

ODREĐIVANJE UKUPNOG DUŠIKA U POVRŠINSKIM VODAMA

prof. dr. sc. Anita Ptiček Siročić
Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički
fakultet
Hallerova aleja 7, Varaždin, Croatia
anitaps@gfv.hr

Nina Martinez
Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički
fakultet
Hallerova aleja 7, Varaždin, Croatia

Dijana Begić Šinjori dipl. ing. biotehn.
Zavod za javno zdravstvo Varaždin
I. Meštrovića 1/11, Varaždin,
Croatia,

Dušik (N_2) je ključan nutrijent za funkcioniranje ekosustava i jedan od glavnih ograničavajućih faktora produktivnosti. Međutim, njegov prekomjeran unos, osobito uslijed antropogenih aktivnosti, može uzrokovati negativne posljedice poput zakiseljavanja tla, eutrofikacije i smanjenja biološke raznolikosti. Visoke koncentracije dušika u površinskim vodama često su povezane s poljoprivrednim i urbanim izvorima onečišćenja. U ovom su istraživanju analizirani uzorci površinskih voda s područja Varaždinske i Krapinsko-zagorske županije, od studenog 2022. do travnja 2023. godine. Rezultati su pokazali da su na 14 lokacija vrijednosti ukupnog dušika bile u skladu s propisima, dok su na preostalim lokacijama koncentracije prelazile 2,40 mg/L N, što upućuje na mogući antropogeni utjecaj.

Ključne riječi: površinske vode, dušik, ukupni dušik, kakvoća vode

1. UVOD

Voda je jedan od najvažnijih resursa za život, no samo oko 0,3 % svjetskih vodnih zaliha dostupno je za upotrebu. Nestašica vode prisutna je u mnogim područjima, a više od jedne milijarde ljudi nema pristup sigurnom izvoru pitke vode. Kako svjetska populacija raste, povećava se i potreba za vodom, dok se istovremeno vodni resursi smanjuju zbog različitih čimbenika, ponajviše ljudskih aktivnosti (Kilić, 2020.). S obzirom na značajan porast globalnog stanovništva, očuvanje vodnih ekosustava postaje ključno za zaštitu okoliša i održavanje dostupnih vodnih resursa. Voda je podložna raznim vrstama antropogenog onečišćenja, što može negativno utjecati na ljudsko zdravlje. Procjenjuje se da je čak 80 % bolesti povezano s kakvoćom slatke vode (Khublaryan, 2009.; Kumar i sur., 2020.). Jedan od glavnih izvora dušika u okolišu su poljoprivredni procesi, a značajne količine prisutne su i u kućnim otpadnim vodama. Dušik je bezbojan, bezmirisan i neukusan plin, a ujedno i esencijalni biogeni element koji sudjeluje u izgradnji važnih bioloških spojeva poput nukleinskih kiselina i proteina. Slabo je topljiv u vodi i kemijski inertan, a ključan je element u

ishrani biljaka i procesu gnojidbe. U tlu se anorganska gnojiva koja sadrže dušik, kao i organski otpad bogat dušikom, razgrađuju u amonijak, koji zatim oksidira u nitrite i nitrata. Biljke ih preuzimaju tijekom rasta i koriste u sintezi organskih dušikovih spojeva, dok se višak nitrata ispire kroz tlo u podzemne vode, pogotovo tijekom kišnih razdoblja ili za vrijeme procesa navodnjavanja (Kilić, 2020.; Khublaryan, 2009.; Kumar i sur., 2020.; Chen i sur., 2022a). Iako su hranjive tvari poput dušika i fosfora nužne za rast i prehranu biljaka i životinja, njihov višak u vodi može uzrokovati ozbiljne zdravstvene i ekološke probleme, uključujući eutrofikaciju, smanjenje kisika u vodi i narušavanje vodnih ekosustava. Cilj ovog rada bio je odrediti koncentraciju ukupnog dušika u površinskim vodama na 15 lokacija Varaždinske županije i 15 lokacija Krapinsko-zagorske županije.

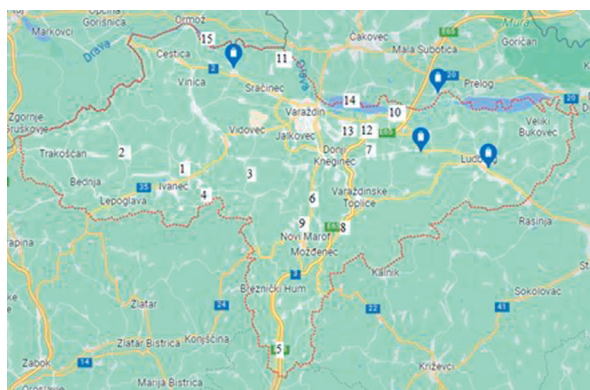
2. EKSPERIMENTALNI DIO

2.1. Područje istraživanja

Površina Varaždinske županije je 1.262 km², smještena je na rubu panonskog područja i okružena rijekom Dravom, istočnim Halozama, Maceljskim pobrđem,

Kalničkim gorjem te Ivanšćicom, a obilježava ju ravničarsko te brežuljkasto reljefno područje s gorskim masivima (Ivanšćica, Ravna gora). Područje Varaždinske županije ima vrlo razvijenu riječnu mrežu i smatra se značajnim hidrografskim čvorištem u Hrvatskoj. Sve tekućice pripadaju slivu rijeke Dunav, rijeke Plitvica i Bednja preko sliva Drave te Lonja preko sliva Save. Akumulacijska jezera hidroenergetskog sustava na rijeci Dravi su jezero HE "Varaždin", jezero HE "Čakovec" i jezero HE "Dubrava". Od ostalih jezera značajnija su Trakošćansko jezero, Bitoševlje i jezero Bis kod Ivanca. Za brojna izvorišta podzemne vode najznačajniji resurs je brdski masiv Ivanšćice kojeg karakterizira sekundarna pukotinska poroznost karbonatnog masiva s vrlo kvalitetnom vodom. Od ostalih značajnijih izvorišnih predjela izdvaja se Ravna gora dok ostali manji izvori pripadaju Kalničkom gorju i krajnjem jugu županije. Varaždinska županija jedna je od rijetkih u Hrvatskoj s bogatim i izdašnim resursima podzemne pitke vode (Vincek i sur. 2015.).

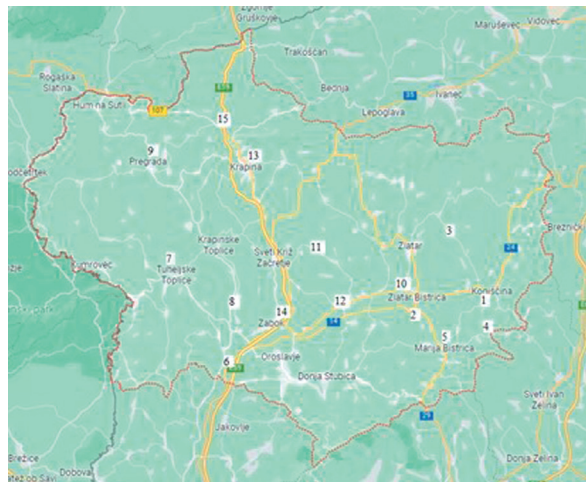
Na 15 lokacija Varaždinske županije u razdoblju od šest mjeseci, od studenog 2022. do travnja 2023. godine određivana je koncentracija ukupnog dušika u površinskim vodama. Na [slici 1](#) prikazan je kartografski prikaz lokacija u Varaždinskoj županiji.



Slika 1: Lokacije uzorkovanja u Varaždinskoj županiji

Krapinsko-zagorska županija nalazi se u sjeverozapadnom dijelu Republike Hrvatske i pripada prostoru središnje Hrvatske, a njezina površina iznosi 1.229 km². Zasebna je geografska cjelina koja se pruža od vrhova Macelja i Ivanšćice na sjeveru do Medvednice na jugoistoku. Zapadna granica, ujedno i državna s Republikom Slovenijom, rijeka je Sutla, a istočna granica je vododjelnica porječja Krapine i Lonje. Glavni vodonosnik u Krapinsko-zagorskoj županiji čine karbonatne stijene masiva Ivanšćice, Kostruna, Strahinjčice te Kuna-gore, i to pretežno dolomiti i dolomitne breče srednjeg do gornjeg trijasa. Osnovna im je značajka sekundarna, pukotinska poroznost, koja

u zonama jače razlomljenosti i okršenosti omogućava infiltraciju površinskih voda u podzemlje. Glavni vodotok u Krapinsko-zagorskoj županiji je rijeka Krapina, koja je duga 75 kilometara, a porječje obuhvaća 1.123 km². Izvire na jugoistočnim padinama Ivanšćice te se ulijeva u rijeku Savu kod Zaprešića.



Slika 2: Lokacije uzorkovanja u Krapinsko-zagorskoj županiji

Na 15 lokacija Krapinsko-zagorske županije uzorkovana je površinska voda u kojoj je određivana koncentracija ukupnog dušika u uzorcima površinske vode u razdoblju od pola godine, od studenog 2022. do travnja 2023. godine, [slika 2](#).

2.2. Određivanje ukupnog dušika

Ukupni dušik u uzorcima površinske vode određivan je s pomoću spektrofotometra HACH LANGE DR 3900. Spektrofotometar automatski očitava 2D crtični kod na LCK kivetama kako bi identificirao odgovarajuću metodu i obavio mjerenje. Radno područje spektrofotometra je od 340 do 900 nm. Za mjerenje apsorbancije, uzorak mora biti pripremljen u obliku otopine i stavljen u staklenu ili plastičnu kivetu za mjerenje u vidljivom dijelu spektra ili u kvarcnu kivetu za mjerenje u UV dijelu spektra. Ukupni dušik u uzorcima određivan je s pomoću kivetnih testova Hach Lange – LCK 138.

3. REZULTATI I RASPRAVA

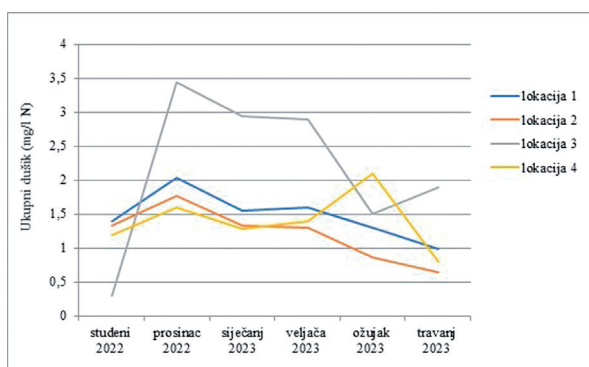
Uredbom o standardu kakvoće vode (NN 96/2019, NN 20/23, NN 50/23) u Republici Hrvatskoj određene su najviše dopuštene koncentracije ukupnog dušika u površinskim vodama. S obzirom na analizirane lokacije Varaždinske i Krapinsko-zagorske županije odabrana je oznaka tipa HR-R_4A, koja predstavlja nizinske, srednje velike i velike tekućice u panonskoj ekoregiji. U [tablici 1](#) prikazane su granične vrijednosti kategorija ekološkog stanja za osnovne fizikalno-kemijske pokazatelje.

EKOREGIJA	OZNAKA TIPRA	KATEGORIJA EKOLOŠKOG STANJA	Granična vrijednost ekološkog stanja za osnovne fizikalno-kemijske pokazatelje – vrijednosti 50-og percentila							
			Zakiseljenost	Režim kisika	Hranjive tvari					
			pH vrijednost	BPK5	KPK-Mn	Amonijak	Nitrati	Ukupni dušik	Ortofosfati	Ukupni fosfor
				mg O ₂ /l	mg O ₂ /l	mg N/L	mg N/L	mg N/l	mg P/L	mg P/L
PANONSKA	HR-R_4A	vrlo dobro	7,4-8,5	≤ 2,4	≤ 5,5	≤ 0,07	≤ 0,95	≤ 1,60	≤ 0,10	≤ 0,15
		dobro	7,0-7,39 8,51-9,0	2,5-3,4	5,6-7,6	0,08-0,20	0,96-1,30	1,61-2,40	0,11-0,20	0,16-0,25

Tablica 1: Granična vrijednost ekološkog stanja za osnovne fizikalno-kemijske pokazatelje – vrijednosti 50-og percentila

3.1. KONCENTRACIJE UKUPNOG DUŠIKA ZA UZORKE POVRŠINSKIH VODA U VARAŽDINSKOJ ŽUPANIJ

Na slici 3 prikazana je koncentracija ukupnog dušika na četiri lokacije u Varaždinskoj županiji. Rezultati pokazuju da su koncentracije ukupnog dušika na tri lokacije bile približno jednake u razdoblju od studenog 2022. do veljače 2023. godine. Međutim, u ožujku 2023. zabilježen je značajan porast koncentracije ukupnog dušika na lokaciji 4, u vrijednosti od 2,10 mg/L N. Pojedina odstupanja u koncentracijama tijekom praćenog razdoblja mogu biti posljedica upotrebe gnojiva na obližnjim poljoprivrednim površinama (Hutchings i sur., 2020.; Chen i sur., 2022b). Na lokaciji 1, vrijednost ukupnog dušika u prosincu 2022. odstupala je od maksimalno dopuštene koncentracije za 0,5 mg/L, dok je u ostalim mjesecima bila ispod 2 mg/L N. Na lokaciji 3 u prosincu 2022. zabilježena je najviša koncentracija ukupnog dušika (3,44 mg/L N), dok je tijekom siječnja i veljače 2023. godine koncentracija dušika isto povišena, što se može povezati s obilnim oborinama u tom razdoblju (Državni hidrometeorološki zavod, 2022).



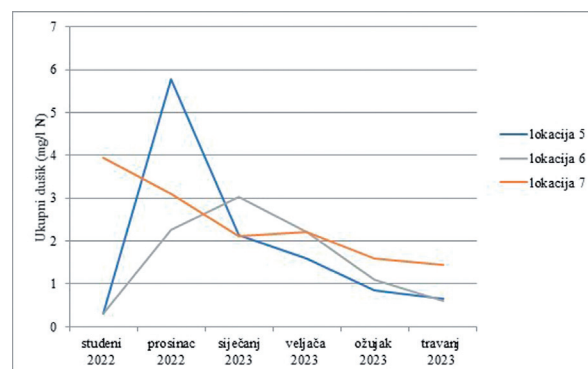
Slika 3: Vrijednosti koncentracije ukupnog dušika za lokacije 1, 2, 3 i 4

Na slici 4 prikazana je izmjerena koncentracija ukupnog dušika u površinskim vodama na lokacijama 5, 6 i 7. Na lokaciji 5, tijekom prosinca 2022. godine,

zabilježen je nagli porast koncentracije ukupnog dušika (5,79 mg/L N), što se može povezati s povećanim količinama oborina na tom području. U siječnju 2023. dolazi do značajnog smanjenja koncentracije, a tijekom veljače, ožujka i travnja 2023. godine, koncentracija ukupnog dušika na lokaciji 5 nalazi se unutar dopuštenih granica, varirajući od 0,66 do 1,60 mg/L N.

Na lokaciji 6, vrijednosti ukupnog dušika tijekom prosinca 2022., siječnja i veljače 2023. godine prelaze dopuštenu granicu, dok tek u ožujku dolazi do pada ispod granične vrijednosti (1,60 mg/L N).

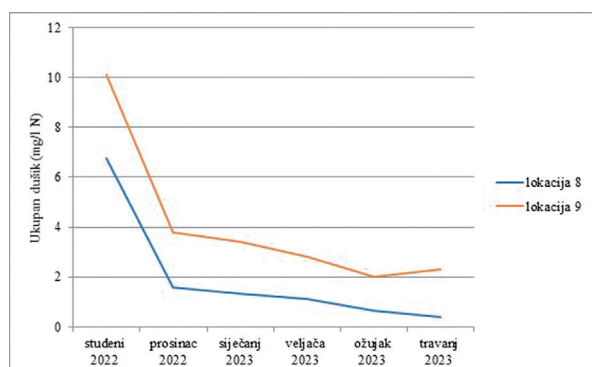
Najviša koncentracija ukupnog dušika na lokaciji 7 zabilježena je u studenom 2022. godine (3,94 mg/L N). Nakon toga dolazi do postupnog smanjenja, a vrijednosti padaju ispod dopuštene granice tek u ožujku 2023. godine.



Slika 4: Vrijednosti koncentracije ukupnog dušika za lokacije 5, 6 i 7

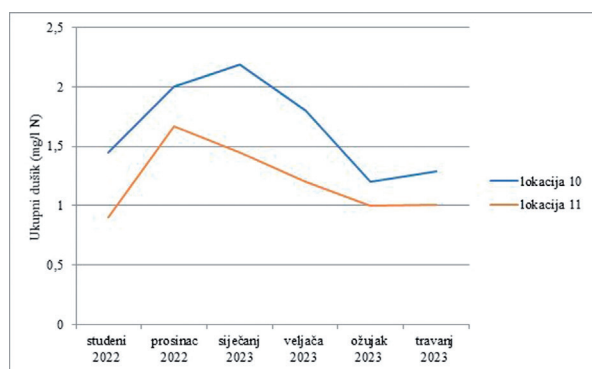
Uzorci uzeti na lokacijama 8 i 9 pokazuju sličan trend promjena koncentracije ukupnog dušika, s gotovo identičnim rastom i padom vrijednosti (slika 5). Maksimalna koncentracija ukupnog dušika na obje lokacije zabilježena je u studenom 2022. godine, nakon čega dolazi do naglog pada u prosincu 2022. Na lokaciji 8, od prosinca 2022. do travnja 2023. godine, koncentracija ukupnog dušika je ispod 2 mg/L, varirajući između 1,60 mg/L N i 0,40 mg/L N. S druge strane, na lokaciji 9, koncentracije ukupnog dušika u svim promatranim mjesecima su iznad 2 mg/L N. Povećane koncentracije

ukupnog dušika mogu se pripisati velikim količinama oborina i primjeni gnojiva na obližnjim poljoprivrednim površinama (Wang i sur. 2022.; Xie i sur., 2021.; Hou i sur. 2023.).



Slika 5: Vrijednosti koncentracije ukupnog dušika za lokacije 8 i 9

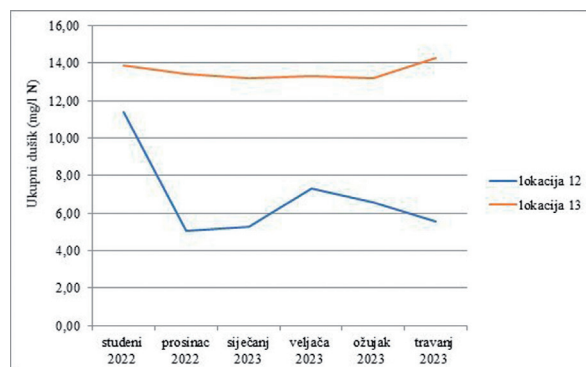
Uzorci uzeti na lokacijama 10 i 11 pokazuju sličan trend promjena koncentracije ukupnog dušika, s gotovo identičnim padovima i rastom vrijednosti (slika 6). Na lokaciji 10, koncentracija ukupnog dušika u prosincu 2022. i siječnju 2023. je iznad 2 mg/L, dok je u ostalim promatranim mjesecima (osim veljače 2023.) ispod dopuštene granice od 1,60 mg/L. Na lokaciji 11, koncentracija ukupnog dušika tijekom svih promatranih mjeseci ostaje unutar dopuštenih granica (s malim odstupanjem u prosincu 2022.), krećući se u rasponu od 0,90 mg/L N do 1,67 mg/L N.



Slika 6: Vrijednosti koncentracije ukupnog dušika za lokacije 10 i 11

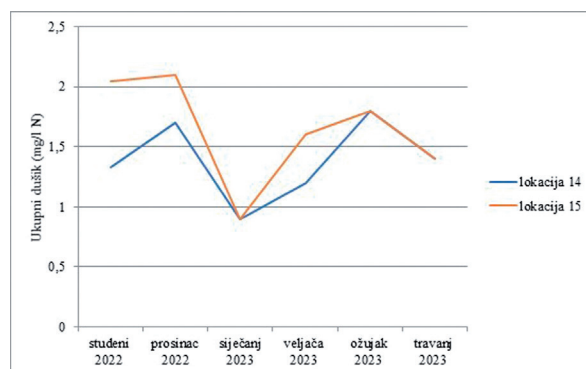
Uzorci površinske vode na lokacijama 12 i 13 pokazuju najviše izmjerene koncentracije ukupnog dušika na području Varaždinske županije (slika 7). Maksimalne vrijednosti iznose 11,40 mg/L N za lokaciju 12 i 14,31 mg/L N za lokaciju 13. Na lokaciji 12, tijekom prosinca 2022., dolazi do naglog pada koncentracije ukupnog dušika, dok u siječnju 2023. koncentracija ponovno raste. Minimalna izmjerena vrijednost na ovoj lokaciji zabilježena je u prosincu 2022. (5,05 mg/L N). Na lokaciji 13 nisu uočene značajne promjene koncentracije ukupnog dušika tijekom promatranog razdoblja, a vrijednosti se kreću između 13,20 mg/L N i 14,31 mg/L N.

S obzirom na to da se ove lokacije nalaze u blizini poljoprivrednih područja, moguće je da je do visokih koncentracija ukupnog dušika došlo uslijed primjene gnojiva na obližnjim poljoprivrednim zemljištima te zbog obilnih oborina (Hutchings i sur., 2020.; Chen i sur., 2022b).



Slika 7: Vrijednosti koncentracije ukupnog dušika za lokacije 12 i 13

Na slici 8 prikazane su vrijednosti koncentracija ukupnog dušika na lokacijama 14 i 15. Do naglog porasta koncentracija na obje lokacije dolazi u prosincu 2022. i ožujku 2023. godine zbog povećanih količina oborina (Državni hidrometeorološki zavod, 2022., 2023.). U siječnju 2023. dolazi do naglog pada koncentracije ukupnog dušika te koncentracija na obje lokacije iznosi 0,9 mg/L N. Koncentracija ukupnog dušika na lokaciji 14 tijekom svih promatranih mjeseci ne prelazi vrijednost od 2 mg/L N, dok su koncentracije dušika uzorka površinske vode na lokaciji 15 u studenom i u prosincu 2022. godine iznad navedene vrijednosti.

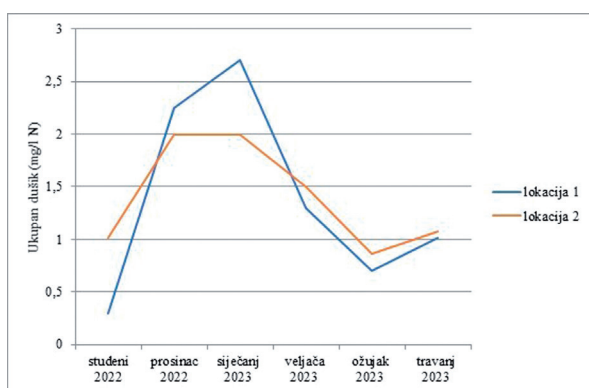


Slika 8: Vrijednosti koncentracije ukupnog dušika za lokacije 14 i 15

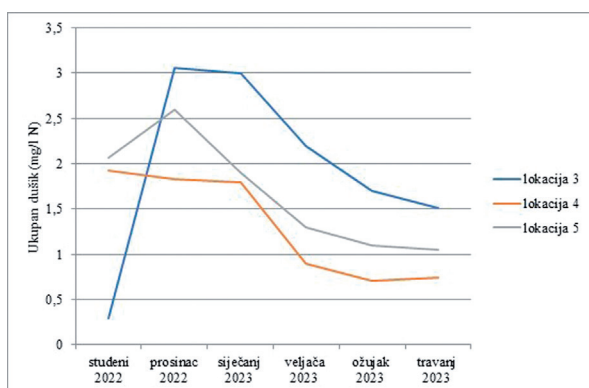
Prema dobivenim rezultatima koncentracija ukupnog dušika na lokacijama u Varaždinskoj županiji, vidljivo je da su na tri promatrane lokacije (1, 2, 4, 10, 11, 14 i 15) zadovoljeni uvjeti Uredbe o standardu kakvoće vode odnosno da koncentracija ukupnog dušika iznosi manje od 2,40 mg/L N, čime tijela površinske vode na navedenim lokacijama svrstava u kategoriju ekološkog stanja "dobar".

3.2 KONCENTRACIJE UKUPNOG DUŠIKA ZA UZORKE U KRAPINSKO-ZAGORSKOJ ŽUPANIJI

Na slikama 9 do 14 prikazane su vrijednosti koncentracija ukupnog dušika za uzorke uzete u Krapinsko-zagorskoj županiji. Prema podacima sa slike 9, na lokaciji 1 zabilježen je značajan porast koncentracije ukupnog dušika u prosincu 2022. i siječnju 2023. Ovaj nagli porast može se povezati s povećanim količinama oborina tijekom zimskih mjeseci (Državni hidrometeorološki zavod, 2022., 2023.). U veljači 2023. dolazi do naglog pada koncentracije ukupnog dušika, a zabilježene vrijednosti variraju od 0,70 mg/L N do 1,30 mg/L N. U travnju 2023. ponovno se bilježi porast koncentracije, vjerojatno zbog gnojidbe na poljoprivrednim površinama (Serra i sur., 2023.). Na lokaciji 2, koncentracija ukupnog dušika doseže vrijednosti od 2 mg/L N u prosincu 2022. i siječnju 2023., što se može povezati s obilnim oborinama u tom razdoblju. U ostalim promatranim mjesecima izmjerena koncentracija je ispod dopuštene granične vrijednosti.



Slika 9: Vrijednosti koncentracije ukupnog dušika za lokacije 1 i 2



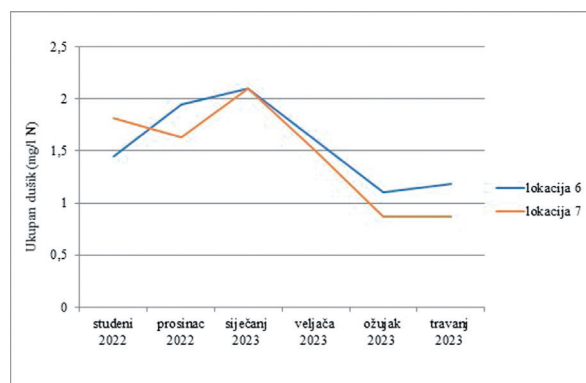
Slika 10: Vrijednosti koncentracije ukupnog dušika za lokacije 3, 4 i 5

Na slici 10 vidljiv je nagli porast koncentracije ukupnog dušika na lokaciji 3, gdje je zabilježen rast od 2,76 mg/L N, što može biti posljedica oborina i postepenog topljenja snijega u prosincu 2022. i siječnju 2023. godine. U veljači 2023. koncentracija se

smanjuje, a od ožujka 2023. pada ispod 2 mg/L. Na lokaciji 4, koncentracija ukupnog dušika tijekom svih promatranih mjeseci ostaje ispod 2 mg/L N, krećući se u rasponu od 0,70 do 1,93 mg/L N. U veljači 2023. zabilježen je nagli pad koncentracije na 0,90 mg/L N.

Na lokaciji 5 povećane količine oborina u prosincu 2022. dovele su do blagog porasta koncentracije ukupnog dušika, koja je tada iznosila 2,60 mg/L N, no od veljače 2023. koncentracija se smanjuje i ostaje ispod 1,60 mg/L.

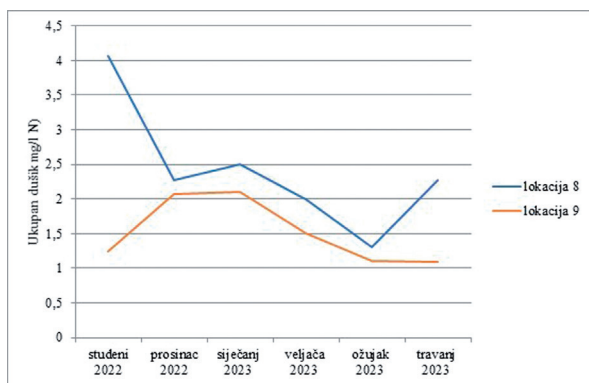
Uzorci površinske vode uzeti na lokacijama 6 i 7 imaju sličan rast i pad koncentracije ukupnog dušika, pogotovo od siječnja 2023. godine (slika 11). Oba uzorka imaju povišenu koncentraciju u siječnju 2023. godine, a maksimalna koncentracija ukupnog dušika na lokacijama 6 i 7 iznosi 2,10 mg/L N. Od siječnja do ožujka 2023. koncentracija ukupnog dušika se znatno smanjuje te pada ispod vrijednosti od 2 mg/L N. S obzirom na to da su obje lokacije blizu poljoprivrednih zemljišta, za pretpostaviti je da je zbog gnojidbe poljoprivrednih zemljišta tijekom travnja 2023. godine došlo do blagog porasta koncentracije ukupnog dušika.



Slika 11: Vrijednosti koncentracije ukupnog dušika za lokacije 6 i 7

Slika 12 prikazuje vrijednosti koncentracije ukupnog dušika na lokacijama 8 i 9. Na lokaciji 8 zabilježen je nagli pad koncentracije ukupnog dušika u prosincu 2022. godine. Od siječnja do ožujka 2023., koncentracija se postupno smanjuje, krećući se između 1,30 mg/L N i 2,50 mg/L N. U veljači i ožujku 2023. vrijednosti su pale ispod 2 mg/L N, a u travnju 2023. dolazi do naglog porasta koncentracije ukupnog dušika (2,27 mg/L N), što se može povezati s gnojenjem poljoprivrednih površina.

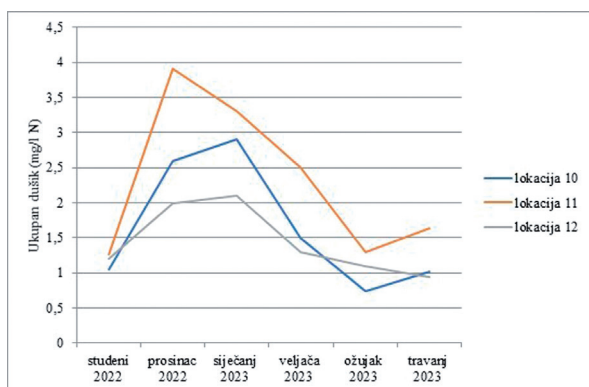
Na lokaciji 9, u studenom i prosincu 2022., dolazi do povećanja koncentracije ukupnog dušika, vjerojatno zbog obilnih oborina (Državni hidrometeorološki zavod, 2022., 2023.), dok je maksimalna vrijednost izmjerena u siječnju 2023. godine. Od siječnja do travnja 2023. koncentracija postupno opada, pri čemu se vrijednosti kreću između 1,10 mg/L N i 1,50 mg/L N. Budući da se lokacija 9 ne nalazi u blizini poljoprivrednih zemljišta, u proljetnim mjesecima nije zabilježen značajan porast koncentracije ukupnog dušika.



Slika 12: Vrijednosti koncentracije ukupnog dušika za lokacije 8 i 9

Uzorci površinskih voda uzeti na lokacijama 10, 11 i 12 pokazuju sličan trend rasta i pada koncentracije ukupnog dušika (slika 13). Na lokaciji 10, maksimalna koncentracija ukupnog dušika zabilježena je u siječnju 2023. godine (2,90 mg/L N). Nakon toga, koncentracija postupno opada do ožujka 2023., kada je izmjerena najniža vrijednost (0,74 mg/L N). U travnju dolazi do ponovnog porasta, što se može povezati s prekomjernom primjenom gnojiva na tom području. Na lokaciji 11, najviša koncentracija ukupnog dušika (3,90 mg/L N) zabilježena je u prosincu 2022., što se pripisuje povećanoj količini padalina. Nakon toga, koncentracija opada do ožujka 2023. godine, kada doseže najnižu vrijednost. Međutim, nakon ožujka, dolazi do ponovnog rasta koncentracije ukupnog dušika. Budući da se lokacija 11 nalazi u blizini poljoprivrednih zemljišta, očekivano je povećanje koncentracije zbog sezonskog gnojenja.

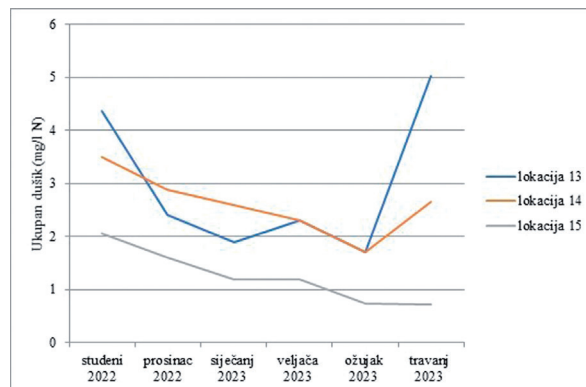
Na lokaciji 12 također je zabilježen porast koncentracije ukupnog dušika tijekom zimskih mjeseci, a u siječnju 2023. vrijednost prelazi iznad 2 mg/L N.



Slika 13: Vrijednosti koncentracije ukupnog dušika za lokacije 10, 11 i 12

Na slici 14 prikazana je koncentracija ukupnog dušika na lokacijama 13, 14 i 15 u Krapinsko-zagorskoj županiji. Na lokaciji 13, u studenom 2022. godine, zabilježena je visoka koncentracija ukupnog dušika, što se može pripisati povećanoj količini padalina (Državni hidrometeorološki zavod, 2022.). U siječnju 2023. koncentracija iznosi 1,90 mg/L N dok u travnju 2023. dolazi do naglog porasta koncentracije (5,03 mg/L

N), što je vjerojatno posljedica prekomjerne gnojidbe poljoprivrednih zemljišta. Na lokaciji 14 koncentracija ukupnog dušika postupno opada od studenog 2022. do ožujka 2023., ali u travnju naglo raste, što se podudara s početkom sezone gnojenja (Singh i sur., 2021.; Basu i sur., 2022.). Vrijednosti koncentracije ukupnog dušika na lokaciji 15 kreću se u rasponu od 0,72 do 2,05 mg/L N.



Slika 14: Vrijednosti koncentracije ukupnog dušika za lokacije 13, 14 i 15

S obzirom na dobivene rezultate koncentracije ukupnog dušika na lokacijama u Krapinsko-zagorskoj županiji, može se zaključiti da su na lokacijama 2, 4, 6, 7, 9, 12 i 15 izmjerene vrijednosti ispod 2,40 mg/L N i uzorci vode pripadaju kategoriji ekološkog stanja "dobro" što je u skladu s uvjetima propisanim Uredbom o standardu kakvoće vode NN 96/2019.

4. ZAKLJUČAK

Vrijednosti koncentracije ukupnog dušika određene su na 15 lokacija u Varaždinskoj županiji i 15 lokacija u Krapinsko-zagorskoj županiji. Prema Uredbi o standardu kakvoće vode, koncentracija ukupnog dušika u površinskim vodama ne smije prelaziti 2,40 mg/L N. Rezultati su pokazali da 14 uzoraka od ukupno 30 na promatranim lokacijama ispunjava uvjete propisane Uredbom, pri čemu ta vodna tijela pripadaju kategoriji ekološkog stanja "dobar". Na preostalim lokacijama vrijednosti koncentracije ukupnog dušika su više od 2,40 mg/L pa se ta vodna tijela svrstavaju u kategorije ekološkog stanja "umjereno dobro", "loše" i "vrlo loše".

Najviša izmjerena koncentracija ukupnog dušika na području Varaždinske županije iznosila je 14,31 mg/L N, dok je na području Krapinsko-zagorske županije najviša zabilježena vrijednost koncentracije iznosila 5,03 mg/L N. Uzroci povećanih koncentracija ukupnog dušika na većini lokacija su prekomjerna upotreba gnojiva na poljoprivrednim zemljištima, budući da gnojiva sadrže nitrata, amonijak, amonij, ureu i amine. Nakon gnojidbe, usjevi apsorbiraju manji dio dodanih dušikovih spojeva, dok ostatak završava u podzemnim i površinskim vodama zbog topljivosti nitrata u vodi. Osim toga, dušik u vodne sustave može dospjeti i ispuštanjem komunalnih i industrijskih otpadnih voda te iz odlagališta otpada.

Koncentracija ukupnog dušika često je povezana

s geografskim obilježjima samih lokacija. U ravničarskim područjima gdje se ljudi intenzivno bave poljoprivredom, vrijednosti dušika u tlu i vodi obično su više zbog česte upotrebe mineralnih i organskih gnojiva. S druge strane, u planinskim ili šumskim predjelima, gdje je ljudski utjecaj manji, koncentracije su najčešće niže. Osim korištenja zemljišta, važnu ulogu imaju i klima, količina padalina te tip tla, jer svi ti faktori utječu na vrijeme zadržavanja dušika u tlu ili ispiranja u podzemne i površinske vode.

Redovito praćenje kakvoće vode ključno je za sprječavanje problema poput onečišćenja, klimatskih promjena, prekomjernog iskorištavanja vode i fizičkih promjena vodnih staništa koje smanjuju dostupnost i kakvoću vode. Kako bi se poboljšala kvaliteta vode, nužno je podizati svijest o odgovornom odlaganju otpada te kontroliranom korištenju pesticida i gnojiva. Postizanje boljih rezultata u zaštiti vode zahtijeva zajednički angažman vodoopskrbnih tvrtki, državnih institucija i pojedinaca. ■

5. LITERATURA

Basu, N. B., Van Meter, K. J., Byrnes, D. K., Van Cappellen, P., Brouwer, R., Jacobsen, B. H., Jarsjö, J., Rudolph, D. L., Cunha, M. C., Nelson, N., Bhattacharya, R., Destouni, G., Olsen, S. B. (2022.). Managing nitrogen legacies to accelerate water quality improvement. *Nature Geoscience*, 15, 97-105.

Chen, K., Yu, S., Ma, T., Ding, J., He, P., Dai, Y., Zeng, G. (2022a). Effects of Water and Nitrogen Management on Water Productivity, Nitrogen Use Efficiency and Leaching Loss in Rice Paddies. *Water*, 14(10), 1596.

Chen, S., Chen, L., Liu, X., Pan, Y., Zhou, F., Guo, J., Huang, T., Chen, F., Shen, Z. (2022b). Unexpected nitrogen flow and water quality change due to varying atmospheric deposition. *Journal of Hydrology*, 609, 127679

Državni hidrometeorološki zavod, https://meteo.hr/klima.php?section=klima_podaci&m=k2_1&Godina=2022

Hou, L., Liu, Z., Zhai, B., Zhu, Y., Xu, X. (2023.). Contrasting water quality in response to long-term nitrogen fertilization in rainfed and irrigated apple-producing regions on China's Loess Plateau. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 354, 108561.

Ecosystems & Environment, 354, 108561.

Hutchings, N. J., Sorensen, P., Marques-dos Santos Cordovil, C., Leip, A., Amon, B. (2020.). Measures to increase the nitrogen use efficiency of European agricultural production. *Global Food Security*, 26, 100381.

Khublaryan, M. G. (2009.). Types and Properties of Water, Surface Waters: Rivers, Streams, Lakes and Wetlands. U: *Encyclopedia of Life Support Systems Vol.1*, UNESCO-EOLSS.

Kiliç, Z. (2020.). The importance of water and conscious use of water. *International Journal of Hydrology*, 4 (5), 239-241.

Kumar, P., Lai S. H., Wong, J. K., Mohd, N. S., Kamal, M. R., Afan, H. A., Ahmed, A. N.,

Sherif, M., Sefelnasr, A., El-Shafie, A. (2020.). Review of Nitrogen Compounds Prediction in Water Bodies Using Artificial Neural Networks and Other Models. *Sustainability*, 12(11), 4359.

Serra, J., Paredes, P., Cordovil C., Cruz, S., Hutchings, N.J., Cameira, M.R. (2023.). Is irrigation water an overlooked source of nitrogen in agriculture? *Agricultural Water Management*, 278, 108147.

Singh, B., Craswell, E. (2021.). Fertilizers and nitrate pollution of surface and ground water: an increasingly pervasive global problem. *SN Applied Sciences*, 3, 518.

Vincek, D., Dukši, I., Ježek Zenkel, N. (2015.). Stanje okoliša Varaždinske županije. *Zbornik radova Međimurskog veleučilišta u Čakovcu*, 6(1) 129-140.

Uredba o standardu kakvoće voda NN 96/2019, NN 20/23, NN 50/23.

Wang, Z. J., Yue, F. J., Wang, Y. C., Qin, C. Q., Ding, H., Xue, L. L., Li, S. L. (2022.). The effect of heavy rainfall events on nitrogen patterns in agricultural surface and underground streams and the implications for karst water quality protection, *Agricultural Water Management*, 266, 107600.

Xie, H., Huang, C., Li, J., Zhang, Y., Xu, X., Liu, D., Ouyang, Z. (2021.). Strong Precipitation and Human Activity Spur Rapid Nitrate Deposition in Estuarine Delta: Multi-Isotope and Auxiliary Data Evidence. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(12), 6221.

DETERMINING TOTAL NITROGEN IN SURFACE WATERS

Abstract: Nitrogen (N_2) is a key nutrient for ecosystem functioning and one of the main limiting factors for its productivity. However, its excessive input, particularly due to anthropogenic activities, can cause adverse consequences, such as soil acidification, eutrophication and reduced biodiversity. High nitrogen concentrations in surface waters are often associated with agricultural and urban sources of pollution. In this study, surface water samples from the Varaždin and Krapina-Zagorje Counties in the period from November 2022 to April 2023 were analysed. The results showed that total nitrogen values were in accordance with regulations at 14 locations, with concentrations in excess of 2.40 mg/L N at the remaining locations, which indicates a possible anthropogenic impact.

Key words: Surface waters, nitrogen, total nitrogen, water quality

BESTIMMUNG DES GESAMTSTICKSTOFFS IN OBERFLÄCHENGEWÄSSERN

Zusammenfassung: Stickstoff (N_2) ist ein wichtiger Nährstoff für das Funktionieren des Ökosystems und einer der wichtigsten limitierenden Faktoren für die Produktivität. Eine übermäßige Aufnahme von Stickstoff, insbesondere durch anthropogene Aktivitäten, kann jedoch negative Folgen haben, wie etwa Bodenversauerung, Eutrophierung und eine Verringerung der Artenvielfalt. Hohe Stickstoffkonzentrationen in Oberflächengewässern werden häufig mit landwirtschaftlichen und städtischen Verschmutzungsquellen in Verbindung gebracht. In dieser Studie wurden Oberflächenwasserproben aus den Gespanschaften Varaždin und Krapina-Zagorje im Zeitraum von November 2022 bis April 2023 analysiert. Die Ergebnisse zeigten, dass an 14 Standorten die Gesamtstickstoffwerte den Vorschriften entsprachen, während an den übrigen Standorten die Konzentrationen 2,40 mg/L N überschritten, was auf einen möglichen anthropogenen Einfluss hindeutet.

Schlüsselwörter: Oberflächengewässer, Stickstoff, Gesamtstickstoff, Wasserqualität