motrenja.

Odabir mjesta za praćenje podzemnih voda zahtijeva poznavanje lokalnih čimbenika koji utječu na mjesta za praćenje. Time se procjenjuje sposobnost točke da pruži informacije i reprezentativne podatke. Informacije o lokalnim hidrogeološkim i ekološkim uvjetima potrebne su za razvoj lokalnog konceptualnog razumijevanja. Ove informacije uključuju:

- hidrogeološku sredinu
- lokalne režime toka podzemne vode u slivu
- utjecaje crpljenja
- postojeće hidrokemijske podatke
- približnu površinu slivnog područja
- korištenje zemljišta i pritiske unutar sliva, itd.

2.2.2. Monitoring kvantitativnog stanja

Prema Okvirnoj direktivi o vodama (ODV), postoje 3 kriterija koja moraju biti zadovoljena kako bi se kvantitativno stanje podzemne vode smatralo dobrim [18]:

- 1) Dugoročna prosječna godišnja količina crpljenja ne smije premašiti dostupne zalihe vodnog tijela.
- 2) Crpljenje podzemne vode i druge antropogene aktivnosti ne smiju negativno utjecati na površinska vodna tijela koja su povezana s tijelom podzemne vode.
- 3) Promjene smjera toka podzemne vode (npr. uzrokovane crpljenjem) ne smiju uzrokovati prodor slane vode.

Čak i ako su dostupni podaci o dugoročnom praćenju razine podzemnih voda, mjerenja razine podzemne vode sama po sebi možda neće biti dovoljna za procjenu raspoloživih resursa podzemne vode. Na primjer, možda je bilo utjecaja prije početka praćenja ili se može predložiti novo zahvaćanje [18]. Tablica 3 prikazuje razne scenarije u kojima je ili nije potrebno raditi konceptualni model u svrhu određivanja bilance vode zbog procjene kvantitativnog stanja podzemnih voda

Tablica 3 - Prikaz raznih scenarija za procjenu kvantitativnog stanja podzemnih voda [19]

Scenarij 1	Scenarij 2	Scenarij 3	Scenarij 4
a) Dostupni su podaci dugoročnog promatranja razine podzemne vode b) Nema uočenih trendova smanjenja razine podzemne vode c) Smatra se da ne postoje pritisci na potrebe za vodom kopnenog ekosustava d) Nije predloženo povećanje eksploatacije podzemne vode	a) Nisu dostupni dugoročni podaci promatranja razine podzemne vode	a) Dugoročni podaci promatranja razine podzemne vode su možda dostupni ili možda nisu dostupni b) Predložena je nova eksploatacija podzemne vode	a) Dugoročni podaci promatranja razine podzemne vode su možda dostupni ili možda nisu dostupni b) Smatra se da ne postoje utjecaji na potrebe za vodom kopnenog ekosustava
Dostupni podaci o razini vode su dovoljni da se može zaključiti da je bilanca vode zadovoljavajuća	Bit će potrebno određivanje konceptualnog modela kao i izračun vodne bilance	Bit će potrebno određivanje konceptualnog modela kao i izračun vodne bilance	Bit će potrebno određivanje konceptualnog modela kao i izračun vodne bilance

Osim u idealnom slučaju (poznati su svi dugoročni podaci, ne očekuju se dodatni pritisci na vodna tijela), bez konceptualnog modela je nemoguće predvidjeti dugoročno kvantitativno stanje tijela podzemne vode.

Glavni elementi kvantitativnog konceptualnog modela su [17]:

- procjena prihranjivanja i vodne bilance,
- postojeća razina podzemnih voda i relevantne informacije o rizicima za kopnene ekosustave i površinske vode ovisne o podzemnim vodama,
- stupanj interakcije između podzemnih voda i povezanih površinskih i kopnenih ekosustava, gdje je ta interakcija značajna i može utjecati na ukupno stanje površinskih voda.

Uobičajeni parametri konceptualnog modela za kvantitativnu procjenu stanja podzemnih voda su [17]:

- razina podzemne vode u zdencima ili bušotinama,
- izdašnost izvora,
- karakteristike otjecanja i/ili brzine otjecanja površinske vode tijekom sušnih razdoblja (tj. kada se komponenta otjecanja koja je izravno povezana s oborinom može zanemariti, a otjecanju u velikoj mjeri pogoduje podzemna voda),
- razine u važnim močvarama i jezerima koje ovise o podzemnim vodama.

Također, za prikupljanje dodatnih podataka u svrhu izrade konceptualnog modela, može se mjeriti i električna vodljivost, temperatura, oborine i ostali parametri potrebni za izračun evapotranspiracije, količine crpljenja podzemnih voda i sl. Za ispravan odabir parametara, ključna je reprezentativnost tog parametra u okolini gdje se mjeri kvantitativno stanje podzemnih voda.

Monitoring se može svesti na minimum za tijela podzemnih voda koja su klasificirana da nisu pod rizikom. Unutar tijela podzemne vode klasificirane kao pod rizikom, lokacija točaka monitoringa ovisi o razumijevanju hidrogeoloških uvjeta te gustoća točaka mora biti dovoljno gusta kako bi se mogla dobiti odgovarajuća procjena utjecaja crpljenja i ispuštanja podzemnih voda.

Učestalost monitoringa uglavnom ovisi o karakteristikama vodnog tijela odnosno mjesta monitoringa. Mjesta sa značajnom godišnjom varijabilnošću trebala bi se nadzirati češće nego mjesta sa malom varijabilnošću. Općenito, mjesečno praćenje će biti dovoljno za praćenje količine gdje je varijabilnost niska, ali dnevni monitoring bi bio poželjan [17].

2.2.3. Monitoring kemijskog stanja

Monitoring podzemnih voda potreban je za pružanje koherentnog i sveobuhvatnog pregleda stanja voda unutar svakog riječnog sliva, za otkrivanje prisutnosti dugoročnih antropogeno izazvanih trendova u koncentracijama onečišćujućih tvari i osiguravanje usklađenosti s ciljevima zaštićenih područja.

Glavni ciljevi monitoringa kemijskog stanja podzemnih voda su [18]:

- dobivanje informacija koje se mogu iskoristiti za klasifikaciju kemijskog stanja tijela podzemnih voda,

- utvrđivanje prisustva bilo kakvog značajnog rastućeg trenda koncentracije onečišćujućih tvari u tijelima podzemnih voda, kao i promjenu smjera trenda (opadanje).

Kao i kod monitoringa kvantitativnog stanja, ODV-om su propisana 3 kriterija koje cjelina podzemnih voda mora zadovoljavati kako bi se smatrala dobrim kemijskim stanjem [17]:

- Opća kakvoća vode: Koncentracije onečišćivala ne bi smjele premašiti granične vrijednosti.
- Utjecaji na ekosustave: Vrijednosti prisutnog onečišćenja u podzemnim vodama ne smije prijetiti postizanju ekoloških ciljeva i ciljeva kemijskog stanja kod povezanih površinskih voda, ni štetiti kopnenim ekosustavima koji izravno ovise o cjelini podzemne vode.
- Prodiranje slane vode: Koncentracije onečišćujućih tvari ne bi trebale pokazivati učinke prodora slane vode ili drugih prodora, mjereno promjenama u električnoj vodljivosti.

Sva tri kriterija moraju biti zadovoljena da bi podzemno vodno tijelo postiglo "dobro" kemijsko stanje podzemne vode. Ako ne ispunjava sva tri kriterija, tijelo treba klasificirati kao 'loše' kemijsko stanje podzemne vode. Klasifikacija kemijskog statusa podzemne vode odnosi se samo na koncentracije tvari unesenih u podzemnu vodu kao rezultat antropogene aktivnosti. Koncentracija tvari u neporemećenom tijelu podzemne vode (npr. prirodno visoke koncentracije arsena) neće utjecati na status tijela. Međutim, prirodna promjena koncentracije tvari koje se oslobađaju uslijed antropogenih aktivnosti, kao npr. prilikom rudarstva, su relevantni za procjenu kemijskog statusa podzemno vodnog tijela. ODV zahtijeva uspostavu i nadzornog i operativnog monitoringa za pružanje informacija u svrhu procjene kemijskog statusa, identifikacije i praćenja trendova onečišćivala [17,18].

Nacionalni monitoring kemijskog stanja podzemnih voda na monitoring postajama u Republici Hrvatskoj obuhvaća nadzorni i operativni monitoring. ODV zahtijeva provođenje nadzornog monitoringa u svakom ciklusu planiranja, a provođenje operativnog monitoringa u razdobljima koja nisu obuhvaćena nadzornim monitoringom. Ne postoji minimalno trajanje ili učestalost nadzornog monitoringa, dok se operativni monitoring mora provoditi najmanje jednom godišnje u razdobljima između nadzornog monitoringa. Države članice trebale bi provoditi nadzorni monitoring tijekom svakog

planskog razdoblja kako bi omogućile odgovarajuću validaciju procjena rizika i kako bi dobile podatke o procjeni trenda. Uz to, trebale bi provoditi dovoljno operativnog monitoringa za određivanje statusa rizičnih tijela i postojanja značajnog te trajnog trenda rasta koncentracija onečišćujućih tvari [17].

Nadzorni monitoring provodi se zbog [16]:

- ocjenjivanja kemijskog stanja na tijelima podzemnih voda
- vrednovanja i dopune postupaka za ocjenu učinaka onečišćenja
- dobivanja informacija za procjenu značajnih i trajnih trendova rasta koji su rezultat promjena prirodnih uvjeta i utjecaja ljudskih aktivnosti.

Nadzorni monitoring je potreban u tijelima ili skupinama tijela koja su izložena riziku i u onima koja nisu izložena riziku neispunjenja ciljeva ODV-a. Program se mora provoditi u svakom ciklusu upravljanja riječnim slivom, bez obzira na to je li podzemno vodno tijelo (ili skupina tijela) u opasnosti. Nadzorni monitoring treba provoditi u svakom planskom razdoblju i u mjeri potrebnoj za odgovarajuću dopunu i validaciju procesa procjene rizika svakog tijela podzemne vode ili grupu tijela podzemnih voda.

Skupina ključnih pokazatelja nadzornog monitoringa uključuje: pH, električnu vodljivost, nitrate, otopljeni kisik, amonijak, temperaturu te skupinu glavnih iona i iona u tragovima. ODV ne zahtijeva parametre kao što su temperatura i skupine glavnih iona te iona u tragovima, ali mogu biti od pomoći za provjeru valjanosti procjene rizika i konceptualnih modela. Također, povremeno su potrebni dodatni pokazatelji zbog onečišćujućih tvari tipičnih za antropogene djelatnosti. Osim toga, na svim lokacijama gdje se vrši nadzorni monitoring, preporučuje se praćenje razine vode u svrhu lakšeg tumačenja povremenih varijacija ili povremenih promjena trendova u kemijskom sastavu podzemne vode [17,18].

Odabir točaka uzorkovanja i način na koji one funkcioniraju od velike je važnosti za rezultate naknadnog procesa procjene, posebno jer su onečišćivača u tijelima podzemnih voda često neravnomjerno raspoređena. Prostorni raspored onečišćujućih tvari ovisi o položaju različitih pritisaka, npr. točkasti i difuzni izvori (različiti načini korištenja zemljišta). Osim toga, tijela podzemne vode su trodimenzionalna i koncentracije onečišćivača mogu značajno varirati u okomitom i bočnom smjeru. Fizikalno-kemijski parametri (npr. električna vodljivost, temperatura i koncentracije onečišćujućih tvari) u površinskim vodonosnicima ponekad pokazuju jake fluktuacije tijekom godine.

Faktori koji utječu na odabir lokacije su specifični za svaku lokaciju, međutim svi se vode istim načelima [17,18]:

- **Prikladni tipovi lokacija:** Odabir bi se trebao temeljiti na regionalnom konceptualnom modelu tijela podzemnih voda (ili skupine tijela) i pregledu postojećih lokacija monitoringa i lokalnom konceptualnom modelu. Nadzorni monitoring bi trebalo dati pregled kakvoće vode unutar tijela podzemne vode ili skupine tijela podzemne vode. Eksploatacija velikih količina vode i izvori voda mogu biti prikladna mjesta za uzorkovanje, jer crpe vodu iz velikog područja i volumena vodonosnika. Izvori, za odabir lokacije monitoringa, se posebno preporučuju u krškim vodonosnicima ili vodonosnicima s plitkim pukotinama. Međutim, reprezentativna mreža praćenja trebala bi se temeljiti na uravnoteženoj kombinaciji različitih tipova lokacija uzorkovanja
- **Reprezentativnost:** U nekim sustavima vodonosnika može doći do stratifikacije. U ovom slučaju lokacija točaka monitoringa bi trebala biti usmjerena na najosjetljivije dijelove tijela podzemne vode koji su često gornji dijelovi. Međutim, u svrhu dobivanja reprezentativne procjene distribucije onečišćivala za podzemnu vodu, potreban je dodatni monitoring u ostalim dijelovima tijela podzemne vode
- **Tijela pod rizikom:** Lokacije nadzornog monitoringa pružit će osnovu za operativni nadzor, tj. na temelju rezultata mreža se može prilagoditi u skladu s tim
- **Tijela koja nisu pod rizikom:** Općenito, preporučuju se najmanje 3 točke monitoringa u tijelu podzemne vode ili skupini tijela. Tamo gdje su tijela podzemnih voda velika i heterogena, vjerojatno će biti potrebno znatno više točaka praćenja kako bi se ispunili ciljevi praćenja
- **Tijela koja su pod niskim pritiskom ili ih nemaju:** U skupinama tijela podzemnih voda koje nisu u opasnosti, glavna svrha monitoringa je dobivanje prirodne vrijednosti kakvoće vode i trendova, te u skladu s tim odabrati lokacije monitoringa

Učestalost nadzornog monitoringa se temelji na konceptualnom modelu i postojećim podacima koji su dobiveni monitoringom. Ukoliko već postoji dugoročan sustav monitoringa, podaci dobiveni iz njega bi se trebali koristiti za određivanje učestalosti. Ukoliko ne postoji dugoročni sustav, nadzorni monitoring ovisi o tipu vodonosnika.

Također i ovisi o dubini vodonosnika, odnosno kod plitkih vodonosnika postoji više varijacija pa bi se na temelju toga trebala učestalost povećati. U sustavima manjih varijacija, u samom početku monitoringa, dovoljna su dva uzorka godišnje. Ukoliko se u roku od šest godina ne utvrde značajne varijacije, učestalost se može smanjiti. Tablica 4 prikazuje učestalost nadzornog monitoringa ovisno o tipu tečenja podzemne vode u vodonosniku (ako ne postoje postojeći podaci i/ili dugoročni monitoring) [17,18].

Tablica 4 – Učestalost nadzornog monitoringa ovisno o tipu tečenja u vodonosniku [20]

			Tip vodonosnika				
			zatvoren	otvoren		pukotinski vodonosnik	krški vodonosnik
				značajno dubinsko tečenje	plitko tečenje		
početna učestalost – osnovni i dodatni pokazatelji			2 x god.	4 x god.	4 x god.	4 x god.	4 x god.
dugoročna učestalost	osnovni pokazatelji	visoka transmisivnost	1 x 2 god.	1 x god.	2 x god.	2 x god.	2 x god.
		niska transmisivnost	1 x 6 god.	1 x god.	1 x god.	1 x god.	2 x god.
	dodatni pokazatelji		1 x 6 god.	1 x 6 god.	1 x 6 god.	1 x 6 god.	-

Operativni monitoring potreban je samo u tijelima podzemnih voda koja su pod rizikom od neispunjavanja ciljeva ODV-a. Program operativnog monitoringa služi za određivanje [17]:

- Kemijskog statusa svih tijela podzemnih voda ili grupe tijela za koja je utvrđeno da su pod rizikom
- Prisutnosti bilo kakvih dugoročnih povećanja trendova onečišćujuće tvari kao posljedica antropogenih aktivnosti
- Procjenu učinkovitosti programa mjera za vraćanje tijela u dobro stanje ili za ograničavanje tendencije povećanja razine onečišćenja.

Kao i kod nadzornog monitoringa, prilikom operativnog monitoringa, potrebno je obavezno mjeriti vrijednosti 5 parametara [21]:

- otopljenost kisika
- pH
- električna vodljivost
- nitrati

- amonijak

Pri odabiru lokacija operativnog monitoringa, lokacije moraju biti određene na temelju [17]:

- Dostupnosti odgovarajućih postojećih lokacija (kao npr. iz programa nadzornog monitoringa) koja daju reprezentativne uzorke
- Potencijala za podršku različitim ODV programima monitoringa (npr. prikladni izvori mogu djelovati kao mjesta uzorkovanja vode za provjeru kakvoće, količine i te za uzorkovanje površinskih voda)
- Potencijala za integrirani višenamjenski monitoring, npr. kombinirajući zahtjeve za monitoring prema Nitratnoj Direktivi, monitoringa zaštićenih područja pitke vode i sl.
- Potencijalnih veza s postojećim/planiranim mjestima za praćenje površinskih voda

Kada postoji rizik za specifične recipijente (npr. ekosustavi), mogu se postaviti dodatne točke uzorkovanja koje će biti usredotočene na područja u blizini tih recipijenata. Operativni monitoring može se koristiti za praćenje gornjih dijelova vodonosnika i vode koja otječe iz tla. U slučaju raspršenih pritiska, točke uzorkovanja bi trebale biti rasprostranjenije po cijelom vodnom tijelu.

Učestalost operativnog monitoringa se temelji na konceptualnom modelu, karakteristikama vodonosnika i njegovom otporu pritiscima onečišćenja. Prilikom određivanja učestalosti monitoringa te vremena uzorkovanja na pojedinoj lokaciji, mora se uzeti u obzir [17]:

- Zahtjeve o procjeni trendova onečišćivala
- Da li je lokacija na uz, ispod ili niz gradijenta pritiska. Lokacije izravno ispod pritiska mogu zahtijevati češći monitoring
- Kratkotrajne fluktuacije u koncentracijama onečišćujućih tvari, npr. sezonski učinci. Kada su vjerojatni sezonski i drugi kratkoročni utjecaji, važno je povećati učestalost i vrijeme uzorkovanja u skladu s tim te prikupljati uzorke u isto vrijeme ili pod istim uvjetima svake godine kako bi se omogućili usporedivi podaci za procjenu trenda, točnu karakterizaciju i procjenu statusa.

- Načini korištenja područja, npr. razdoblje primjene pesticida ili nitrata. Ovo je posebno važno za podzemno vodna tijela koji imaju brzi protok podzemne vode (krški vodonosnici i/ili plitka podzemna vodna tijela)

Operativni monitoring se provodi sve dok se (sa sigurnošću) ne utvrdi da tijelo podzemne vode više nije loše ili nije više pod rizikom lošeg stanja te da postoje podaci koji dokazuju preokretanje rastućih trendova onečišćivala.

Isto kao i kod nadzornog monitoringa, učestalost uzorkovanja uzorka pri operativnom monitoringu ovisi o tipu tečenja u vodonosniku (Tablica 5) [17,18,21].

Tablica 5 – Učestalost operativnog monitoringa ovisno o tipu tečenja u vodonosniku [20]

		Tip vodonosnika				
		zatvoren	otvoren			
			međuzrnski vodonosnik		pukotinski vodonosnik	krški vodonosnik
značajno dubinsko tečenje	plitko tečenje					
podzemne vode jače ranjivosti	stalna opterećenja	1 x god.	2 x god.	2 x god.	4 x god.	4 x god.
	sezonska /povremena opterećenja	1 x god.	1 x god.	prema potrebi	prema potrebi	prema potrebi
podzemne vode slabije ranjivosti	stalna opterećenja	1 x god.	1 x god.	2 x god.	2 x god.	4 x god.
	sezonska /povremena opterećenja	1 x god.	1 x god.	prema potrebi	prema potrebi	prema potrebi
procjene trendova		1 x god.	2 x god.	2 x god.	2 x god.	-

Istraživački monitoring se prema Uredbi o standardu kakvoće vode provodi u situacijama kada [22]:

- Granične vrijednosti pokazatelja prijeđu granicu, a razlog je nepoznat,
- Je potrebno određivanje razmjera i utjecaja izbijanja neočekivanog onečišćenja, te
- je potrebno dati informacije za formuliranje programa mjera za postizanje ciljeva zaštite voda i utvrđivanje posebnih mjera za otklanjanje posljedica neočekivanog onečišćenja.

Za istraživački monitoring ne postoji plan jer se koristi kod slučajnih situacija te se provodi prema potrebi.

3. PREGLED ZAKONSKE REGULATIVE

3.1. Zakon o vodama

Monitoring podzemnih voda u RH uređen je Zakonom o vodama, dok je Zakon o vodama usklađen s Okvirnom direktivom o vodama (ODV). Zakon o vodama uređuje pravno stanje voda, vodno dobro i hidrotehničkih građevina, upravljanje količinom i kakvoćom voda, zaštitu od štetnog djelovanja voda (poplave i sl.), te unaprjeđenje odvodnje i navodnjavanja.

Zakon o vodama odnosi se na sve vode, uključujući površinske, priobalne i podzemne vode. Zakonom su propisana i načela upravljanja vodama te ciljevi upravljanja vodama (osiguranje dovoljnih količina pitke vode, osiguranje dovoljnih količina vode za razne gospodarske djelatnosti, zaštita ljudi od štetnog djelovanja vode, postizanje i očuvanje dobrog stanja vode). Definirana su javna dobra i upravljanje njima, hidrotehničke građevine te namjena i upravljanje. Definirana su dva vodna područja na državnom području Republike Hrvatske (vodno područje Dunav – sjeverni dio Hrvatske i jadransko vodno područje – južni dio Hrvatske).

Propisani su ciljevi zaštite voda, odnosno sprječavanje daljnjih pogoršanja voda i vodnih ekosustava, održivo korištenje voda, zaštita vodnog okoliša, smanjenje i sprječavanje onečišćenja podzemnih voda te ublažavanje posljedica suša i poplava. Zaštitom voda želi se omogućiti očuvanje zdravlja ljudi i okoliša, osiguravanje dovoljnih količina površinskih i podzemnih voda, zaštiti vodnih ekosustava i o vodi ovisnih ekosustava, smanjenje onečišćenja podzemnih voda i sl. [23].

Zakonom o vodama propisan je i monitoring, odnosno nadzor podzemnih voda. O tome je pisano u poglavlju 2.2. Na tijelima površinskih i podzemnih voda koje osiguravaju eksploataciju vode veću od 100 m³ dnevno, potrebno je obavezno raditi monitoring njihovog stanja.

Zbog poštivanja ODV-a, Zakonom o vodama propisano je praćenje stanja voda koje zahtijeva provođenje praćenja kvantitativnog i kvalitativnog stanja podzemnih voda na području RH. Danas su opseg, vrsta i način analize voda u Republici Hrvatskoj određeni Zakonom o vodama, Uredbom o standardima kakvoće voda i Pravilnikom o posebnim uvjetima za uzorkovanje i analizu vode [16].

3.2. Okvirna direktiva o vodama

ODV je objavila Europska unija 2000. godine, a potpisala ga je Republika Hrvatska 2001. godine. Okvirna direktiva o vodama (2000/60/EC) je sveobuhvatan pravni dokument koji, između ostalog, postavlja ciljeve za dobro stanje svih vodnih tijela u Europi. Riječ je o ključnom dokumentu u kojem se članice EU-a obvezuju na zaustavljanje svakog daljnjeg uništavanja vodnih tijela te na obnovu i poboljšanje stanja kopnenih, vodenih i močvarnih ekosustava koji izravno ovise o vodenim ekosustavima. Općenito, ODV je rezultat degradacije staništa, smanjene kvalitete i količine vode te smanjene bioraznolikosti, a cilj joj je postizanje dobrog stanja voda u svim vodnim tijelima do 2015. i kasnije [2,24].

Kako bi se na koordiniran način suočile s izazovima, države članice EU-a, Norveška i Komisija dogovorile su se o Zajedničkoj strategiji provedbe (*Common Implementation Strategy* - CIS) za Okvirnu direktivu o vodama samo pet mjeseci nakon što je stupila na snagu. Glavni cilj CIS vodiča je ostvarenje koherentne i harmonizirane implementacije ODV-a, odnosno predstavlja načine i korake kako osigurati uvjete propisane ODV-om [25].

CIS vodič br. 15 je Vodič o praćenju, odnosno monitoringu podzemnih voda te se po njemu bazira monitoring u Republici Hrvatskoj. Vodič pruža upute za uspostavu programa praćenja podzemnih voda kako bi se ispunili zahtjevi ODV. Ovi programi uključuju kvantitativno i kemijsko (kvalitativno) praćenje za procjenu stanja i trendova, te praćenje za podršku karakterizaciji tijela (podzemnih voda) i očuvanju bazena pitke vode. Uspostava kvalitetnih dugoročnih programa praćenja ključna je za učinkovitu implementaciju ODV. Praćenje podzemnih voda može biti vrlo skupa aktivnost, zbog čega CIS vodič br. 15 daje savjete kako praćenje učiniti relevantnim za ODV [17].

3.3. Uredba o standardu kakvoće voda

Uredba o standardu kakvoće voda je nastavak Zakona o vodama. Uredbom o standardu kakvoće voda propisuje se standard kakvoće voda površinskih voda (i priobalne vode i vode teritorijalnog mora) te podzemnih voda, posebni ciljevi zaštite voda, kriteriji za određivanje ciljeva zaštite voda, elementi za ocjenu stanja voda, praćenje i izvješćivanje o stanju voda. Uredba je također usklađena s ODV-om. Uredbom se provode i posebni ciljevi zaštite podzemnih voda – sprječavanje ili ograničenje unosa onečišćujućih tvari u

podzemne vode, zaštita, obnavljanje i očuvanje svih podzemnih voda te osiguravanje omjera između prihranjivanja i eksploatacije podzemnih voda te promjena svakog rastućeg trenda onečišćivača kao posljedica antropogene aktivnosti.

Prema Uredbi, stanje podzemnih voda određuje se prema količinskom (razina podzemne vode i izdašnost) i kemijskom (pH, električna vodljivost, otopljeni kisik, nitrati, amonij) stanju. Uredba propisuje da postoje dvije vrste stanja (dobro i loše) u količinskom i kemijskom opisu tijela podzemne vode, a određuje se putem monitoringa podzemnih voda. Kemijski status podzemnih voda određuje se na temelju standarda kakvoće podzemnih voda (nitrati i pesticidi) (Tablica 6) i na temelju propisanih graničnih vrijednosti specifičnih onečišćujućih tvari (Tablica 7). Za konačnu ocjenu stanja podzemnih voda, uzimaju se prosječne godišnje koncentracije te ona mora biti ispod dozvoljene granične vrijednosti. Ocjena kemijskog stanja provodi se za svako tijelo i/ili skupine tijela podzemnih voda [20].

Tablica 6 – Standardi kakvoće podzemnih voda [20]

Pokazatelj	Mjerna jedinica	Standard kakvoće
Podzemne vode, osim mineralnih i geotermalnih voda		
nitrati (NO ₃) [*]	mg/l	50
aktivne tvari u pesticidima ^{**} uključujući njihove relevantne metabolite, produkte razgradnje i reakcij ^{†*}	µg/l	0,1 pojedinačno 0,5 ukupno ^{***}

Tablica 7 – Granične vrijednosti specifičnih onečišćujućih tvari [20]

Pokazatelj	Mjerna jedinica	Granična vrijednost
A) Podzemne vode, osim mineralnih i geotermalnih voda		
1. koji se može pojaviti prirodno i/ili kao rezultat ljudske djelatnosti		
arsen (As) [*]	μg/l	10
kadmij (Cd)	μg/l	5
olovo (Pb) [*]	μg/l	10
živa (Hg)	μg/l	1
amonij (NH ₄) ⁺	mg/l	0,5
kloridi (Cl)	mg/l	250
sulfati (SO ₄) ⁺	mg/l	250
ortofosfati (P) [*]	mg/l	0,2
nitriti (NO ₂)	mg/l	0,5
ukupni fosfor (P) [*]	mg/l	0,35
2. umjetne sintetičke tvari		
suma trikloretilena i tetrakloretilena	μg/l	10
3. koji upućuje na prodore slane vode ili druge prodore		
električna vodljivost	μS/cm	2 500

3.4. Pravilnik o posebnim uvjetima za obavljanje djelatnosti uzimanja uzoraka i ispitivanja voda

Ovim Pravilnikom propisuju se posebni uvjeti za obavljanje poslova uzorkovanja i analize vode, osim vode namijenjene za ljudsku potrošnju prema posebnim standardima. Pravilnik je usklađen s ODV-om. Uzorkovanje predstavlja jako važan segment u monitoringu podzemnih voda te je iz tog razloga ovo važan dokument kojeg treba slijediti kod izrade plana motrenja podzemnih voda. Također, ispravno provođenje laboratorijskih analiza uzetih uzoraka je važan segment zbog mogućnosti usporedbe rezultata motrenja podzemnih voda neovisno o mjestu provedbe analiza te pouzdanosti dobivenih rezultata kako bi se na temelju tih rezultata donijele kvalitetne odluke. Uzimanje uzoraka i ispitivanja obuhvaća uzorkovanje, skladištenje, transport uzoraka, izradu zapisa o podacima uzorkovanja, ispitivanje uzoraka i izradu izvješća o ispitivanju. Ovaj pravilnik uređuje djelatnost uzimanja uzoraka i ispitivanja površinske vode, sedimenata i biote u površinskim vodama, zatim podzemne vode i otpadne vode.

Laboratoriji koji obavljaju djelatnosti uzimanja uzoraka i ispitivanja dužni su primjenjivati te djelatnosti u skladu s međunarodno priznatim normama. Također, laboratorij mora biti akreditiran od strane Hrvatske akreditacijske agencije.

Od opreme za uzorkovanje, laboratorij mora imati agregat, crpku i mjerač razine podzemne vode. Također, od opreme i pribora za ispitivanje fizikalno-kemijskih parametara, laboratorij mora imati analitičku i tehničku vagu, sušionik, električnu peć za žarenje, konduktometar, pH metar, turbidimetar, digestor, vakuum pumpu, pribor za filtraciju, kromatograf i sl. [26].

3.5. Pravilnik o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta

Ovim pravilnikom uređuju se uvjeti za određivanje zona sanitarne zaštite izvorišta namijenjenih javnoj vodoopskrbi, mjere i ograničenja koja se u njima provode, rokovi i postupak donošenja rješenja o zaštiti izvorišta. Ovaj Pravilnik nije izravno povezan s monitoringom podzemnih voda, no kako je već naglašeno u radu, vode za piće potječu najčešće iz podzemlja stoga je Pravilnik o utvrđivanju zona sanitarnih zaštita vrlo važan. Elaborati o proglašenju zona sanitarne zaštite imaju puno vrijednih informacija o stanju i načinu kretanja podzemne vode koje treba uzeti u obzir kod planiranja programa monitoringa podzemnih voda.

Pravilnikom se prema količini crpljenja izvorišta klasificiraju na izvorišta maksimalnog kapaciteta do 20 l/s, od 20 do 100 l/s i iznad 100 l/s, Zone sanitarne zaštite se određuju prema tipu vodonosnika, odnosno drugačije su kod vodonosnika međuzrnske poroznosti i kod vodonosnika s pukotinskom i pukotinsko-kavernoznom poroznosti.

Postoje 3 zone sanitarne zaštite kod vodonosnika s međuzrnskom poroznosti:

1. zona – zona strogog režima zaštite i nadzora
2. zona – zona strogog ograničenja i nadzora
3. zona – zona ograničenja i nadzora

U svakoj zoni propisane su aktivnosti koje su zabranjene te širina zone, tako su u 1. zoni zabranjene sve aktivnosti osim onih koje se odnose na crpljenje, transport i kondicioniranje vode u vodoopskrbni sustav. U 2. zoni je zabranjena poljoprivredna i stočarska proizvodnja, ispuštanje otpadnih voda s prometnica, stvaranje groblja i reciklažna dvorišta. U 3. zoni zabranjeno je ispuštanje nepročišćenih otpadnih voda, privremeno i trajno odlagalište otpada i opasnog otpada, izgradnja kemijskih postrojenja, podzemna eksploatacija mineralnih sirovina i sl.

Kod vodonosnika s pukotinskom i pukotinsko-kavernoznom poroznošću, postoje 4 zone sanitarne zaštite:

1. zona – zona strogog režima zaštite i nadzora
2. zona – zona strogog ograničenja i nadzora
3. zona – zona ograničenja i nadzora
4. zona – zona ograničenja

Zabrane u 1. zoni su iste kao i kod vodonosnika s međuzrnskom poroznošću. U 2. zoni uz nabrojene aktivnosti kod vodonosnika s međuzrnskom poroznošću, još je zabranjena sječa šume i gradnja bilo kakvih građevina koje mogu ugroziti kemijsko stanje vode. U 3. zoni vrijede iste zabrane uz nekoliko iznimaka kao i kod međuzrnskog vodonosnika. u 4. zoni zabranjeno je ispuštanje nepročišćenih otpadnih voda, građenje objekata za proizvodnju opasnih i onečišćujućih tvari, građenje građevina za oporabu obradu i odlaganje opasnog otpada, izvođenje istražnih i eksploatacijskih bušotina za neobnovljive izvore energije (nafta, zemni plin), građenje prometnih infrastruktura bez adekvatne odvodnje i sl. [27].

4. PRIMJERI IZ PRAKSE

4.1. Monitoring podzemnih voda u Danskoj

Danska se prostire na 43 000 km², ima 5,5 milijuna stanovnika te se nalazi na sjeveru Europe. Dvije trećine zemlje su poljoprivredna zemljišta, oko 6 % zemlje su urbana područja, dok je manje od 20 % prirodnih područja. Reljefno gledano, Danskom na površini dominiraju brda, dok se na zapadu države nalaze ravnice nastale otapanjem ledenjaka. Najplići sedimenti su pretežito pjeskoviti i glinasti što omogućuje izravnu infiltraciju podzemnih voda u većini područja.

Više od 99 % potrošnje vode u Danskoj temelji se na podzemnim vodama, a sva pitka voda dolazi iz podzemnih voda što ih čini vrijednim resursom. Danska od 1988. godine ima sveobuhvatan nacionalni program monitoringa podzemnih voda koji se temelji na 74 slivna područja i šest malih poljoprivrednih slivova na različitim dubinama za redovito, uglavnom godišnje uzorkovanje kvalitete vode. Uzorci vode iz 10.000 zdenaca analiziraju se svakih 3-5 godina. Voda se analizira za glavne komponente, anorganske elemente u tragovima, organske mikro onečišćujuće tvari te pesticide. Program monitoringa se neprestano prilagođava kako bi uključio nova znanja iz istraživačkih programa i ispunio nove zahtjeve politike (ODV), s fokusom na kvantitativne aspekte i interakcije podzemne/površinske vode. Prema zakonu, podzemna voda se obrađuje samo prozračivanjem i filtracijom uz pomoć pijeska kako bi se uklonili taloženi željezni i manganovi oksidi prije distribucije stanovništvu.

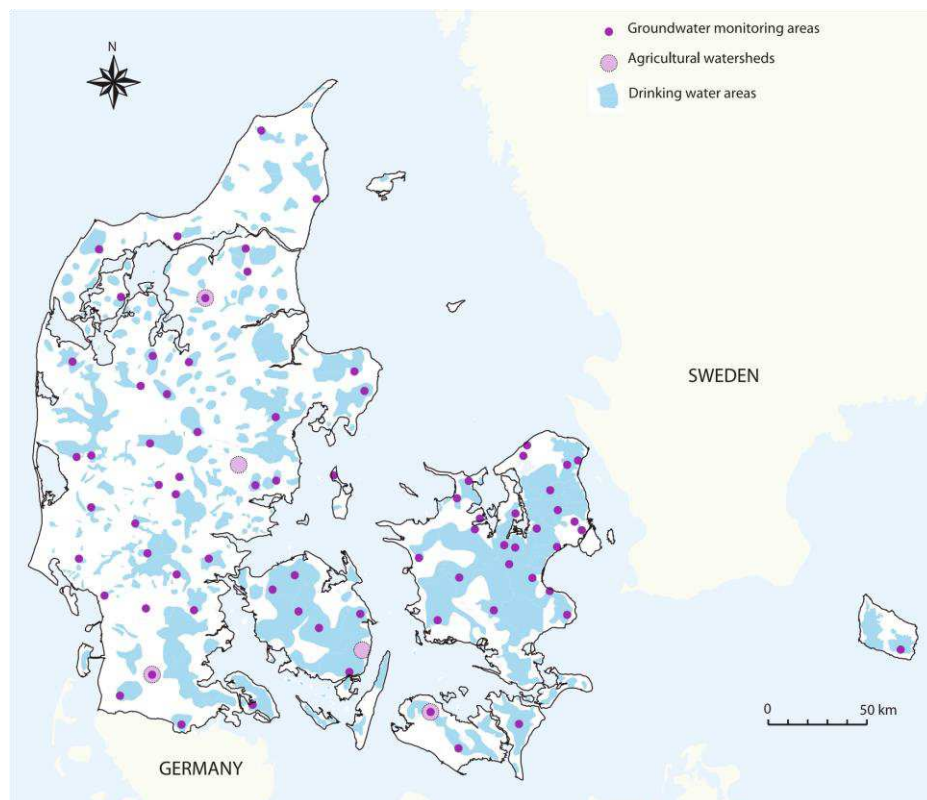
4.1.1. Program monitoringa

Danski program monitoringa podzemnih voda dio je Nacionalnog programa praćenja i procjene za vodeni i kopneni okoliš, NOVANA te je program je započeo krajem 1980-ih. Glavna svrha bila je pratiti promjenu opterećenja hranjivim tvarima u vodenom okolišu te pratiti i bilježiti učinke provedenih mjera. Uzorkovanje podzemnih voda provode regionalne vlasti, a analize, prema međunarodnim standardima, provode laboratoriji koje imenuje Ministarstvo okoliša. Geološko istraživanje Danske i Grenlanda (GEUS) zaduženo je za program praćenja i izradilo je povezane tehničke specifikacije i smjernice za praćenje dizajna mreže, izgradnje bušotina, uzorkovanja, analize itd. Podaci o podzemnim vodama iz praćenja prikupljaju se u nacionalnoj javno dostupnoj bazi podataka u GEUS-u [28,29].

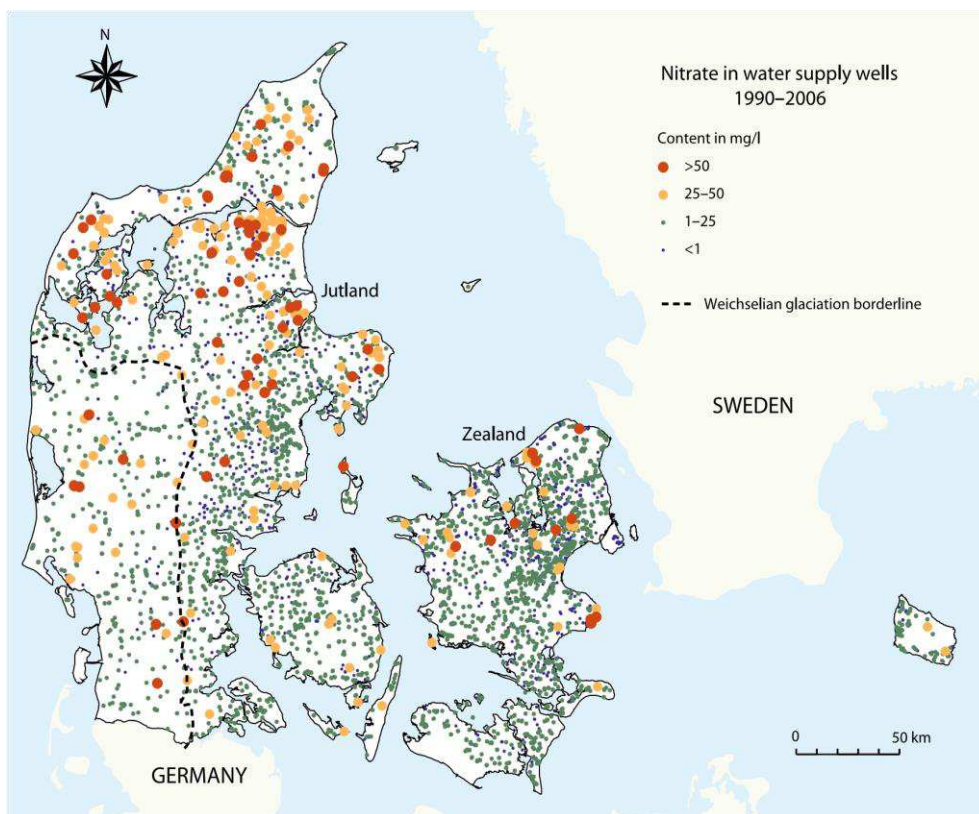
Neki od glavnih ciljeva monitoringa su [28]:

- Pružiti potrebna znanja o kvantitativnom i kvalitativnom stanju podzemnih voda te trendovima i uzrocima promjena u njima.
- Dokumentirati ukupni učinak akcijskih planova na vodeni okoliš i druge mjere na kvalitetu i količinu resursa podzemnih voda.
- Ispuniti obveze Danske u skladu s relevantnim europskim zakonodavstvom i međunarodnim konvencijama.
- Redovito informirati javnost o kvalitativnom i kvantitativnom stanju podzemnih voda.

Danski program praćenja podzemnih voda sastoji se od mreže od 74 monitoring točaka, koja su gotovo ravnomjerno raspoređena po Danskoj (Slika 7). Većina točaka monitoringa nalaze se u blizini sela, a ne u blizini gradova. Razlog je u tome zbog toga što je glavno onečišćivalo podzemnih voda nitrat koji proizlazi iz poljoprivrede. Slika 8 prikazuje koncentracije nitrata u mg/l na području Danske u razdoblju od 1990. – 2006. godine [28,29].



Slika 7 - Mreža monitoringa na području Danske [28]



Slika 8 - Koncentracije nitrata na području Danske [28]

Područja monitoringa variraju od 5 do 50 km² te svako područje sadržava do 25 nadzornih bušotina. Većina bušotina uzorkuje se svake godine, a neke od njih i nekoliko puta godišnje. Analizirani parametri grupirani su u glavne komponente (kloridi, nitrati, sulfati, amonij i željezo), anorganske elemente u tragovima (npr. arsen, bakar i nikal), organske mikro onečišćujuće tvari (npr. aromatski ugljikovodici, klorirana otapala i fenoli) te pesticide.

Odabir parametara koji će se analizirati kao dio nacionalnog programa praćenja podzemnih voda izvorno je odabrala radna skupina na temelju nacionalnih i stranih iskustava, a kasnije su uvedene promjene utemeljene na nacionalnim i stranim kampanjama praćenja i istraživanjima (npr. popis pesticida započeo je 1988. s pet najčešće korištenih pesticida u Danskoj, ali se taj broj povećao na 45 u razdoblju od 1998. do 2003. godine). Neke tvari su ukinute jer nisu nikad uočene, dok su nove uključene po potrebi. Tablica 8 prikazuje učestalost monitoringa za različite skupine podzemnih voda.

Tablica 8 – Učestalost monitoringa [28]

Sampling and analysis frequencies	Programme elements					
	Groundwater-monitoring areas				Agricultural catchments	Drinking-water supply abstraction wells
Monitoring elements	Young groundwater	Old groundwater	New wells	Redox wells	Groundwater	Groundwater
Main components	1 per year	1 per 6 years	2 per year	6 per year	6 per year	1 per 3–5 years
Inorganic trace elements	1 per 2 years ^a	1 per 2 years ^a	-	-	1 per 3 years ^b	1 per 3–5 years
Organic micro pollutants	1 per 3–6 years	-	-	-	1 per 3 years ^b	1 per 3–5 years
Pesticides and metabolites	1 per year	-	1 per year	6 per year ^b	4 per year ^b	1 per 3–5 years

Starost podzemnih voda procijenjena je u svim bušotinama za praćenje na temelju koncentracije otopljenog CFC-a u vodi (klorofluorouglikovodika). Metoda se bazira na određivanju vremena kada je zadnji put u podzemnu vodu ušlo nešto iz atmosfere, odnosno posljednje prihranjivanje podzemne vode. Starom vodom se smatra ukoliko nema CFC, odnosno zadnje prihranjivanje je imala 1940-ih. Podzemne vode u kojoj se nalaze CFC smatraju se mladim podzemnim vodama. U starim podzemnim vodama analiziraju se samo anorganski elementi u tragovima koji se očekuju prema sastavu sedimenata i redoks uvjetima, dok su anorganski elementi u tragovima analizirani u mladim podzemnim vodama odabrani tako da predstavljaju pritiske s površine, npr. gnojiva.

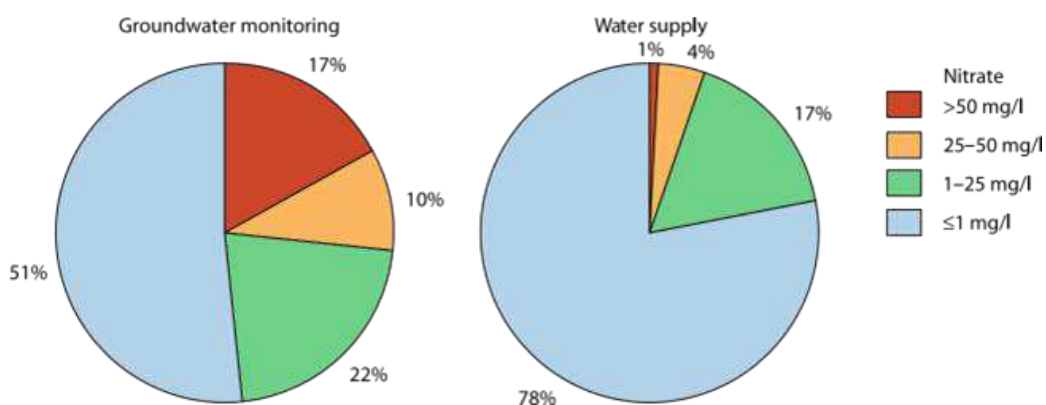
4.1.2. Prikupljanje i pohrana podataka

Rezultati obvezne kontrole kvalitete podzemnih voda koju provode poduzeća za opskrbu pitkom vodom dodatni su doprinos danskom programu monitoringa podzemnih voda. Bušotine za eksploataciju podzemnih voda za proizvodnju pitke vode često su prilično duboke, iskorištavajući glavne vodonosnike relativno dobre kvalitete. Uzorci vode iz 10.000 bušotina za eksploataciju podzemne vode analiziraju se svake treće do pete godine, ovisno o eksploatiranoj količini. U razdoblju od 1996. do 2003. izgrađen je nacionalni model vodnih resursa (DK-model) koji obuhvaća cijelu Dansku. Model je numerički integrirani model podzemne vode i površinske vode.

Danski program praćenja podzemnih voda pohranjuje podatke u nacionalnu bazu podataka u GEUS-u, s kontrolom kvalitete i dnevnim ažuriranjem dostupnim na internetu. Rezultati se objavljuju svake godine od 1990., s fokusom na nitrate, fosfor, pesticide, nikal, arsen i organska mikroonečišćivala.

4.1.3. Kemijsko stanje podzemnih voda

Kako bi se procijenilo kemijsko stanje podzemnih voda, u obzir se uzimaju bušotine za crpljenje i bušotine za monitoring vode. Bušotine za crpljenje osiguravaju čistu podzemnu vodu uz jednostavnu obradu, dok bušotine za monitoring prate kvalitetu podzemne vode. Bušotine za crpljenje često se napuštaju zbog onečišćenja te se stvaraju nove, dublje, dok bušotine za monitoring daju detaljniju sliku kvalitete podzemne vode. Međutim, bušotine za crpljenje imaju ograničene probleme s nitratima, pri čemu 16 % bušotina za monitoring premašuje standard kvalitete pitke vode (> 50 mg/l). Slika 9 prikazuje usporedbu koncentracije nitrata u bušotinama za monitoring (lijevo) i bušotinama za crpljenje (desno) [28].



Slika 9 - Koncentracije nitrata u monitoring bušotinama uspoređene sa bušotinama za crpljenje podzemne vode [28]

4.1.4. Kvantitativno stanje podzemnih voda

Godišnja potrošnja vode znatno se smanjila u posljednjih 20 godina i sada je manje-više stabilizirana oko 600–700 milijuna m^3 godišnje. To je uglavnom zbog novih nameta za vodu na eksploatiranu vodu i intenzivnih kampanja vodoopskrbnih tvrtki za smanjenje gubitaka. Količina oborina tijekom proljeća i ljeta odlučujući je čimbenik za stopu crpljenja u svrhu navodnjavanja jer navodnjavanje čini 20-45 % ukupne eksploatacije podzemne vode, a sušna sezona znatno povećava eksploataciju. U Danskoj je eksploatacija podzemne vode dopuštena samo uz dozvolu dobivenu od pravnih tijela, a korisnici moraju prijaviti godišnje količine eksploatacije podzemne vode. U nekoliko slučajeva uočeno je da eksploatacija podzemnih voda uzrokuje smanjenje protoka površinske vode jer su podzemne vode uglavnom jedini prihod površinskim vodama. U

nekim područjima oko većih gradova često se može vidjeti da močvarna područja na nižim razinama vode zbog smanjenja razina podzemnih voda i da su protoci potoka niski tijekom ljeta, a neki i privremeno presušuju [28,29].

4.1.5. Glavne značajke programa monitoringa u Danskoj

Podaci iz programa, nakon postupaka osiguranja kvalitete, automatski se pohranjuju u veliku bazu podataka s besplatnim, javnim pristupom. Program obuhvaća velik broj parametara, uključujući organske spojeve kao što su širok raspon pesticida i njihovih metabolita. Program se kontinuirano prilagođava novim uočenim prijetnjama kontaminaciji. Bušotine koje se upotrebljavaju za uzorkovanje uspostavljaju se i upotrebljavaju samo u svrhu praćenja. Praćenje zahvaćanja vode u domaće, industrijske svrhe i svrhe navodnjavanja pruža pouzdanu i detaljnu sliku korištenja vode u zemlji. Modeliranje podzemnih voda postalo je sastavni dio programa praćenja. Praćenje kvantitativnog stanja podzemnih voda je znatno slabije u odnosu na većinu drugih nacionalnih programa.

Program je uglavnom usmjeren na duboke podzemne vode. To je slabost programa, jer su duboke podzemne vode stare, a onečišćene, mlađe podzemne vode s možda nepoznatim karakteristikama na većini mjesta još nisu dosegle te niže dubine. Stoga bi bilo potrebno pratiti mlađe podzemne vode i podzemne vode blizu površine kako bi se procijenilo moguće kretanje puta onečišćenja koje bi moglo biti dugoročna prijetnja dubljim podzemnim vodama [28].

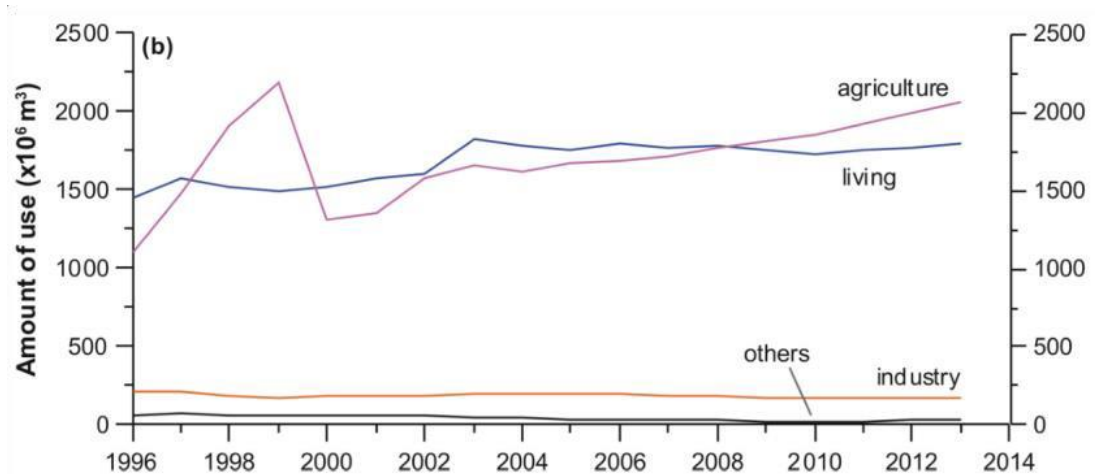
4.2. Monitoring podzemnih voda u Južnoj Koreji

Republika Koreja (u daljnjem tekstu Koreja) koristi sustave za monitoring podzemnih voda od 1996. godine, sa šest glavnih mreža: Nacionalna mreža za monitoring podzemnih voda (NGMN), Mreža za monitoring kvalitete podzemnih voda (GQMN), Mreža za monitoring intruzije slane vode (SIMN), Mreža za monitoring ruralnih podzemnih voda (RGMN), Pomoćna mreža za monitoring podzemnih voda (SGMN) i Mreža za monitoring pitke vode (DWMN). Ove mreže imaju preko 3500 monitoring bušotina i dostupne su javnosti putem web stranica. Te su mreže dostavile znanstvene podatke za izradu planova upravljanja podzemnim vodama i doprinijele osiguravanju resursa podzemnih voda.

Koreja doživljava velike suše gotovo svakih šest godina, a podzemne vode glavni su vodni resurs u sušnim sezonama u Koreji. Podzemne vode čine samo 11 % ukupne godišnje potrošnje vode, ali se njihova upotreba intenzivno povećava tijekom sušnih razdoblja. Samo 0,5 % godišnjih financijskih ulaganja izdvaja se za resurse podzemnih voda, uglavnom za razvoj podzemnih voda u vrijeme sušne sezone.

Kvartarne aluvijalne naslage s visokom propusnošću i visokim specifičnim istjecanjem podzemne vode (do 800 m³/dan) uglavnom se nalaze uz velike rijeke. Visoko produktivni vodonosnici ograničeni su na ravnice u zapadnim obalnim područjima gdje je većina rižinih polja, a i vulkanski otok Jeju gdje je podzemna voda jedini izvor vode. Većina zemlje je prekrivena tankim (~5 m) nekonsolidiranim sedimentom ili tlom.

Ukupna potrošnja podzemne vode porasla je s 2838 milijuna m³ u 1996. na 4071 milijuna m³ u 2013., uz prosječno godišnje povećanje od 43,9 milijuna m³ godišnje. U 1996. godini najviše se vode crpilo za stambene (51,2 %) i poljoprivredne namjene (39 %). Iako se upotreba podzemnih voda povećavala za potrebe korištenja stanovnika, od 2009. godine poljoprivreda preuzima najveću potrošnju podzemne vode (Slika 10). Razlog je u tome što je državna politika ukinula naknade poljoprivrednicima za korištenje podzemnih voda što je rezultiralo velikom potrošnjom [30].



Slika 10 - Količina potrošnje podzemne vode u poljoprivrednoj, stambenoj, industrijskoj i ostaloj namjeni u razdoblju od 1996. - 2013. godine [30]

S porastom trendova u korištenju podzemnih voda javljali su se različiti problemi, uključujući smanjenje razine podzemnih voda, onečišćenje podzemnih voda te slijeganje zemljišta. Kako bi riješila te probleme, korejska vlada provela je zakone i propise u svrhu praćenja količine i kvalitete podzemnih voda.

4.2.1. Zakoni i propisi

Primarni zakon o kontroli podzemnih voda je Zakon o podzemnim vodama. Ovaj zakon sadržava mnoge dužnosti i prava središnje i lokalne vlasti te javnosti u pogledu osiguranja resursa podzemnih voda. Prema zakonu, Ministarstvo zemlje, infrastrukture i prometa (MOLIT) provodi osnovnu istragu o karakteristikama rezervi i raspoloživom volumenu podzemnih voda u cijeloj zemlji. Zakon obvezuje MOLIT da uspostavi sveobuhvatan plan upravljanja podzemnim vodama. Nacionalni plan se koristi za opće strategije upravljanja za očuvanje podzemnih voda i očuvanje kvalitete te karakterizira rezerve i količine podzemnih voda koje se mogu iskoristiti. Ovaj plan se obnavlja svakih 10 godina. Lokalne vlasti (pokrajine, gradovi i županije) također uspostavljaju vlastite planove upravljanja podzemnim vodama. Zakon o podzemnim vodama dodatno nalaže MOLIT-u da provede nacionalne i lokalne sustave monitoringa podzemnih voda koji se nazivaju Nacionalna mreža za monitoring podzemnih voda (NGMN), odnosno Pomoćna ili lokalna mreža za praćenje podzemnih voda (SGMN ili LGMN) [30].

4.2.2. Program monitoringa podzemnih voda

Tablica 9 prikazuje šest glavnih monitoring mreža, parametre koje mjere, broj bušotina za monitoring i koja agencija ih kontrolira.

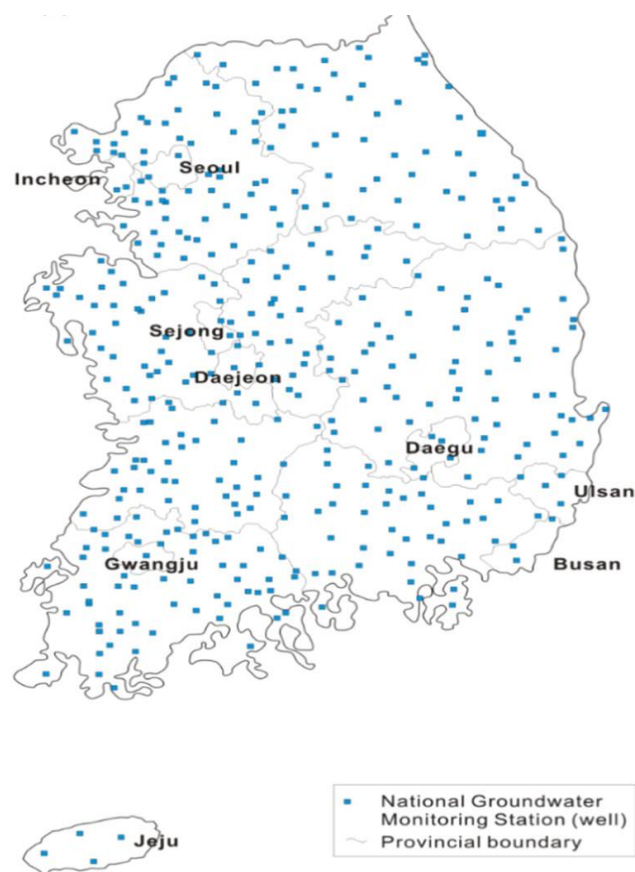
Tablica 9 – Glavne monitoring mreže u Koreji [30]

Networks	Parameters	No. of Wells	Operations
National Groundwater Monitoring Network (NGMN)	water level, water temperature, EC	552 (386 deep + 166 shallow, as of December 2015)	MOLIT and K-water
Groundwater Quality Monitoring Network (GQMN)	~0 parameters including pH, EC, NO ₃ ⁻ , Cl ⁻ , As	3141 (as of December 2014)	ME and Korea Environment Corporation
Seawater Intrusion Monitoring Network (SIMN)	water level, water temperature, EC, and major ions	145 (as of December 2014)	MAFRA and KRC
Rural Groundwater Monitoring Network (RGMN)	water level, water temperature, EC	176 (as of December 2014)	MAFRA and KRC
Subsidiary or Local Groundwater Monitoring Network (SGMN or LGMN)	water level	1803 (as of September 2015)	Local governments (city and county)
Drinking Water (groundwater) Monitoring Network (DWMN)	water level, water temperature, EC, Water quality	189 (as of February 2013)	ME and commercial bottled groundwater companies

4.2.2.1. Nacionalna mreža za monitoring podzemnih voda (NGMN)

NGMN je primarna mreža za monitoring podzemnih voda u Koreji. Od 2015. godine postavljeno je ukupno 386 postaja za potrebe monitoringa na području Koreje (Slika 11). Ovaj zakon ima za cilj monitoring podzemnih voda za cijelu naciju s prostorno jednakom gustoćom postaja s obzirom na lokalnu geologiju. Svaka postaja u osnovi ima dvije nadzorne bušotine, jedna je za plitke podzemne vode u aluvijalnim naslagama i/ili nekonsolidiranim sedimentima, a druga za duboke podzemne vode u osnovnim vodonosnicima. Svaki nadzorni zdenac opremljen je automatskim zapisivačem podataka koji mjeri razinu vode, temperaturu vode i električnu vodljivost svakih sat vremena. Izmjereni podaci automatski se prenose u sustav poslužitelja za prikupljanje podataka putem bežične telekomunikacije u stvarnom vremenu.

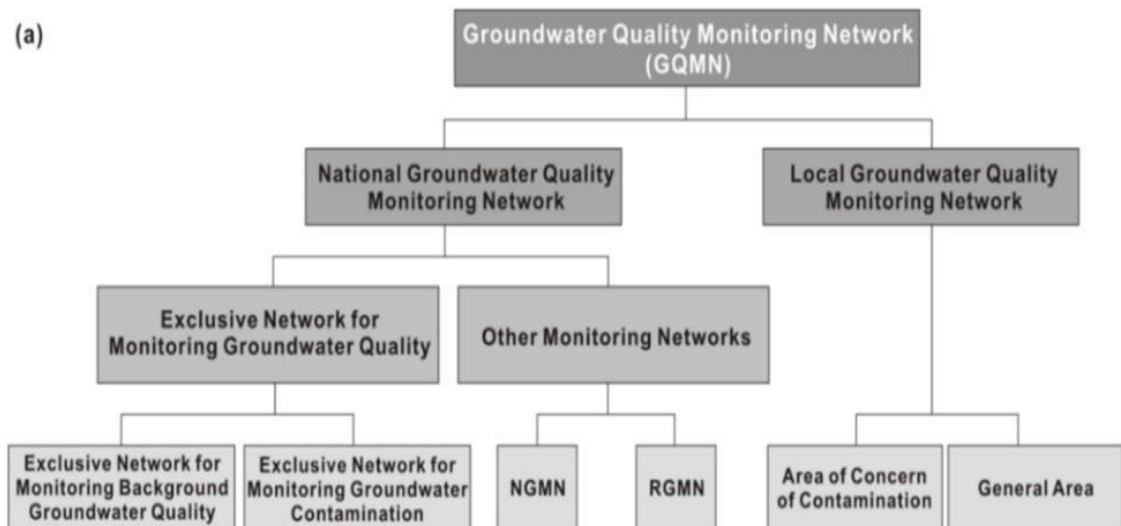
Podaci o praćenju NGMN-a prikupljeni za razdoblje 1996. – 2008. pokazali su da su se razine podzemnih voda u plitkim i dubokim bušotinama smanjile za 70,8 %, dok se temperatura vode povećala se s izrazito visokom stopom od 0,04–0,09 °C godišnje u većini bušotina za praćenje (82,8 % plitkih bušotina i 68,8 % dubokih bušotina). Nedavna studija koja je analizirala podatke NGMN-a za razdoblje 2000. – 2010. također je potvrdila opći trend smanjenja razine podzemnih voda u cijeloj zemlji i stopu povećanja (0,10 °C godišnje) temperature podzemnih voda [30,31].



Slika 11 - Lokacije točaka za monitoring podzemne vode na području Koreje [30]

4.2.2.2. Mreža za monitoring kvalitete podzemnih voda (GQMN)

Kvalitetu podzemnih voda kontrolira Ministarstvo Okoliša (ME). Ministarstvo (i regionalni uredi) i pokrajinske vlade prate kvalitetu podzemnih voda putem GQMN-a od 1996. Mreža je podijeljena na nacionalnu i lokalnu GQMN. Nacionalnu mrežu instalira i njime upravlja središnja vlada i njezine povezane organizacije, dok lokalnom mrežom upravljaju pokrajinske vlade. Nacionalna mreža se dijeli na četiri mreže za monitoring: dvije ekskluzivne mreže te Nacionalnu mrežu za monitoring podzemnih voda i Mrežu za praćenje ruralnih podzemnih voda. Prva ekskluzivna mreža (samo za monitoring) prati kvalitetu pozadine u čistim područjima, a druga promatra područja podložna kontaminaciji. Lokalna mreža koristi već instalirane podzemne bušotine u dvije odvojene regije: stambenim i poljoprivrednim regijama te industrijskim, odlagališnim i rudarskim regijama. GQMN je 2014. imao ukupno 3141 nadzornu bušotinu. Struktura korejske mreže za monitoring je prikazana na Slici 12 [30].



Slika 12 - Struktura korejske monitoring mreže [30]

GQMN stalno prati kvalitetu vode, a temeljita analiza provodi se najmanje dva puta godišnje za sve osim za dvije ekskluzivne mreže. Ova analiza ispituje 19 parametara kvalitete podzemnih voda koji uključuju pH, ukupne koliformne bakterije, nitrata, kloride, kadmij, arsen, cijanid, organski fosfor, fenol, olovo, krom, trikloretilen, Perkloretilen, 1,1,1-TCA, benzen, toluen, etilbenzen, ksilen i električnu vodljivost. Za ekskluzivne mreže provodi se snažnija analiza četiri puta godišnje sa 67 parametara, uključujući osnovne parametre (pH, električna vodljivost, otopljeni kisik, temperatura, oksidacijsko-redukcijski potencijal), glavne katione i anione te standardne parametre pitke vode poput osnovnih bakterija, ukupne koliformne bakterije, fekalne koliformne bakterije, olovo, željezo, živa, itd. Rezultati analize prijavljuju se Ministarstvu Okoliša, a podaci su javno dostupni javnosti. Tablica 10 prikazuje monitoring mreže, njihove parametre monitoringa, broj bušotina za monitoring te učestalost uzorkovanja za pojedinu mrežu.

Tablica 10 - Monitoring mreže, njihove parametre monitoringa, broj bušotina za monitoring te učestalost uzorkovanja za pojedinu mrežu [30]

Constituting Networks	Monitoring Parameters	No. of Wells	Frequency
exclusive network for monitoring groundwater quality	67 parameters including basic parameters and drinking water standards parameters	508	4 times per year
NGMN	19 groundwater quality standards parameters for living use and EC	552 (386 deep + 166 shallow)	2 times per year
RGMN	19 groundwater quality standards parameters for living use and EC	60	2 times per year
local groundwater quality monitoring network	19 groundwater quality standards parameters for living use and EC	2021	2 times per year

Prema analizi 4952 uzorka iz 2606 bušotina koje je GQMN proveo 2012. godine, 322 uzorka (tj. 6,5 %) imala su vrijednosti koja premašuju korejske standarde podzemnih voda. Među parametrima monitoringa najproblematičniji su bili ukupne koliformne bakterije, nitrati, kloridi, arsen i dr. Visoke razine nitrata javljaju se u plitkim podzemnim vodama u ruralnim područjima. Na temelju podataka o monitoringu, Ministarstvo Okoliša je zatvorilo onečišćene bušotine kako bi ublažilo posljedice onečišćenja podzemnih voda [30].

4.2.2.3. Ostale mreže monitoringa

Pretjerana eksploatacija podzemne vode za poljoprivredu i porast razine mora rezultirali su prodorom morske vode u obalne vodonosnike. Od 2014. instalirane su ukupno 73 nadzorne stanice (145 nadzornih bušotina) u svrhu izrade Mreže za monitoring intruzije slane vode. Svaka postaja ima jednu do tri monitoring bušotine (u prosjeku dvije) postavljene okomito na obalnu liniju. Svaka bušotina opremljena je automatskim uređajem za bilježenje podataka, solarnim panelima i bežičnim telekomunikacijskim terminalom. Nedavna studija objavila je da je 41,4 % nadzornih bušotina podzemne vode pod utjecajem intruzije morske vode.

Bušotine za praćenje podzemnih voda u ruralnim stijenama su postavljene u vodonosnike temeljne stijene (dubine bušotina 48–150 m, uglavnom 80 m) u blizini polja riže i povrća. U 2021. godini postoji otprilike oko 1000 nadzornih bušotina. Pomoću sonde svakog se sata mjere razina podzemne vode, temperatura vode i električna vodljivost.

Sva komercijalna flaširana voda potječe iz podzemnih voda jer je prodaja flaširanih voda iz površinske vode strogo zabranjena u Koreji. Prema Zakonu o upravljanju pitkom vodom i Provedbenoj uredbi, tvrtke koje proizvode flaširanu vodu moraju provoditi

monitoring razine podzemne vode, stope crpljenja podzemne vode, mjeriti električnu vodljivost, temperaturu vode i pH s automatskim senzorima svakog sata. Svakog mjeseca podatke o praćenju moraju dostaviti i nadležnoj središnjoj i/ili lokalnoj samoupravi. Osim fizičkog stanja podzemnih voda, kvalitetu vode strogo kontrolira i Ministarstvo okoliša jer se potrošnja flaširane vode stalno povećava. Međutim, za razliku od drugih mreža za praćenje, podaci nisu dostupni javnosti jer su proizvodne bušotine u privatnom vlasništvu. Velike proizvodne bušotine nalaze se uglavnom u blizini velikih gradova, što je rezultat namjere da se smanje troškovi transporta [30].

4.3. Monitoring podzemnih voda u Republici Hrvatskoj

Monitoring podzemnih voda provode Hrvatske vode sukladno Planu monitoringa donesenom na temelju Zakona o vodama. Plan monitoringa uključuje uzorkovanje i ispitivanje podzemnih voda u svrhu određivanja kemijskog i ekološkog stanja, uzorkovanje i ispitivanje pokazatelja koji daju informacije o kvantitativnom statusu. Plan monitoringa provodi na temelju šestogodišnjih ciklusa (u svrhu upravljanja vodnim područja), trogodišnjih ciklusa (u svrhu provede programa mjera i utvrđivanja stanja voda) te jednogodišnjih ciklusa (u svrhu operativnog upravljanja vodama i vodnih područja). Također, Hrvatske vode svake godine podnose izvještaj o stanju podzemnih vodama u sklopu Plana monitoringa gdje su navedene promjene kemijskog stanja podzemnih voda, ocjene kemijskog stanja, trendovi rasta/pada onečišćivala, rezultati ispitivanja i sl. [16,20,23].

Monitoring stanja voda podijeljen je u tri osnovne vrste [22]:

- Nadzorni monitoring – s ciljem utvrđivanja dugoročnih promjena
- Operativni monitoring – s ciljem utvrđivanja promjena koje su nastale provedbom programa mjera na onim vodama na kojima je ustanovljeno da ne zadovoljavaju ciljeve zaštite
- Istraživački monitoring – s ciljem utvrđivanja nepoznatih odnosa u sklopu DPSIR (Pokretač – Opterećenje – Stanje – Utjecaj – Odgovor) ciklusa

Ispitivanje kakvoće voda u Republici Hrvatskoj provodi Glavni vodnogospodarski laboratorij koji spada pod Hrvatske vode. Prema Zakonu o vodama, on je službeni laboratorij za uzorkovanje i analizu u okviru nadzora i drugih službenih kontrola voda. Osim Glavnog vodnogospodarskog laboratorija, ispitivanje kakvoće vode mogu vršiti i

laboratorij koji su za to ovlaštteni. Oni moraju imati rješenje od strane ministarstva za tu aktivnost te mora biti akreditiran laboratorij.

Rezultate monitoringa koriste i neke druge djelatnosti koje rade analize podzemnih voda, primjerice Zavod za javno zdravstvo i odlagališta otpada te druge vodoopskrbne tvrtke. Zavod za javno zdravstvo ima akreditirane laboratorije koji rade fizikalno-kemijske i kemijske analize (boja, temperatura, miris, okus, pH vrijednost, električna vodljivost, ukupna tvrdoća, ukupni dušik, fosfor, nitrati, kalcij, itd.) te mikrobiološke analize (ukupne koliformne bakterije, *Escherichia coli*, broj aerobnih mefozilnih bakterija pri 22°C i 37°C i sl.) iz rezultata monitoringa. Također, prikupljaju i obrađuju podatke o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće i uzorkuju sve vrste voda za potrebe monitoringa zdravstvene ispravnosti vode. S druge strane, odlagališta otpada iz akreditiranih laboratorija rade analize podzemnih voda u sustavu praćenja infiltracije otpadnih tvari u podzemlje i podzemne vode. Analizira se temperatura, pH, električna vodljivost, suspendirana tvar, arsen, bakar, cink, živa, željezo, KPK, BPK5, ukupni dušik i fosfor, nitrati, amonij, itd [32,33].

Već spomenuto, područje Hrvatske se prema hidrogeološkim i geološkim karakteristikama dijeli na panonski i krški dio. U panonskom dijelu dominiraju aluvijalni vodonosnici intergranularne poroznosti unutar velikih sedimentnih bazena vodom bogatih rijeka Drave i Save s vrlo sporim tokovima podzemnih voda i sporom izmjenom vode. Krški dio obilježavaju niske retencijske sposobnosti vodonosnika i brzih podzemnih tokova, više izvora i ponora u istom vodnom tijelu i visoke prirodne ranjivosti vodonosnika. Analizom karakteristika vodnih područja za Plan upravljanja vodnim područjima 2016. – 2021. godine identificirana su 33 grupirana tijela podzemnih voda, od kojih 20 u vodnom području Dunava (panonski dio) i 13 u vodnom području Jadrana (krški dio) [16,22].

4.3.1. Elementi kakvoće i njihova učestalost ispitivanja

Elementi koji ocjenjuju količinski status tijela podzemnih voda su izdašnost i razina podzemne vode. Elementi koji ocjenjuju kemijsko stanje podzemnih voda se dijele u dvije grupe [22]:

- općeniti – električna vodljivost, pH i otopljeni kisik
- onečišćujuće tvari – nitrati, pesticidi i specifične onečišćujuće tvari za koje postoje granične vrijednosti

Tablica 11 prikazuje neke od pokazatelja kemijskog statusa podzemnih voda koji imaju granične vrijednosti te njihovu učestalost ispitivanja u pojedinom monitoringu.

Tablica 11 – Neki od pokazatelja kemijskog statusa podzemnih voda i njihova učestalost ispitivanja [22]

Pokazatelj	Učestalost ispitivanja u nadzornom monitoringu	Učestalost ispitivanja u operativnom monitoringu
elementi kemijskog stanja		
nitriti	4 x	4 x - 12 x
specifične onečišćujuće tvari		
arsen	4 x	4 x - 12 x
kadmij	4 x	4 x - 12 x
olovo	4 x	4 x - 12 x
živa	4 x	4 x - 12 x
amonij	4 x	4 x - 12 x
kloridi	4 x	4 x - 12 x
sulfati	4 x	4 x - 12 x
ortofosfati	4 x	4 x - 12 x
nitriti	4 x	4 x - 12 x
ukupni fosfor	4 x	4 x - 12 x
vodljivost	4 x	4 x - 12 x

Tablica 12 prikazuje neke od dodatnih pokazatelja koji moraju biti praćeni u svrhu provedbe Uredbe o standardu kakvoće.

Tablica 12 - Neki od dodatnih pokazatelja koji moraju biti praćeni u svrhu provedbe Uredbe o standardu kakvoće [22]

Pokazatelj	Učestalost ispitivanja u nadzornom monitoringu	Učestalost ispitivanja u operativnom monitoringu
osnovni fizikalno- kemijski pokazatelji		
temperatura	4 x - 12 x	4 x - 12 x
pH	4 x - 12 x	4 x - 12 x
redoks potencijal	4 x - 12 x	4 x - 12 x
ukupne suspendirane tvari	4 x	4 x - 6 x
alkalitet	4 x - 12 x	4 x - 12 x
ukupna tvrdoća	4 x - 12 x	4 x - 12 x

mutnoća	4 x - 12 x	4 x - 12 x
otopljeni kisik	4 x - 12 x	4 x - 12 x
KPK Mn	4 x - 12 x	4 x - 12 x
ukupni organski ugljik (TOC)	4 x - 12 x	4 x - 12 x
ukupni dušik	4 x - 12 x	4 x - 12 x
onečišćujuće tvari		
željezo	4 x - 12 x	4 x - 12 x
mangan	4 x - 12 x	4 x - 12 x
bakar	4 x - 12 x	4 x - 12 x
cink	4 x - 12 x	4 x - 12 x
krom	4 x - 12 x	4 x - 12 x
nikal	4 x - 12 x	4 x - 12 x
aluminij	4 x	4 x
fluroidi	4 x	4 x
aromatski ugljikovodici	4 x	-

Za tijela podzemnih voda s zahvatima vode namijenjene za ljudsku potrošnju i iz kojih se crpi više od 100 m³ vode dnevno, preporučuje se ispitivanje svih onečišćujućih tvari koje mogu utjecati na stanje tih vodnih tijela. Budući da se nadzorni monitoring provodi na svim agregatnim vodnim tijelima podzemnih voda u kojima se nalaze i vodozvati za ljudsku potrošnju, uz pokazatelje kemijskog stanja prate se i mikrobiološki pokazatelji. Tablica 13 prikazuje mikrobiološke pokazatelje koji se ispituju i njihovu godišnju učestalost ispitivanja [16,22].

Tablica 13 - Mikrobiološki pokazatelji koji se ispituju u zaštićenim područjima i njihova godišnja učestalost ispitivanja [22]

Mikrobiološki pokazatelji	Učestalost ispitivanja
broj koliformnih bakterija	4x
fekalni koliformi	4x
fekalni streptokoki	4x
broj aerobnih bakterija (22°C)	4x
broj aerobnih bakterija (37°C)	4x
<i>Escherichia coli</i>	4x

4.3.2. Nadzorni i operativni monitoring

Nadzorni monitoring je uspostavljen na gotovo svim tijelima podzemnih voda. Ukupno ima 385 monitoring postaja na području Republike Hrvatske u 2020.godini (Slika 13) [16].



Slika 13 - Postaje nadzornog monitoringa na području Republike Hrvatske u 2020.godini [22]

Operativni monitoring se u 2020. godini provodio na ukupno 113 postaja (Slika 14)[16].



Slika 14 - Postaje operativnog monitoringa na području Republike Hrvatske u 2020.godini [22]

4.3.3. Ocjena količinskog i kemijskog stanja podzemnih voda

Budući da su ispitivanja služila za procjenu kemijskog statusa i da je pri provođenju ispitivanja za određivanje graničnih koncentracija uzeto u obzir načelo predostrožnosti, granična vrijednost je postavljena na sljedeći način [16,34]:

- 75 % vrijednosti koncentracije nitrata za panonski i krški dio,
- 75 % granične vrijednosti električne vodljivosti za krški dio - Opća ocjena kakvoće
- 75 % za sve granične vrijednosti za krški i panonski dio za - Zone zaštite izvorišta vode za piće (DWPA)
- 50 % za električnu vodljivost, kloride i sulfate za krške i panonske dijelove - Zasljanjenje ili drugi prodori

Tijelo podzemne vode za test Opće ocjene kvalitete ima loše kemijsko stanje:

- ako srednja vrijednost koncentracije parametra na pojedinom mjernom mjestu prelazi standardnu/graničnu vrijednost
- ako srednja vrijednost odgovarajućeg parametra, dobivena zbrajanjem podataka mjernih postaja reprezentativnih (kumulativno) za najmanje 30 % površinskog tijela podzemne vode, prelazi standardnu/graničnu vrijednost

Ovaj test se provodi ako vodonosnici iz kojih se ostvaruje ili će se ostvariti crpljenje vode više od 10m³/dan i ako ti vodonosnici zauzimaju više od 30 % površine tijela podzemne vode.

Tijelo podzemne vode za test Zaštitne zone izvorišta vode za piće (DWPA) ima loše kemijsko stanje:

- ako srednja vrijednost koncentracije parametra u sirovoj vodi na pojedinim mjestima mjernih postaja prelazi standardnu/graničnu vrijednost
- ako je za pojedini parametar uočen statistički značajan trend porasta koncentracija

Tijelo podzemne vode za test Zaslanjenje ili drugi prodori ima loše kemijsko stanje:

- ako prosječna vrijednost električne vodljivosti i/ili drugih parametara koji mogu biti pokazatelj prodora slane vode ili drugog (prirodnog) prodora prelazi graničnu vrijednost
- ako je za predmetni parametar utvrđeno statistički značajno povećanje koncentracija na odgovarajućim mjernim postajama

U panonskom dijelu, sva vodna tijela su u dobrom kemijskom stanju osim Varaždinskog vodnog tijela. Varaždinsko vodno tijelo je ocijenjeno kao loše zbog povišenih koncentracija nitrata. Vrijednosti nitrata se kreću od 0.1 do 209.8 mg/L, sa prosječnom vrijednošću od 46 mg/L. Iako je prosječna vrijednost manja od dopuštene granične vrijednosti (50 mg/L), stanje je ocijenjeno kao loše, ali sa niskom pouzdanosti (zbog predstrožnosti). Pojedinačno vodno tijelo u sklopu grupiranog vodnog tijela Zagreb je također ocijenjeno lošim zbog povećanih koncentracija ortofosfata i ukupnog fosfora koje prelaze granične vrijednosti. Međutim, to pojedino tijelo pokriva 1 % ukupne površine grupiranog vodnog tijela te se onečišćenje se ne širi na ostala tijela pa je grupa tijela okarakterizirana kao dobro stanje. Tablica 14 prikazuje ocjenu kemijskog stanja tijela podzemnih voda na panonskom području Hrvatske [34].

Tablica 14 – Ocjena kemijskog stanja tijela podzemnih voda na panonskom području [34]

Naziv TPV	Testovi se provode (DA/NE)	Test Ocjena opće kakvoće		Test Zasljanjenje ili druge intruzije		DWPA test		
		Stanje	Razina pouzdanosti	Stanje	Razina pouzdanosti	Stanje	Razina pouzdanosti	
Međimurje	DA	dobro	visoka	dobro	visoka	dobro	visoka	
Varaždinsko područje	DA	loše	niska	dobro	visoka	dobro	visoka	
Sliv Bednje	DA	****	****	***	***	dobro	niska	
Legrad - Statina	DA	dobro	visoka	**	**	dobro	visoka	
Novo Virje	NE	*	*	*	*	*	*	
Istočna Slavonija - sliv Drave i Dunava	DA	dobro	visoka	dobro	visoka	dobro	visoka	
Sliv Sutle i Krapine	DA	****	****	**	**	dobro	niska	
Sliv Lonja - Ilova - Pakra	DA	dobro	visoka	**	**	dobro	visoka	
Sliv Orjave	DA	****	****	**	**	dobro	niska	
Zagreb	HR187	DA	dobro	visoka	dobro	visoka	dobro	visoka
	HR188	DA	dobro	visoka	dobro	visoka	dobro	visoka
	HR203	DA	loše	niska	dobro	niska	dobro	niska
	HR204	DA	dobro	niska	dobro	niska	dobro	niska
	HR204/1	NE	*	*	*	*	*	*
	HR205	DA	dobro	visoka	dobro	visoka	dobro	visoka
	HR206	DA	dobro	visoka	dobro	visoka	dobro	visoka
	HR207	DA	dobro	visoka	dobro	visoka	dobro	visoka
	HR186	NE	*	*	*	*	*	*
	HR193							
	HR194							
	HR195							
	HR196							
	HR197							
	HR198							
	HR199							
	HR200							
	HR201							
	HR202							
	HR208							
HR210								
HR211								
HR212								
Lekenik Lužani	DA	dobro	visoka	**	**	dobro	niska	
Istočna Slavonija - sliv Save	DA	dobro	visoka	**	**	dobro	visoka	
Zumberak - Samoborsko gorje	DA	*	*	***	***	dobro	niska	
Kupa	DA	****	****	**	**	dobro	niska	
Una	DA	****	****	**	**	dobro	niska	

Što se tiče krškog dijela, na ukupno 18 tijela podzemnih voda, samo 2 tijela su označena kao loše. To su tijela Južna Istra i Boljikovac – Golubnika. Kod tijela podzemne vode Južna Istra zabilježena je veća koncentracija nitrata od dozvoljene na većini točaka monitoringa, dok je na tijelu Boljikovac – Golubnika zabilježen prodor slane vode. U Jadranske otoke ulaze otoci Cres, Krk, Brač, Hvar, Pag, Korčula, Dugi Otok, Mljet, Vis, Rab i Lastovo. U slučaju Jadranskih otoka javlja se prekoračenje vrijednosti električne vodljivosti i klorida na manje-više svim otocima (osim Brača, Mljeta i Cresa). Razlog tome su male površine otoka koji imaju prirodno povišene vrijednosti električne vodljivosti. Zbog toga se predlaže prijedlog izmjene i dopune Uredbe o kakvoći vode kako bi se Jadranski otoci izuzeli od graničnih vrijednosti. Tablica 15 prikazuje ocjenu kemijskog stanja na krškom području [34].

Tablica 15 – Ocjena kemijskog stanja podzemne vode na krškom području [34]

TPV	Površina (km ²)	Testovi se provode DA/NE	Test opće procjene kakvoće		Test zaslanjenje i druge intruzije		Test zone sanitarne zaštite	
			Stanje	Procjena pouzdan.	Stanje	Procjena pouzdan.	Stanje	Procjena pouzdan.
Sjeverna Istra	907	NE	-	-	-	-	-	-
Središnja Istra	1717	DA	dobro	visoka	dobro	visoka	dobro	visoka
Južna Istra	144	DA	loše	visoka	dobro	visoka	loše	visoka
Riječki zaljev	436	NE	-	-	-	-	-	-
Rijeka - Bakar	621	NE	-	-	-	-	-	-
Lika - Gacka	3756	DA	dobro	visoka	dobro	visoka	dobro	visoka
Zrmanja	1537	NE	-	-	-	-	-	-
Ravni kotari	1218	DA	dobro	niska	dobro	niska	dobro	niska
Boljkovac - Golubinka	63	DA	loše	niska	loše	niska	loše	niska
Krka	2704	NE	-	-	-	-	-	-
Cetina	3088	DA	dobro	visoka	dobro	niska	dobro	visoka
Neretva	2035	DA	dobro	visoka	dobro	visoka	dobro	visoka
Jadranski otoci	*2493	DA	dobro	niska	dobro	niska	dobro	niska
Kupa	1027	DA	dobro	visoka	dobro	visoka	dobro	visoka
Dobra	755	DA	dobro	visoka	dobro	visoka	dobro	visoka
Mrežnica	1372	DA	dobro	visoka	dobro	visoka	dobro	visoka
Korana	1227	NE	-	-	-	-	-	-
Una	1561	NE	-	-	-	-	-	-

U sustav operativnog monitoringa ulaze tijela koja imaju sljedeće karakteristike [16,22]:

- loš status prema nitratima, iznad ili blizu normalnog i/ili trend rasta
- loš status prema pesticidima, iznad ili blizu standarda i/ili u porastu
- loši uvjeti u smislu ulaska slane vode i/ili električne vodljivosti, vrijednosti klorida i/ili sulfata više ili blizu norme
- loš status prema amoniju, iznad ili blizu normalnog i/ili s trendom rasta
- loš status prema trikloretilenu i/ili tetrakloretilenu, iznad ili blizu normalnog i/ili s trendom rasta
- eksploatacija vode namijenjena za ljudsku potrošnju koja je pod rizikom od onečišćenja
- loš status prema ortofosfatima, iznad ili blizu normalnog i/ili trend rasta

Količinsko stanje vodnog tijela je loše i nisko pouzdano ako je prosječno godišnje prihranjivanje podzemne vode manje od prosječnog godišnjeg crpljenja i ako postoje naznake pada razine podzemne vode. Tijelo podzemne vode je u lošem stanju s visokom pouzdanošću ako je prosječno godišnje prihranjivanje podzemne vode manje od prosječnog godišnjeg crpljenja vode i ako postoje statistički značajni padovi razine podzemne vode. Prag iz dobrog u loše stanje iznosi 75 % za panonski dio, dok za krški iznosi 10 % (korištenje vode / prihranjivanje). Relativno nizak prag od 10 % u krškom području odabran je zbog neravnomjerne godišnje raspodjele obnovljivih zaliha vode, koja je općenito niža u razdoblju najveće sezonske potražnje za vodom (kasno ljeto).

U panonskom vodnom području, sva vodna tijela su u dobrom količinskom stanju te imaju visoku pouzdanost, odnosno korištenje vode je manje od prihranjivanja te postoje statistički značajni trendovi koji ne sugeriraju za pad razine podzemne vode. Također, napravljen je i test prodora slane vode u kojem se javlja dobro stanje [34]. Tablica 16 prikazuje količinsko stanje u tijelima podzemnih voda u panonskom dijelu.

Tablica 16 – Količinsko stanje u tijelima podzemnih voda u panonskom dijelu [34]

Naziv tijela podzemnih voda	Obnovljive zalihe (m ³ /god)	Zahvaćene količine (m ³ /god)	Zahvaćene količine kao postotak obnovljivih zaliha (%)	Količinsko stanje			
				Test vodne bilance		Test Prodor slane vode ili drugih prodora loše kakvoće	
				Stanje	Pouzdanost	Stanje	Pouzdanost
Međimurje	1,13*10 ⁶	7,7*10 ⁵	6,82	dobro	visoka	dobro	visoka
Varaždinsko područje	8,80*10 ⁷	9,7*10 ⁶	11,04	dobro	visoka	dobro	visoka
Sliv Bednje	5,20*10 ⁷	2,73*10 ⁶	5,26	dobro	visoka	***	***
Legrad - Slatina	3,62*10 ⁶	1,07*10 ⁶	2,94	dobro	visoka	**	**
Novo Vinje	1,80*10 ⁷	0	0	dobro	visoka	*	*
Istočna Slavonija - sliv Drave i Dunava	4,21*10 ⁸	2,34*10 ⁷	5,57	dobro	visoka	dobro	visoka
Sliv Sutle i Krapine	8,20*10 ⁷	6,96*10 ⁶	8,48	dobro	visoka	**	**
Sliv Lonja - Ilova - Pakra	2,19*10 ⁶	1,21*10 ⁷	5,55	dobro	visoka	**	**
Sliv Orjave	1,34*10 ⁶	4,12*10 ⁶	3,08	dobro	visoka	**	**
Zagreb	2,73*10 ⁶	1,32*10 ⁶	48,30	dobro	visoka	dobro	visoka
Lekenik - Lužani	3,66*10 ⁶	6,57*10 ⁶	1,80	dobro	visoka	**	**
Istočna Slavonija - Sliv Save	3,79*10 ⁶	2,12*10 ⁷	5,59	dobro	visoka	**	**
Žumberak - Samoborsko gorje	1,39*10 ⁶	4,80*10 ⁶	3,45	dobro	visoka	***	***
Kupa	2,87*10 ⁶	2,09*10 ⁷	7,29	dobro	visoka	**	**
Una	5,40*10 ⁷	1,01*10 ⁶	1,88	dobro	visoka	**	**

Količinsko stanje u krškom vodnom području je također dobro, osim tijela podzemne vode Boljkovac – Golubinka koje je karakterizirano kao loše. Uz test vodne bilance (prihranjivanje/korištenje), napravljen je i test prodora slane vode (Tablica 17).

Tablica 17 – Količinsko stanje u tijelima podzemnih voda u krškom dijelu [34]

TPV	Ukupno korištenje vode (m ³ /god)	Obnovljive zalihe podzemnih voda (m ³ /god)	% korištene vode	Ocjena stanja	Ocjena pouzdanosti	Ocjena mogućnosti zaslanjenja i drugih intruzija	Učestalo prisutna zaslanjenja i druge intruzije na mjestima vodozahvata	Prekomjernost crpljenja kao mogući uzrok zaslanjenja	Ocjena stanja	Ocjena pouzdanosti
Sjeverna Istra	22,69*10 ⁶	4,41*10 ⁶	5,15	dobro	niska	DA	NE	NE	dobro	visoka
Središnja Istra	9,16*10 ⁶	7,71*10 ⁶	1,19	dobro	niska	DA	NE	NE	dobro	visoka
Južna Istra	1,2*10 ⁶	3,15*10 ⁷	3,89	dobro	niska	DA	DA	NE	dobro	niska
Riječki zaljev	7,9*10 ⁶	5,81*10 ⁶	0,14	dobro	niska	DA	NE	NE	dobro	visoka
Rijeka - Bakar	27,21*10 ⁶	9,73*10 ⁶	2,80	dobro	niska	DA	DA	NE	dobro	niska
Lika - Gacka	13,51*10 ⁶	3,87*10 ⁶	0,35	dobro	niska	DA	NE	NE	dobro	niska
Zrmanja	19,96*10 ⁶	1,68*10 ⁶	1,19	dobro	niska	DA	NE	NE	dobro	niska
Ravni kotari	14,728*10 ⁶	3,55*10 ⁶	4,15	dobro	niska	DA	DA	NE	dobro	niska
Boljkovac-Golubinka	0,11*10 ⁶	1,6*10 ⁷	0,18	dobro	niska	DA	DA	DA	loše	niska
Krka	41,35*10 ⁶	1,24*10 ⁶	3,35	dobro	niska	DA	NE	NE	dobro	niska
Cetina	66,68*10 ⁶	1,83*10 ⁶	3,65	dobro	niska	DA	NE	NE	dobro	niska
Neretva	21,39*10 ⁶	1,30*10 ⁶	1,64	dobro	niska	DA	DA	NE	dobro	niska
Jadranski otoci	7,4*10 ⁶	1,22*10 ⁶	6,07	dobro	niska	DA	DA	NE	dobro	niska
Kupa	1,56*10 ⁶	1,43*10 ⁶	0,11	dobro	niska	NE	NE	NE	dobro	visoka
Dobra	3,26*10 ⁶	7,58*10 ⁶	0,43	dobro	niska	NE	NE	NE	dobro	visoka
Mrežnica	3,46*10 ⁶	1,32*10 ⁶	0,26	dobro	niska	NE	NE	NE	dobro	visoka
Korana	1,34*10 ⁶	8,70*10 ⁶	0,15	dobro	niska	NE	NE	NE	dobro	visoka
Una	1,73*10 ⁶	1,59*10 ⁶	0,11	dobro	niska	NE	NE	NE	dobro	visoka

5. DISKUSIJA

Podzemne vode su vrijedan resurs za svakodnevni život kojem prijete, ako ne postoji odgovorno upravljanje, iscrpljivanje i onečišćenje. U današnje vrijeme nema kvalitetnog upravljanja vodnim resursima, pa tako ni podzemnim vodama, bez dobro postavljenog monitoringa i kvalitetnih rezultata obavljenog praćenja podzemnih voda koji su temelj za donošenja odluka o daljnjim potrebama sanacija ili zaštite voda. U 2020. godini, 83 % javnih vodoopskrbnih sustava koristilo je podzemnu vodu. Republika Hrvatska ima najveću zalihu pitke vode po stanovniku u Europskoj Uniji te ju je svakako potrebno zaštititi. Cilj monitoringa podzemnih voda jest praćenje i upravljanje količine i kakvoće podzemnih voda. Postoji monitoring količinskog i kemijskog stanja, odnosno nadzorni i operativni monitoring (po potrebi i istraživački). Prije samog monitoringa, potrebno je izraditi konceptualni model koji opisuje kako se podzemni sustav ponaša sa svim svojim pripadnim elementima (kretanja vode, prihranjivanja i gubici), a izrazito je važan jer o njemu ovisi uspjeh monitoringa. Monitoringom se ocjenjuje stanje vodnog tijela te postoji dobro stanje i loše stanje. Kvantitativni monitoring primarno mjeri i prati razinu podzemnih voda te izdašnost izvora, a može se pratiti još i razine vodenih ekosustava koji izravno ovise o podzemnoj vodi, osnovni parametri (električna vodljivost, temperatura i sl.). Kemijski monitoring ocjenjuje kakvoću podzemnih voda, odnosno mjeri koncentracije čestih onečišćujućih tvari u tom tijelu podzemne vode, kao npr. nitrata, pesticide, arsen, olovo, aluminij, mangan, bakar, itd. Za onečišćujuće tvari postoji zakonom propisana granična vrijednost, odnosno vrijednost do koje se smatra da je tijelo u dobrom stanju. Također se mjere i općeniti parametri - električna vodljivost, pH i otopljeni kisik i osnovni fizikalno-kemijski parametri – ukupni dušik, alkalitet, ukupne suspendirane tvari i sl.

Nadzorni monitoring je u stvarnosti osnovni monitoring. On se mora provoditi stalno i u svim situacijama. Koristi se kako bi se uočila promjena rasta onečišćivala u tijelu podzemnih voda te kako bi se pravovremeno reagiralo na potencijalno onečišćenje. Nadzornim monitoringom se mjeri sedam osnovnih pokazatelja: pH, električna vodljivost, nitrati, otopljeni kisik, amonijak, temperatura i skupina glavnih iona i iona u tragovima. Učestalost monitoringa ovisi o tipu vodonosnika i učestalosti praćenja, odnosno ako se vodonosnik prati duže vrijeme, potrebna je manja učestalost. Operativni monitoring se koristi u situaciji kada je nadzornim monitoringom uočena promjena koncentracije onečišćivala ili postoji rizik od promjena stanja tijela (s dobrog na lošeg)

ili je tijelo u lošem stanju. Mjere se isti parametri kao i kod nadzornog monitoringa, a provodi se tako dugo dok se sa sigurnošću ne može reći da je došlo do promjene trenda rasta onečišćivala i kada tijelo više nije u lošem stanju. Učestalost također ovisi o tipu vodonosnika. Istraživački monitoring se provodi kada se uoči promjena koncentracije onečišćivala (rast koncentracije), a razlog nije poznat ili se dogodi neočekivano onečišćenje.

Monitoring je reguliran raznim propisima, odnosno najbolje je propisan u Zakonu o vodama i u Uredbi o standardu kakvoće voda. Sva zakonska regulativa u Republici Hrvatskoj usklađena je s Okvirnom direktivom o vodama. Kako bi se na koordinirani i lakši način shvatila Okvirna direktiva o vodama, države članice EU-a razvile su Zajedničku strategiju provedbe Okvirne direktive o vodama. U njoj se nalaze dva CIS vodiča koja su bitna za monitoring, odnosno CIS vodič br. 15 i br. 7. CIS vodič br. 15 je vodič o monitoringu podzemnih voda, dok je CIS vodič br. 7 vodič o monitoringu svih voda. Na temelju CIS vodiča br. 15 se bazira monitoring podzemnih voda u Republici Hrvatskoj, a on sadržava upute za uspostavu programa monitoringa podzemnih voda kako bi se ispunili zahtjevi Okvirne direktive. Zakonom propisane granične vrijednosti, monitoring tih vrijednosti i monitoring zaliha podzemnih voda su iznimno važni jer nam govori da li je neko tijelo pod rizikom od smanjivanja zaliha voda te onečišćivanja. Ukoliko monitoring pokaže da je voda onečišćena, onda postoji rizik da konzumacija takve vode izazove zdravstvene probleme kod stanovništva, a može se dogoditi i nedostatak vode što bi predstavljalo ogroman problem s obzirom da sve više ljudi i gospodarstva ovisi o podzemnoj vodi.

U radu su dani primjeri iz prakse, za Dansku i Južnu Koreju. Danska je država članice EU te ima slično propisan monitoring kao i u Hrvatskoj, odnosno monitoring je usklađen s Okvirnom direktivom. Danska, kao i Hrvatska, ovisi o podzemnoj vodi (čak 99 % potrošnje vode dolazi iz podzemnih voda). U usporedbi s Hrvatskom (usporedba država u Europskoj uniji), Danska primarno ima slično razvijenu mrežu monitoringa, ali monitoring se u velikim slučajevima bazira na određivanju kemijskog stanja podzemnih voda, dok je kvantitativno stanje zanemarivo. U Danskoj, prema zakonu voda se prije distribucije obrađuje samo prozračivanjem i filtracijom uz pomoć pijeska. Odabir parametara koje će monitoring obuhvatiti se bazira na primjerima ostalih članica. Monitoring je usmjeren primarno na duboke podzemne vode što predstavlja veliki nedostatak jer se najčešće onečiste plitke podzemne vode iz kojih se onečišćivalo može prenijeti u duboke vode kroz određeni period vremena.

Južna Koreja je uzeta za primjer jer se ne nalazi u Europskoj uniji te nema nikakve smjernice iz Okvirne direktive o vodama. U Južnoj Koreji razlikuje se šest glavnih mreža monitoringa, glavna je Nacionalna mreža koja spada u Mrežu za monitoring kvalitete podzemnih voda. U odnosu na Hrvatsku i Dansku, Koreja ne ovisi toliko o podzemnim vodama (samo 11 % od ukupne potrošnje vode dolazi iz Južne Koreje). Koreja se okreće podzemnim vodama samo u vremenima suše koja ih pogađa otprilike svakih šest godina. Međutim, korejska vlada se sve više okreće podzemnoj vodi kao opciji vodoopskrbe stanovništva i gospodarstva. Zbog sve veće ovisnosti o podzemnim vodama javlja se naglo smanjenje razine podzemnih voda te povećanje temperature. Za razliku od Danske, Južna Koreja u svakoj monitoring lokaciji ima dvije monitoring bušotine, jedna za plitki vodonosnik, a druga za duboki vodonosnik. Učestalost monitoringa ovisi o mreži kojoj pripada podzemno tijelo. Monitoring za praćenje kvalitete podzemnih voda se dijeli na nacionalni i lokalni, dok se nacionalni dijeli na dvije ekskluzivne mreže (praćenje onečišćivala u čistim sredinama gdje nema onečišćenja i praćenje onečišćivala koja su podložna kontaminaciji) te na nacionalnu i ruralnu mrežu za monitoring kvalitete. Svaka mreža, osim mreže za kvalitetu podzemnih voda, mjeri razinu podzemnih voda.

U Republici Hrvatskoj svakih šest godina donosi se Plan upravljanja vodnim područjima koji se određuje na temelju Zakona o vodama. Izrađuju ga Hrvatske vode na temelju verzije Plana upravljanja vodnim područjima dobivene od strane Europske komisije. U njemu se nalazi procjena stanja podzemnih voda te se na temelju toga određuje budući monitoring. Do sada su napravljena tri takva Plana. Prvi plan upravljanja vodnim područjima nastao je kada je Republika Hrvatska ušla u EU, te je vrijedio za razdoblje od 2013. – 2015. godine. U tom planu je uveden monitoring kao obaveza i te je pokrenut postupak preko kojega će Hrvatska Europskoj uniji podnositi izvješće za svako plansko razdoblje. Drugi Plan upravljanja vodnih područja vrijedio je za razdoblje od 2016. – 2021. godine. Taj Plan sadržavao je monitoring kao sastavni dio, no u njemu još uvijek nije bilo dobro razrađenih motrenja podzemnih voda. Sada je na snazi treći Plan za razdoblje do 2027. godine i izrađen je dobrim dijelom na temelju podataka i rezultata motrenja podzemnih voda iz drugog Plana, makar samo s podacima do kraja 2018. kada nisu još svi monitorinzi bili uspostavljeni.

No, Hrvatska je i prije ulaska u EU imala neka praćenja stanja voda. Strategija upravljanja vodama je dokument donesen 2008. na temelju kojeg se provodila reforma vodnog sektora kako bi se dostigli europski standardi u upravljanju vodama, prije samog ulaska u EU, a ujedno je bio i osnovna podloga za postupne izmjene i dopune Zakona o

vodama. U tom se dokumentu navodi da se nacionalni monitoring kakvoće površinskih voda provodi od 1958. na rijeci Dunav, pa kasnije kad su 1998. doneseni su novi propisi za ocjenjivanje kakvoće voda usklađeni s UN/ECE smjernicama. U to isto vrijeme sustavni nacionalni monitoring podzemnih voda ne postoji, što ide u prilog činjenici da se mnogo kasnije uočila ugroženost podzemnih voda od onečišćenja. Ipak prati se kakvoća onih voda koje se koriste u vodoopskrbi. Praćenje količinskog stanja se u to vrijeme uopće ne spominje.

Iako dosta sporo (prvenstveno je ograničavajući faktor financijska situacija) Hrvatska stalno napreduje u uspostavljanju sustavnog motrenja podzemne vode. Možda je razlog tome i činjenica da nema problema s vodoopskrbom i još uvijek ima dovoljno zaliha vrlo kvalitetne vode pa problematika možda nema investicijski prioritet, ali prepoznaje se važnost zaštite vode kao vrlo važnog resursa pa u skladu s tim ide i razvoj sustava.

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu glavni je naglasak stavljen na važnost podzemnih voda, predstavljanje postupaka motrenja podzemne vode, uloga monitoringa u očuvanju zaliha voda, način provođenja propisan zakonskom regulativom u Republici Hrvatskoj te su prikazani usporedni primjeri monitoringa iz drugih država.

Podzemna voda je danas primarni izvor vode za ljudsku potrošnju. Osim za piće, koristi se za navodnjavanje, u industriji, kao i u mnogim drugim segmentima svakodnevnog života. Podzemnim vodama prijete pretjerano crpljenje (smanjenje zaliha dostupnog resursa) te onečišćenje. Hrvatska ima najveću zalihu pitke vode po stanovniku u Europskoj Uniji. Na prostoru Hrvatske nalaze se dva osnovna tipa vodonosnika: međuzrnski (intergranularni) koji se nalazi u panonskom dijelu i krški, sekundarne pukotinsko-kavernozne poroznosti u jadranskom vodnom području. Monitoring podzemnih voda je program praćenja kvantitativnog i kvalitativnog stanja podzemnih voda. Sustavno praćenje podzemnih voda provodi se radi određivanja kemijskog stanja vodnih tijela, utvrđivanja dugotrajnih promjena prirodnih uvjeta, određivanja promjena uzrokovanih intenzivnim antropogenim djelovanjem te promjena uslijed djelovanja na područjima koja ne ispunjavaju uvjete za dobro stanje. Uspješnost monitoringa ovisi o konceptualnom modelu. Konceptualni model kao osnova kod izrade efektivnog programa monitoringa osigurava da će programi monitoringa biti odgovarajući s obzirom na distribuciju onečišćivala u hidrogeološkom sustavu. Postoji monitoring prema vrsti praćenja kvantitativnog i kemijskog stanja. Također, prema načinu praćenja razlikuje se nadzorni, operativni i istraživački monitoring. Nadzorni se provodi konstantno za uočavanje bilo kakvih promjena, operativni se provodi u slučaju ocjene lošeg stanja vodnog tijela, dok se istraživački provodi za nepoznate uzroke onečišćenja. U Hrvatskoj, monitoring je reguliran Zakonom o vodama i Uredbi o standardu kakvoće voda. Zakoni su usklađeni s Okvirnom direktivom o vodama koja govori o očuvanju vodnih resursa i postavlja ciljeve za dobro stanje svih vodnih tijela u Europi.

Hrvatska kao članica Europske unije ima obvezu ne samo uskladiti zakonsku regulativu s europskim odredbama, već sustavno provoditi i izvještavati o rezultatima tako provedenih postupaka. Nacionalni plan motrenja podzemnih voda jedna je od takvih obaveza koja će i u narednom periodu biti vrlo važan segment odgovarajućeg upravljanja vodnim resursima.

7. LITERATURA

- [1] Igor Shiklamonov. Water in Crisis: A Guide to the World's Freshwater Resources. Dostupno na: <https://www.usgs.gov/media/images/distribution-water-and-above-earth>. Datum pristupa: 24.08.2023.
- [2] B. Biondić (2006): Interna skripta iz kolegija Hidrogeologija. Geotehnički fakultet.
- [3] Van der Gun, J. Groundwater and global change: trends, opportunities and challenges. UNESCO World Water Assessment Programme; 2012.
- [4] U.S. Geological Survey. What is groundwater?. Dostupno na: <https://www.usgs.gov/faqs/what-groundwater>. Datum pristupa: 17.07.2023.
- [5] National Geographic. Aquifers. Dostupno na: <https://education.nationalgeographic.org/resource/aquifers>. Datum pristupa: 17.07.2023.
- [6] GroundwaterU. Groundwater Basics. Dostupno na: <https://groundwateru.org/groundwater/>. Datum pristupa: 17.07.2023.
- [7] Conserve Energy Future. Causes, Effects and Solutions of Groundwater Depletion. Dostupno na: <https://www.conserve-energy-future.com/causes-effects-solutions-of-groundwater-depletion.php>. Datum pristupa: 17.07.2023.
- [8] E. Chaussard, E. Havazli, H. Fattahi, E. Cabral-Cano, D. Solano-Rojas. Over a Century of Sinking in Mexico City: No Hope for Significant Elevation and Storage Capacity Recovery. Journal of Geophysical Research: Solid Earth. 2021.; 126(4)
- [9] FilterWater.com. Well Water and Ground Water Contamination. Dostupno na: <https://www.filterwater.com/t-articles.ground-water-contamination.aspx>. Datum pristupa: 17.07.2023.
- [10] Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ). Objave - događanja. Dostupno na: https://meteo.hr/objave_najave_natjecaji.php?section=onn¶m=objave&el=događanja&daj=sdv2022. Datum pristupa: 17.07.2023.
- [11] Bogdan A. Podzemne vode – učinimo nevidljivo vidljivim. Građevinar. 2022.; 74(3). str. 237-239.
- [12] Eurostat. Water statistics. Dostupno na: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Water_statistics#Water_as_a_resource. Datum pristupa: 17.07.2023.
- [13] Dragičević Samokovlija J. Zaštita okoliša. Građevinar. 2007.; 59(10). str. 925-930.
- [14] Hrvatske vode. Strategija upravljanja vodama. Zagreb; 2009.

- [15]Biondić R. (2021): Materijali s predavanja iz kolegija Hidrogeologija u ak. godini 2020./2021. Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu
- [16]Hrvatske vode. Izvješće o stanju podzemnih voda u 2020. godini. Zagreb; 2021.
- [17]European Commission. Common implementation strategy for the Water Framework Directive (2000/60EC): Guidance Document No. 15 – Guidance on Groundwater Monitoring. Luxembourg; 2007.
- [18]European Commission. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60EC): Guidance Document No. 7 – Monitoring under the Water Framework Directive. Luxembourg; 2003.
- [19]Hrvatske vode. Zajednička strategija implementacije Okvirne Direktive o Vodama (2000/60EC): Vodič Br. 7 – Monitoring u skladu sa Okvirnom Direktivom o Vodama. 2003.
- [20]Uredba o standardu kakvoće voda. Narodne novine. 2019. Broj 96. [09.10.2019.]
- [21]European Commission. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60EC): Policy Summary Guidance Document No. 7 – Monitoring under the Water Framework Directive. Luxembourg; 2003.
- [22]Hrvatske vode. Plan monitoringa stanja voda u Republici Hrvatskoj u 2021. godini. Zagreb; 2021.
- [23]Zakon o vodama. Narodne novine. 2009. Broj 153. [21.12.2009.]
- [24]Biondić R. (2022): Materijali s predavanja iz kolegija Upravljanje vodama u ak. godini 2021./2022. Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu
- [25]European Commission. Water Framework Directive. Dostupno na: https://environment.ec.europa.eu/topics/water/water-framework-directive_en. Datum pristupa: 18.07.2023.
- [26]Pravilnik o posebnim uvjetima za obavljanje djelatnosti uzimanja uzoraka i ispitivanja voda. Narodne novine. 2020. Broj 3. [08.01.2020.]
- [27]Pravilnik o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta. Narodne novine. 2011. Broj 66. [15.06.2011.]
- [28]Jørgensen LF., Stockmarr J. Groundwater monitoring in Denmark: Characteristics, perspectives and comparison with other countries. Hydrogeology Journal. 2009.; 17(4). str. 827-842
- [29]WSP. Safeguarding Groundwater Resources: A View From Denmark. Dostupno na: <https://www.wsp.com/en-gl/insights/safeguarding-groundwater-resources-a-view-from-denmark>. Datum pristupa: 03.08.2023.

- [30]Lee JY., Kwon KD. Current status of groundwater monitoring networks in Korea. Water. 2016.; 8(4).
- [31]Lee B., Hamm S-Y., Jang S., Cheong J-Y., Kim G-B Relationship between groundwater and climate change in South Korea. Geosciences Journal. 2014.; 18(2). str. 209-218.
- [32]Piškornica sanacijsko odlagalište. Monitoring - Podzemne vode. Dostupno na: <https://www.piskornica-sanacijsko-odlagaliste.hr/dokumenti.asp?id=20&n=8>. Datum pristupa: 09.08.2023.
- [33]Hrvatski zavod za javno zdravstvo. Odjel za kontrolu zdravstvene ispravnosti voda i vodoopskrbu. Dostupno na: <https://www.hzjz.hr/sluzba-zdravstvena-ekologija/odjel-za-kontrolu-zdravstvene-ispravnosti-voda-i-vodoopskrbu/>. Datum pristupa: 09.08.2023.
- [34]Hrvatske vode. Plan upravljanja vodnim područjima do 2027. Zagreb; 2023.

POPIS SLIKA

Slika 1 - Crpljenje podzemne vode iz vodonosnika pomoću zdenaca za potrebe kućanstva [5].....	3
Slika 2 - Infiltracija onečišćenja podzemne vode i onečišćenje pitke podzemne vode [9].....	5
Slika 3 - Prikaz dva osnovna tipa vodonosnika na karti Republike Hrvatske [15].....	7
Slika 4 - Shematski prikaz jednostavnog konceptualnog modela [17]	12
Slika 5 - Prikaz vodne bilance [17].....	12
Slika 6 - Razvoj konceptualnih modela ovisno o pritiscima na tijelo podzemne vode [19].....	13
Slika 7 - Mreža monitoringa na području Danske [28].....	30
Slika 8 - Koncentracije nitrata na području Danske [28].....	31
Slika 9 - Koncentracije nitrata u monitoring bušotinama uspoređene sa bušotinama za crpljenje podzemne vode [28].....	33
Slika 10 - Količina potrošnje podzemne vode u poljoprivrednoj, stambenoj, industrijskoj i ostaloj namjeni u razdoblju od 1996. - 2013. godine [30].....	35
Slika 11 - Lokacije točaka za monitoring podzemne vode na području Koreje [30].	38
Slika 12 - Struktura korejske monitoring mreže [30]	39

Slika 13 - Postaje nadzornog monitoringa na području Republike Hrvatske u 2020.godini [22].....	45
Slika 14 - Postaje operativnog monitoringa na području Republike Hrvatske u 2020.godini [22].....	46

POPIS TABLICA

Tablica 1 - Obnovljivi izvori pitke vode izraženi u milijunima m ³ [12].....	6
Tablica 2 – Obnovljive zalihe podzemne vode podijeljene po slivovima [14].....	8
Tablica 3 - Prikaz raznih scenarija za procjenu kvantitativnog stanja podzemnih voda [19].....	15
Tablica 4 – Učestalost nadzornog monitoringa ovisno o tipu tečenja u vodonosniku [20].....	20
Tablica 5 – Učestalost operativnog monitoringa ovisno o tipu tečenja u vodonosniku [20].....	22
Tablica 6 – Standardi kakvoće podzemnih voda [20].....	25
Tablica 7 – Granične vrijednosti specifičnih onečišćujućih tvari [20]	26
Tablica 8 – Učestalost monitoringa [28].....	32
Tablica 9 – Glavne monitoring mreže u Koreji [30].....	37
Tablica 10 - Monitoring mreže, njihove parametre monitoringa, broj bušotina za monitoring te učestalost uzorkovanja za pojedinu mrežu [30].....	40
Tablica 11 – Neki od pokazatelja kemijskog statusa podzemnih voda i njihova učestalost ispitivanja [22]	43
Tablica 12 - Neki od dodatnih pokazatelja koji moraju biti praćeni u svrhu provedbe Uredbe o standardu kakvoće [22]	43
Tablica 13 - Mikrobiološki pokazatelji koji se ispituju u zaštićenim područjima i njihova godišnja učestalost ispitivanja [22].....	45
Tablica 14 – Ocjena kemijskog stanja tijela podzemnih voda na panonskom području [34].....	48
Tablica 15 – Ocjena kemijskog stanja podzemne vode na krškom području [34]	49
Tablica 16 – Količinsko stanje u tijelima podzemnih voda u panonskom dijelu [34]	50
Tablica 17 – Količinsko stanje u tijelima podzemnih voda u krškom dijelu [34]	50