Analiza fizikalno-kemijskih svojstava i mikrobiološkog sastava vode na otoku Visu

Ava Grace Mandić Macneill, 3.razred
Petar Vojković, 3. razred

Srednja škola Antun Matijašević Karamaneo, Vis
Mentor: *Josipa Poduje*

SAŽETAK

Voda je primarna i nezamjenjiva komponenta svih živih sustava i ubraja se među najvažnije prirodne resurse na Zemlji. Dostupnost i kakvoća vode imaju ključnu ulogu u očuvanju zdravlja ljudi i stabilnosti okoliša. Cilj ovog istraživanja bio je utvrditi fizikalno- kemijska svojstva i mikrobiološki sastav vode iz različitih izvora, bunara i javnih zahvata na području otoka Visa. Tijekom istraživanja izvršena su uzorkovanje vode sa pet odabranih lokacija: izvora, bunara i javnih na otoku Visu, primijenjene su laboratorijske analize i izmjereni su koncentracija otopljenog kisika i ugljikova (IV) oksida, ukupna tvrdoća, pH vrijednost, koncentracije fosfata i ostala relevantna fizikalno-kemijska svojstva. Pearsonovim koeficijentom korelacije uspoređeni su fizikalno-kemijski parametri. U istraživanju je i analizirana mikrobiološka ispravnost vode prema važećim standardima, uspoređeni su rezultati između različitih tipova izvora i analizirani mogući rizici za zdravlje. Rezultati su pokazali da analizirani uzorci vode s područja otoka Visa imaju karakteristike tvrde vode, s koncentracijama kalcijevih (Ca^{2+}) i magnezijevih (Mg^{2+}) iona iznad 150 mg/L $CaCO_3$. U uzorcima vode iz skladišnih bunara i izvora u neposrednoj blizini poljoprivrednih površina i naselja nije utvrđena prisutnost fosfata. U uzorcima vode iz plitkih bunara i izvora u urbaniziranim područjima detektirana je prisutnost koliformnih bakterija. Prisustvo *E. coli* je utvrđeno na lokacijama Dragovode (DR) i Austrijski bunar (AB). Rezultati su također pokazali da ne dolazi do prodora morske vode u bunare i izvore. Glavni zaključak istraživanja je da je stanje vode na otoku Visu je stabilno, ali pojedini lokaliteti zahtijevaju pojačan nadzor i sanitarne mjere radi zaštite zdravlja stanovništva.

***Ključne riječi*:** *kakvoća vode; otok Vis; antropogeni utjecaj*

UVOD

Voda je primarna i nezamjenjiva komponenta svih živih sustava i ubraja se među najvažnije prirodne resurse na Zemlji jer omogućuje odvijanje osnovnih bioloških procesa, održavanje ekosustava te razvoj ljudskih zajednica. Dostupnost i kakvoća vode imaju ključnu ulogu u očuvanju zdravlja ljudi i stabilnosti okoliša. Otok Vis smješten je u središnjem dijelu Jadranskoga mora te predstavlja najudaljeniji naseljeni otok u Republici Hrvatskoj. Površina otoka iznosi približno 90 km², a najviši vrh Hum doseže 587 m nadmorske visine. Područje obilježava mediteranska klima s izraženim sušnim ljetima, što dodatno povećava važnost lokalnih vodnih resursa. Geološka građa otoka Visa izrazito je složena te se sastoji od karbonatnih stijena (vapnenaca i dolomita) te vulkanskih stijena, ponajprije andezita i tufova (Kapelj i sur., 2002). Krš nije statičan reljef, već rezultat neprekidne kemijske reakcije između stijene, vode i plinova (kisika i ugljikova (IV) oksida). Osnovne stijene Viškog arhipelaga — vapnenac i dolomit — gotovo su netopive u čistoj vodi. Da bi proces otapanja započeo, vodi je potreban "pogon", a to je ugljikov(IV)oksid. Na otoku Visu hidrogeologija je "bitka" između slatke vode i mora prema Ghyben-Herzbergovom principu slatka voda je lakša i pliva na slanoj u obliku leće. Za svaki 1 metar slatke vode iznad razine mora, ispod razine mora nalazi se oko 40 metara slatke vode. U znanstvenim istraživanjima utvrđeno je da upravo prisutnost nepropusnih vulkanskih stijena predstavlja hidrogeološku barijeru koja omogućuje zadržavanje oborinskih voda unutar propusnih karbonatnih slojeva, a istovremeno čuvaju slatku vodu od miješanja s morem (Surić i Velić, 2004). Kao posljedica takvih geoloških odnosa dolazi do akumulacije slatke vode i pojave prirodnih izvora, osobito na području Komiške uvale (Surić i Velić, 2004). Kemijski sastav podzemnih voda na otoku Visu uvjetovan je litološkim sastavom stijena kroz koje voda prolazi. Istraživanjima je utvrđeno da u vodi dominiraju

Autori zadržavaju autorska prava te časopisu daju pravo prvog objavljivanja rada u skladu s licencijom CC BY 4.0, koja dopušta drugima dijeljenje rada uz navođenje autorstva i izvornog mjesta objavljivanja rada u časopisu.

kalcijevi i bikarbonatni ioni, što je karakteristično za krške akvifere razvijene u vapnencima (Patekar i sur., 2024). Takav sastav uzrokuje povećanu tvrdoću vode, koja nastaje kao posljedica otapanja karbonatnih stijena tijekom infiltracije oborinskih voda (Patekar i sur., 2024). Mjerenja fizikalno-kemijskih parametara izuzetno su važna za cjelovitost istraživanja jer predstavljaju važan čimbenik u procjeni kakvoće pitke vode te analiza svakog od 10 parametara koje mjerimo daje uvid u kemizam vode krškog kraja te specifičnost podzemnih izvora na izoliranim otocima. Na otoku Visu ne postoji povezanost s kopnenim vodoopskrbnim sustavima, zbog čega se cjelokupna opskrba vodom temelji isključivo na lokalnim podzemnim izvorima (Surić i Velić, 2004). Takva hidrološka izoliranost čini vodne resurse otoka posebno osjetljivima na promjene u količini oborina, povećano crpljenje vode te druge antropogene utjecaje (Terzić i sur., 2022). Istraživanja su pokazala da se tijekom ljetnih mjeseci, zbog intenzivnog razvoja turizma, znatno povećava potrošnja vode, što može predstavljati dodatni pritisak na ograničene vodne resurse otoka (Patekar i sur., 2024). Povećani broj turista, izgradnja bazena i veće potrebe za vodom mogu utjecati na kemijski i mikrobiološki sastav pitke vode, osobito u razdobljima smanjene količine oborina. Mikrobiologija voda istražuje mikroorganizme i njihova djelovanja u vodama kao što su jezera, bazeni, rijeke, morski rukavi, mora i oceani. Velik broj bakterija se nalazi u vodi koja je kontaminirana otpadnim vodama ili industrijskim biorazgradivim organskim produktima. U kontaminiranoj vodi najviše se nalaze koliformne bakterije, koje ulaze u skupinu gram negativnih nesporogenih štapića, podrijetlom iz probavnog sustava čovjeka, a to su: *Escherichia coli (E. coli*) i iz roda *Enterobacter*. Koliformi su mikroorganizmi koji se nalaze u probavnom sustavu ljudi i životinja, a koji služe kao indikatori fekalne kontaminacije. Njihova nazočnost u pitkim vodama je u brojevima koji prelaze dopuštenu razinu i time signalizira kontaminaciju fekalnog podrijetla (Duraković i sur.,2002.). Prema važećim standardima tj. prema Pravilniku o parametrima sukladnosti, metodama analiza i monitorinzima vode namijenjene za ljudsku potrošnju Ministarstva zdravstva NN 64/2023 *Escherichia coli* (*E. coli*) i koliformne bakterije ne smiju se nalaziti u vodi namijenjenoj ljudskoj potrošnji.

Svrha i motivacija za provođenje ovog istraživanja je bila osigurati pouzdane podatke o kvaliteti vode na otoku Visu radi zaštite zdravlja lokalnog stanovništva i posjetitelja, podizanja svijesti o važnosti redovite kontrole vode u izoliranim otočnim sustavima te važnosti očuvanja vodnih resursa i održivog upravljanja u uvjetima povećanog antropogenog opterećenja.

Cilj istraživanja je utvrditi fizikalno – kemijska svojstva i mikrobiološki sastav vode iz različitih izvora, bunara i javnih zahvata na području otoka Visa. Specifični ciljevi su: izvršiti terensko uzorkovanje vode iz odabranih izvora i bunara i javnih na otoku Visu, primijeniti laboratorijske analize, izmjeriti ključne parametre kvalitete vode, uključujući: koncentraciju otopljenog kisika i ugljikova (IV) oksida, ukupnu tvrdoću (koncentracije kalcijevih i magnezijevih iona), pH vrijednost, koncentracije fosfata i ostala relevantna fizikalno-kemijska svojstva, utvrditi mikrobiološku ispravnost vode prema važećim standardima te usporediti rezultate između različitih tipova izvora i analizirati moguće rizike za zdravlje.

U skladu s postavljenim ciljevima planiranim istraživanjem testirana je točnost slijedećih hipoteza:

H1: Analizirani uzorci vode s područja otoka Visa pokazati će karakteristike tvrde vode, s koncentracijama kalcijevih (Ca^{2+}) i magnezijevih (Mg^{2+}) iona iznad 150 mg/L $CaCO_3$.

H2: U uzorcima vode iz skladišnih bunara i izvora u neposrednoj blizini poljoprivrednih površina i naselja utvrditi će se prisutnost fosfata i niža koncentracija otopljenog kisika kao dokaz zagađenja.

H3: U uzorcima vode iz plitkih bunara i izvora u urbaniziranim područjima detektirati će se prisutnost koliformnih bakterija.

Rezultati istraživačkog projekta biti će prezentirani učenicima škole i lokalnoj zajednici sa ciljem očuvanja i održivog upravljanja vodnim resursima na otoku.

METODE RADA

Istraživanje je provedeno od 5. listopada 2025. do 17. siječnja 2026. u nekoliko koraka: izbor područja istraživanja, terenski rad, rad u školskom laboratoriju i analiza podataka.

Rad na terenu - Izbor područja istraživanja

Područje istraživanja bile su lokacije na otoku Visu. Istraživanje je provedeno na 5 lokaliteta u suradnji sa Geoparkom Viški arhipelag. Tijekom obilaska područja istraživanja zabilježen je položaj izabranih lokaliteta pomoću GPSMAP 66 prijemnika, a položaj točaka je provjeren na Google Earthu. Izrađena je karta sa lokalitetima (slika 1) i u tablicu 1 unesene vrijednosti geografskih koordinata.



Slika 1 Karta sa lokalitetima: Austrijski bunar (AB), Korita (KO), Dragovode (DR), Kamenice izvor 1 (K1) i Kamenice izvor 2 (K2)

Tablica 1 Geografski položaj istraživanih lokaliteta

Naziv lokacije	Oznaka lokacije	Geografske koordinate lokacije
Austrijski bunar	AB	43°03'36"N 16°10'32"E
Korita	KO	43°03'12"N 16°08'32"E
Dragovode	DR	43°02'21"N 16°05'44"E
Kamenice1	K1	43°02'17"N 16°05'32"E
Kamenice2	K2	43°02'19"N 16°05'28"E

Sakupljanje uzoraka vode na odabranim lokacijama i mjerenje sa kombiniranim ispitivačem HI98129

Sakupljanje uzoraka na terenu je provedeno četiri puta na 5 lokaliteta. Na terenu su sakupljeni uzorci vode u sterilne plastične čašice sa poklopcem. Sa svakog lokaliteta sakupljena su po 3 uzorka vode, uzorci su označeni, a oznake uzoraka upisane u terenski dnevnik. Pomoću mobilnog uređaja Apple iPhone 11 napravljene su fotografije uzorkovanja.

U plastičnu posudicu sa 10 mL uzorka vode uronjen je kombinirani ispitivač HI98129 i očitane su vrijednosti temperature, pH, električne vodljivosti i TDS-a (slika 2).



Slika 2 Mjerenje sa sondom Combo pH/EC (Foto: P.V.)
Autor: Vojković P., 2025.

Rad u školskom laboratoriju

Fizikalno-kemijska analiza uzorka vode provedena je u školskom laboratoriju korištenjem laboratorijskog ruksaka za ispitivanje kvalitete vode Backpack Lab HI3817BP koji sadrži ispitne setove za određivanje zajedničkih parametara u ispitivanju kakvoće vode: kiselost, lužnatost, tvrdoća vode, koncentracija otopljenog kisika, ugljikovog dioksida, nitrata i fosfata. Kombinirani ispitivač HI98129 također je uključen za mjerenje pH, vodljivosti (EC) i ukupne otopljene krute tvari (TDS).

Određivanje fenolnog alkaliteta

U plastičnu posudicu s 5 mL uzorka vode dodana je jedna kap fenolftaleina (indikatora). Promatrana je promjena boje – ako je uzorak ostao proziran, to je bio znak da u vodi nisu prisutni karbonati i hidroksidi, a ako se uzorak obojio u rozo/crveno, to je bio znak da su u vodi prisutni karbonati/hidroksidi – u tom slučaju je bilo potrebno titrirati uzorak s HCl, kap po kap, do nestanka boje (pH ≈ 8,3). Zabilježen je volumen potrošene HCl, vrijednost je pomnožena s faktorom (×300) i dobiven fenolftaleinski alkalinitet u mg/L $CaCO_3$.

Određivanje ukupnog alkaliteta

U plastičnu posudicu s 5 mL uzorka vode dodana je jedna kap indikatora bromfenol plavog. Promatrana je promjena boje uzorka. Ako se uzorak obojao u zeleno ili plavo, provedena je titracija dodavanjem HCl kap po kap uz lagano miješanje. Titracija je nastavljena sve dok boja uzorka nije prešla u žutu, pri čemu je postignuta krajnja točka reakcije (pH ≈ 4,5). Nakon završetka titracije očitan je volumen utrošenog titranta te je pomnožen s faktorom 300 kako bi se odredio ukupni alkalitet izražen u mg/L $CaCO_3$.

Određivanje otopljenog ugljikova dioksida

U plastičnu posudicu dodano je 5 mL uzorka vode te jedna kap fenolftaleinskog indikatora. Uzorak je titriran dodavanjem natrijeva hidroksida kap po kap uz lagano miješanje. Titracija je završena u trenutku kada je uzorak poprimio trajnu ružičastu boju (slika 3). Nakon toga očitan je volumen utrošenog NaOH, a dobivena vrijednost pomnožena je s faktorom 100 kako bi se odredila koncentracija otopljenog ugljikova dioksida u mg/L CO_2.



Slika 3 Određivanje ugljikova dioksida metodom titracije sa NaOH
Autor: Vojković P., 2025.

Određivanje fosfata metodom kolorimetrije

U posudicu s 10 mL uzorka vode dodana je jedna vrećica fosfatnog reagensa. Posudica je zatvorena i sadržaj je miješan sve dok se reagens u potpunosti nije otopio. Dobivena otopina je zatim premještena

u kolor-komparator te ostavljena da stoji jednu minutu kako bi se boja razvila. Nakon isteka vremena boja uzorka uspoređena je s ljestvicom na kolor-komparatoru, a koncentracija fosfata očitana je i zabilježena u mg/L PO_4^{3-}.

Određivanje tvrdoće vode

U plastičnu posudicu s 5 mL uzorka vode dodano je pet kapi pufer otopine za određivanje tvrdoće te jedna do dvije kapi Calmagite indikatora. Otopina je poprimila vino-crvenu boju. Provedena je titracija dodavanjem EDTA otopine kap po kap uz stalno miješanje. Titracija je završena kada je boja uzorka prešla iz vino-crvene u čistu plavu boju (slika 4). Očitan je volumen utrošene EDTA otopine te je pomnožen s faktorom 300 kako bi se izračunala tvrdoća vode izražena u mg/L $CaCO_3$.



Slika 4 Određivanje tvrdoće vode
Autor: Vojković P., 2025.

Određivanje koncentracije otopljenog kisika Winkler jodometrijskom titracijom

Staklena boca je napunjena uzorkom vode do vrha te su dodani 5 kapi manganovog sulfata i 5 kapi alkalnog azidnog reagensa. Boca je zatvorena i nježno miješana dok se nije stvorio talog. Nakon toga dodano je 10 kapi sumporne kiseline te je sadržaj ponovno promiješan. 5 mL smjese prebačeno je u plastičnu posudicu, u koju je dodana jedna kap škrobnog indikatora, pri čemu je uzorak poprimio plavu boju. Provedena je titracija dodavanjem natrijeva tiosulfata kap po kap uz miješanje. Titracija je završena kada je plava boja prešla u blijedo žutu (slika 5). Očitan je volumen utrošenog titranta te je pomnožen s faktorom 10 kako bi se odredila koncentracija topljivog kisika u mg/L O_2.



Slika 5 Winkler jodometrijska titracija
Autor: Vojković P., 2025.

Određivanje metil-orange i ukupne kiselosti

U posudicu s 5 mL uzorka vode dodana je 1 kap deklorirajućega reagens i 1 kap bromfenol plavi indikatora. Ako je uzorak bio zelene ili plave boje, zaključeno je da metil-orange kiselost nije prisutna. Ako je uzorak bio žute boje, provedena je titracija natrijevim hidroksidom do promjene boje u

zelenkastu. Očitan je volumen titranta te je pomnožen s faktorom 500. Za određivanje ukupne kiselosti dodana je 1 kap fenolftaleinskog indikatora, a titracija je provedena do pojave ružičaste boje (slika 6). Nakon završetka postupka očitan je volumen utrošenog titranta i pomnožen s faktorom 500, čime je dobivena ukupna kiselost izražena u mg/L $CaCO_3$.



Slika 6 Određivanje metil-orange i ukupne kiselosti
Autor: Vojković P., 2025.

Mikrobiološka analiza uzoraka vode metodom membranske filtracije

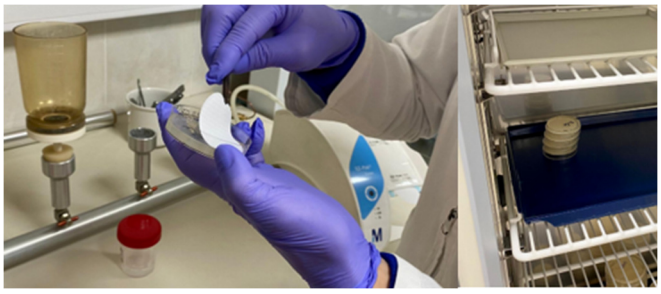
Uzorci vode na terenu su sakupljeni u sterilizirane plastične posudice. Uzorci su transportirani u rashlađenom spremniku (4 °C). Analiza je provedena u Nastavnom zavodu za javno zdravstvo u Splitu na Odsjeku za mikrobiološku analizu voda metodom membranske filtracije. Membranska filtracija se pokazala kao najbolja metoda za mikrobiološku analizu voda jer je jednostavna, praktična, ekonomična, ponovljiva i omogućava kvantitativno određivanje mikroorganizama. Temelji se na koncentraciji mikroorganizama iz većeg uzorka na površini membranskog filtera, te nacjepljivanje ovih mikroorganizama na hranjivu podlogu. Na površini membranskog filtera se razvijaju kolonije koje se tijekom inkubacije broje i preračunavaju s obzirom na volumen uzorka. Optimalnim rezultatom smatra se rast od 20 do 60 bakterija na filteru, a ako je broj izraslih bakterija veći, uzorak je potrebno razrijediti i postupak ponoviti (Duraković i Duraković, 1997).

Boca s uzorkom vode dobro je protresena kako bi se sadržaj homogenizirao. Pomoću vakuum pumpe filtriran je odgovarajući volumen uzorka kroz membranski filter veličine pora 0,45 µm (slika 7).



Slika 7 Uređaj za membransku filtraciju
Autor: Vojković P., 2025.

Sterilnom pincetom membranski filter je bez preokretanja položen na CHROM agar (kromogena podloga za uzgoj koliforma i *Escherichia coli*) i inkubiran na (36 ± 2) °C; (21 ± 3) h (slika 8).



Slika 8 Polaganje membranskog filtera na CHROM agar i inkubacija podloge
Autor: Vojković P., 2025.

Tipične β-D-galaktozidaza pozitivne kolonije (ružičaste) ispitane su komercijalnim testom na citokrom oksidazu. Za test se uzeto najmanje 10 tipičnih kolonija. Kolonije su presijane na TSA agar (tripton soja agar) i nakon inkubacije na (36 ± 2) °C kroz (21 ± 3) h testirane na citokrom oksidazu. Tipične β-D-galaktozidaza pozitivne kolonije, koje su citokrom oksidaza negativne, brojane su kao koliformi (β-D-galaktozidaza pozitivne bakterije iz porodice Enterobacteriaceae). Sve β-D-galaktozidaza i β-D-glukuronidaza pozitivne kolonije (ljubičasto-modre) brojene su kao *Escherichia coli* (β-D-galaktozidaza i β-D-glukuronidaza pozitivne bakterije iz porodice Enterobacteriaceae).

Statistička obrada rezultata

Sve dobivene vrijednosti statistički su obrađene.

Aritmetička sredina (X) je srednja vrijednost koja se dobiva zbrajanjem vrijednosti članova skupine i dijeljenjem zbroja s brojem pribrojnika.

X = (x1 + x2 + … + xn)/n,

Standardna devijacija (uzorka) je mjera varijabilnosti koja pokazuje koliko se pojedinačne vrijednosti razlikuju od aritmetičke sredine.

Standardna devijacija (standardno odstupanje) (znak σ), prosječno srednje kvadratno odstupanje numeričkih vrijednosti neke veličine x1, x2, …, xN od njihove aritmetičke sredine X.

Izračunata je pomoću formule:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})^2}$$

Povezanost između parametara procijenjena je korištenjem Pearsonovog koeficijenta korelacije. Pearsonov koeficijent linearne korelacije (r) mjeri jakost i smjer linearne korelacije, tj. vjerojatnost da vrijednosti jedne statističke varijable odgovara određena vrijednost druge statističke varijable pri izravnoj ili recipročnoj razmjernosti.

$$r = \frac{n(\sum x_i y_i) - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{[n\sum(x_i)^2 - (\sum x_i)^2][n\sum(y_i)^2 - (\sum y_i)^2]}}$$

, gdje su xi i yi uspoređivane vrijednosti varijable, n broj uspoređivanih vrijednosti, i = 1, 2, …, n, a ∑ znak za zbroj niza podataka.

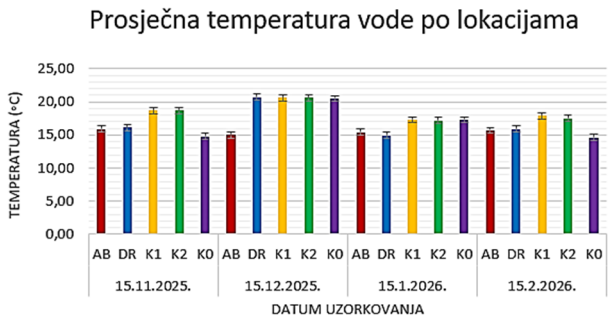
Proveden je i t-test, statistička metoda za utvrđivanje postoji li statistički značajna razlika između aritmetičkih sredina dviju skupina podataka, a temelji se na omjeru razlike sredina i standardne pogreške te razlike.

REZULTATI

Analizom fizikalno-kemijskih svojstva uzoraka vode dobiveni su slijedeći rezultati.

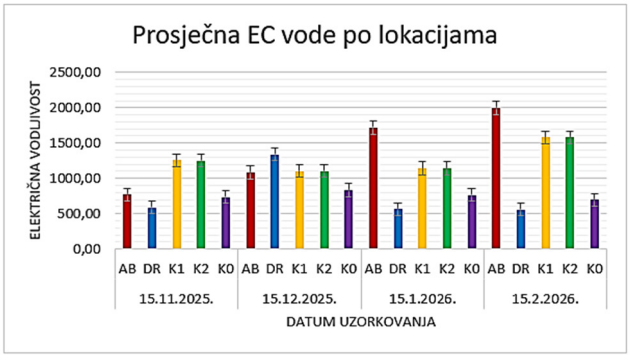
Određivanjem fosfata metodom kolorimetrije na nijednoj od lokacija nije utvrđeno prisustvo fosfata.

Na slici 9 su vidljive najniže vrijednosti temperature zabilježene na lokaciji Austrijski bunar (AB) i najviše vrijednosti temperature, zabilježene na lokaciji Kamenice 1 (K1). Najniže temperature na svim lokacijama zabilježene su u veljači, a najviše u prosincu.



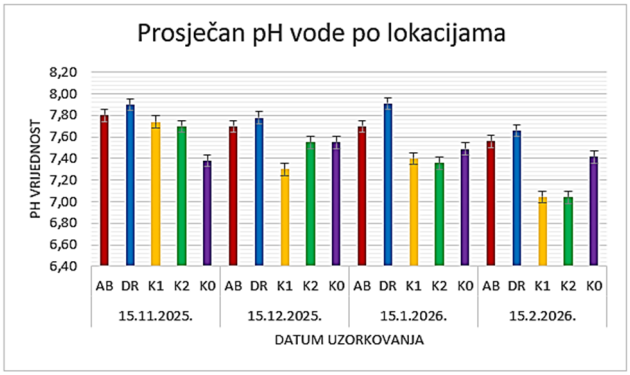
Slika 9 Prosječna vrijednost temperature po lokacijama

Na slici 10 su vidljive najniže vrijednosti električne vodljivosti, zabilježene na lokaciji Dragovode (DR) i najviše vrijednosti električne vodljivosti, zabilježene na lokaciji Austrijski bunar (AB). Najmanja vrijednost električne vodljivosti zabilježena je u studenom, a najveća u veljači.



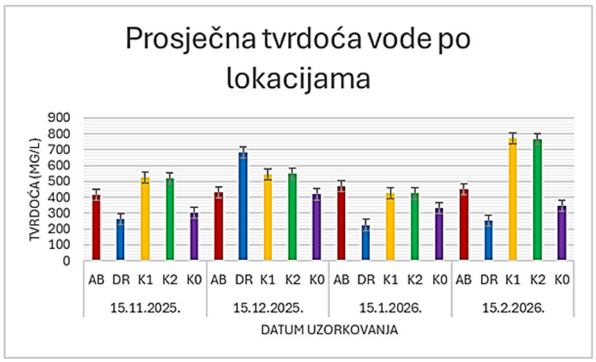
Slika 10 Prosječna vrijednost električne vodljivosti vode po lokacijama

Na slici 11 su vidljive najniže pH vrijednosti, zabilježene na lokaciji Kamenice 2 (K2) i najviše pH vrijednosti, zabilježene na lokaciji Dragovode (DR). Najmanja pH vrijednost zabilježena je u veljači, a najveća u studenom.



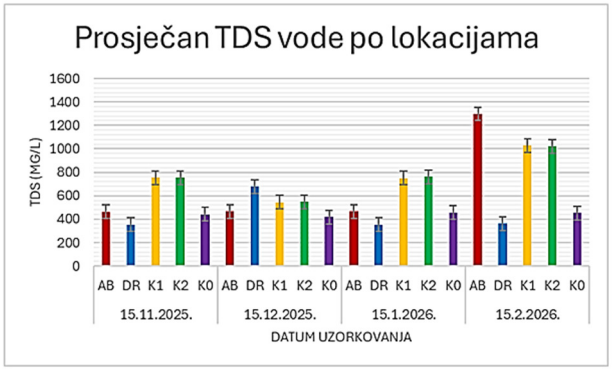
Slika 11 Prosječna pH vrijednost vode po lokacijama

Na slici 12 su vidljive najniže vrijednosti tvrdoće vode, zabilježene na lokaciji Dragovode (DR) i najveće vrijednosti tvrdoće vode, zabilježene na lokaciji Kamenice 1 (K1). Najmanja pH vrijednost zabilježena je u siječnju, a najviša u prosincu.



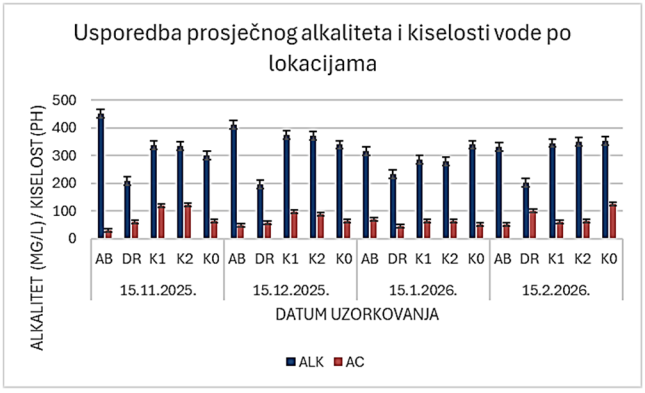
Slika 12 Prosječna vrijednost tvrdoće vode po lokacijama

Na slici 13 su vidljive najniže vrijednosti TDS-a vode, zabilježene na lokaciji Dragovode (DR) i najveće vrijednosti TDS-a vode, zabilježene na lokaciji Kamenice 2 (K2). Najmanja vrijednost TDS-a vode zabilježena je u siječnju, a najviša u veljači.



Slika 13 Prosječna vrijednost TDS-a vode po lokacijama

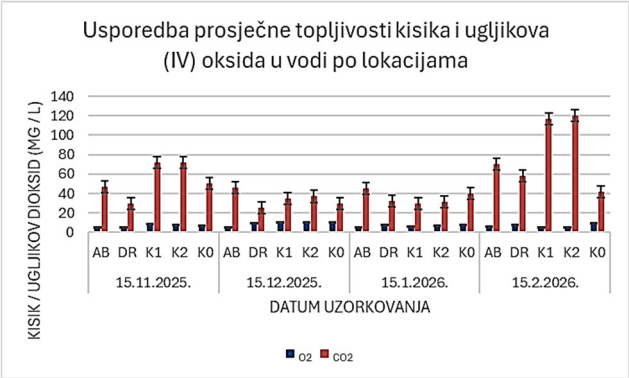
Na slici 14 su vidljive usporedbe vrijednosti prosječnog alkaliteta i kiselosti vode, najniže vrijednosti zabilježene na lokaciji Dragovode (DR) dok su najviše zabilježene na lokaciji Kamenice 1 (K1). Najniže vrijednosti prosječnog alkaliteta i kiselosti vode zabilježene su u siječnju, a najviše u prosincu.



Slika 14 Usporedba prosječnih vrijednosti alkaliteta i kiselosti vode po lokacijama

Na slici 15 su vidljive usporedbe prosječnih vrijednosti topljivosti kisika i ugljikova (IV) oksida u vodi, najniže vrijednosti zabilježene su na lokaciji Dragovode (DR), a najviše na lokaciji Kamenice 2 (K2).

Najniže vrijednosti prosječne topljivosti kisika i ugljikova (IV) oksida zabilježene su u siječnju, a najviše u veljači.



Slika 15 Usporedba prosječnih vrijednosti topljivosti kisika i ugljikova (IV) oksida u vodi po lokacijama

U tablici 1 Pearsonov koeficijent korelacije između električne vodljivosti i tvrdoće iznosi r= 0,842. Kritična vrijednost iz t-distribucije za odabranu razinu značajnosti ($p < 0,05$) iznosi 0,576. Izračunata t-vrijednost prelazi kritičnu vrijednost, što upućuje na statistički značajan rezultat.

Tablica 1 Pearsonov koeficijent korelacije između električne vodljivosti i tvrdoće

	EL. VODLJIVOST µS/cm	TVRDOĆA mg/LCaCO3	PEARSONOV KOEFICIJENT KORELACIJE
15.11.2025.	771	414	0,842
15.12.2025.	1083	432	
15.01.2026.	1719	471	
15.02.2026.	1997	450	

U tablici 2 Pearsonov koeficijent korelacije između pH i aciditeta vode iznosi r = -0,41 pokazuje trend pada, ali ne možemo govoriti o značajnoj povezanosti za vrijednosti ($p < 0,05$).

Tablica 2 Pearsonov koeficijent korelacije između pH i aciditeta vode

	pH	ACIDITET mg/LCaCO3	PEARSONOV KOEFICIJENT KORELACIJE
15.11.2025.	7,7	47	-0,41
15.12.2025.	7,8	30	
15.01.2026.	6,9	70	
15.02.2026.	7,56	100	

U tablici 3 Pearsonov koeficijent korelacije između temperature vode i topljivosti CO_2 iznosi r= -0,141 pokazuje trend pada, ali ne možemo govoriti o značajnoj povezanosti za vrijednosti ($p < 0,05$).

Tablica 3 Pearsonov koeficijent korelacije između temperature vode i topljivosti CO_2

	TEMPERATURA °C	TOPLJIVOST CO_2 mg/L	PEARSONOV KOEFICIJENT KORELACIJE
15.11.2025.	15,9	46	-0,141
15.12.2025.	15	47	
15.01.2026.	15,4	45	
15.02.2026.	15,3	70	

U tablici 4 Pearsonov koeficijent korelacije između pH vode i topljivosti CO_2 iznosi r = 0,176 pokazuje trend rasta, ali ne možemo govoriti o značajnoj povezanosti za vrijednosti ($p < 0,05$).

Tablica 4 Pearsonov koeficijent korelacije između pH vode i topljivosti CO_2

	pH	TOPLJIVOST CO_2 mg/L	PEARSONOV KOEFICIJENT KORELACIJE
15.11.2025.	7,7	46	0,176
15.12.2025.	7,8	47	
15.01.2026.	6,9	45	
15.02.2026.	7,56	70	

U tablici 5 Pearsonov koeficijent korelacije između pH vode i alkaliteta iznosi r = 0,801 što pokazuje da je dobivena korelacija statistički značajna (p < 0,05).

Tablica 5 Pearsonov koeficijent korelacije između pH vode i alkalitet

	pH	ALKALITET mg/LCaCO3	PEARSONOV KOEFICIJENT KORELACIJE
15.11.2025.	7,7	410	0,801
15.12.2025.	7,8	450	
15.01.2026.	6,9	315	
15.02.2026.	7,56	330	

Rezultati mikrobiološke analize uzoraka vode

Nakon mikrobiološke analize uzoraka vode dobiveni su slijedeći rezultati.

U tablici 6 vidljivo je da su na svim lokacijama uočene koliformne bakterije, a na lokaciji Dragovode (DR) ima ih u prevelikom broju da se ne mogu ni prebrojati dok je najmanje kolonija koliformnih bakterija uočeno je na lokaciji Korita (KO). *E.coli* je utvrđena na lokacijama Dragovode (DR) i Austrijski bunar (AB).

Tablica 6 Mikrobiološki pokazatelji (CFU) za uzorke vode s različitih lokacija, 15.11.2025.

Lokacija uzorkovanja	E. coli (CFU/100 mL)	Koliformne bakterije (CFU/100 mL)
Korita (KO)	0	1
Kamenice 1 (K1)	0	70
Kamenice 2 (K2)	0	15
Dragovode (DR)	3	nebrojivo kolonija
Austrijski bunar (AB)	2	91

U tablici 7 vidljivo je da je na lokaciji Dragovode (DR) prevelik broj kolonija koliformnih bakterija da se ne mogu ni prebrojati dok na lokacijama Korita (KO) i Kamenice 2 (K2) nisu utvrđene kolonije koliformnih bakterija.. E.coli je utvrđena na lokacijama Dragovode (DR) i Austrijski bunar (AB).

Tablica 7 Mikrobiološki pokazatelji (CFU) za uzorke vode s različitih lokacija, 15.02.2026.

Lokacija uzorkovanja	E. coli (CFU/100 mL)	Koliformne bakterije (CFU/100 mL)
Korita (KO)	0	0
Kamenice1 (K1)	0	2
Kamenice 2 (K2)	0	0
Dragovode (DR)	2	nebrojivo kolonija
Austrijski bunar (AB)	2	91

RASPRAVA

Analizom fizikalno-kemijskih svojstava vode na više lokacija uočene su jasne prostorne i vremenske razlike koje ukazuju na specifične hidrogeološke i okolišne uvjete pojedinih izvorišta. Rezultati pokazuju da se parametri poput temperature, električne vodljivosti, pH vrijednosti, tvrdoće, TDS-a, alkaliteta, kiselosti te topljivosti plinova u vodi mijenjaju u skladu s lokalnim karakteristikama terena, ali i sezonskim utjecajima.

Najniže temperature zabilježene su na lokaciji Austrijski bunar (AB), a najviše na Kamenicama 1 (K1). Ovakve razlike u skladu su s radom Bonacci (2015), koji navodi da podzemne vode u kršu pokazuju manju temperaturnu varijabilnost od površinskih, ali da plića ili brže obnavljajuća izvorišta mogu imati veće sezonske oscilacije. Najniže vrijednosti u veljači i najviše u prosincu odražavaju lokalne hidrološke uvjete i eventualno miješanje podzemnih i površinskih voda.

Električna vodljivost pokazala je najveće vrijednosti na lokaciji AB, što sugerira veću koncentraciju otopljenih iona, vjerojatno zbog geološkog sastava podzemlja ili duljeg kontakta vode s mineralima. Najniže vrijednosti na Dragovodama (DR) ukazuju na manju mineralizaciju. Sezonski maksimum u veljači može biti posljedica manjeg razrjeđenja oborinskom vodom, dok je minimum u studenom vjerojatno povezan s povećanim dotokom kišnice.

Najniže pH vrijednosti izmjerene su na Kamenicama 2 (K2), dok su najviše zabilježene na DR. Ove razlike mogu biti posljedica različitih karbonatnih sastava tla ili prisutnosti organskih tvari. Najniži pH u veljači može se povezati s povećanim unosom CO_2 u hladnijoj vodi, dok je najviši pH u studenom vjerojatno rezultat smanjenog sadržaja otopljenog CO_2.

Analizirani uzorci vode s područja otoka Visa pokazali će karakteristike tvrde vode, s koncentracijama kalcijevih (Ca^{2+}) i magnezijevih (Mg^{2+}) iona iznad 150 mg/L $CaCO_3$ što je potvrdilo prvu hipotezu. Tvrdoća je bila najniža na DR, što je u skladu s nižom električnom vodljivošću i manjom koncentracijom mineralnih iona. Najveće vrijednosti tvrdoće na K1 upućuju na povećanu prisutnost kalcijevih i magnezijevih iona, što je karakteristično za karbonatne terene. Sezonski minimum u siječnju i maksimum u prosincu mogu se povezati s promjenama u dotoku i miješanju podzemnih voda. Najniži TDS na DR i najviši na K2 potvrđuju trendove uočene kod vodljivosti i tvrdoće. Ovakva povezanost dobro je dokumentirana u radu Hem (1985), koji navodi da TDS i električna vodljivost gotovo linearno rastu s koncentracijom otopljenih iona. Sezonske promjene (minimum u siječnju, maksimum u veljači) odražavaju hidrološke uvjete i dotok oborinskih voda. Najniže vrijednosti alkaliteta i kiselosti na DR te najviše na K1 u skladu su s geokemijskim karakteristikama lokacija. Prema Chapman (1996), alkalitet je snažno povezan s karbonatnim sustavom i pH vrijednošću, što potvrđuje i statistički značajna korelacija u ovom istraživanju.

Najniže vrijednosti topljivosti oba plina zabilježene su na DR, dok su najviše na K2. Ovi rezultati mogu odražavati razlike u temperaturi, protoku i biološkoj aktivnosti. Najniže vrijednosti u siječnju te najviše u veljači odgovaraju očekivanim fizikalnim zakonitostima, hladnija voda bolje otapa plinove.

Fosfati su indikatori onečišćenja oni ne dolaze iz stijene, već iz septičkih jama ili poljoprivrede. Nisu pronađeni ni na jednoj od lokacija što pokazuje su istraživane lokacije nisu onečišćene što je opovrglo našu drugu hipotezu. Korelacijska analiza dodatno je rasvijetlila odnose među parametrima.

Električna vodljivost i tvrdoća ($r = 0,842$), za koje je utvrđena jaka statistički značajna pozitivna korelacija, potvrđuje da povećanje koncentracije iona u vodi izravno povećava i tvrdoću. Ovaj rezultat je u skladu s poznatim hidrogeokemijskim procesima. Ako EC raste zajedno s tvrdoćom, voda prirodno otapa vapnence ili dolomite, ako EC raste, a tvrdoća stoji ili pada to pokazuje prodor mora. Morska sol (NaCl) podiže vodljivost, ali ne i tvrdoću. Korelacija između pH i aciditeta ($r = –0,41$) pokazuje da postoji negativan trend, ali povezanost nije statistički značajna. To znači da promjene pH vrijednosti nisu dovoljno velike ili konzistentne da bi se odrazile na aciditet u mjeri koja bi bila statistički potvrđena.

Korelacija između temperature i topljivosti CO_2 ($r = –0,141$) je slaba negativna korelacija, bez statističke značajnosti, što ukazuje da temperatura nije bila glavni čimbenik koji određuje topljivost CO_2 u analiziranim uzorcima, iako fizikalno-kemijski zakoni sugeriraju da bi topljivost trebala opadati s porastom temperature. Slaba pozitivna korelacija između pH i topljivosti CO_2 ($r = 0,176$) nije statistički značajna, što je u skladu s literaturom koja navodi da su promjene pH u prirodnim vodama često amortizirane karbonatnim puferom. Korelacija između pH i alkaliteta ($r = 0,801$) je jaka i statistički značajna korelacija i u skladu je s radom Chapman (1996) koji potvrđuju da alkalitet raste s povećanjem

pH zbog dominacije bikarbonatnih i karbonatnih iona. Voda s visokim alkalitetom je stabilna. Čak i ako u nju uđe mala količina kiseline, pH se neće značajno promijeniti.

Mikrobiološka analiza uzoraka vode prikupljenih u studenom 2025. i veljači 2026. pokazala je jasne razlike među lokacijama, ali i određene sezonske promjene u prisutnosti indikatorskih bakterija. Rezultati ukazuju na to da pojedina izvorišta pokazuju stabilnu mikrobiološku kvalitetu, dok su druga podložna fekalnom onečišćenju ili povećanom unosu površinskih voda. Nazočnost koliformnih bakterija u pitkim vodama u brojevima koji prelaze dopuštenu razinu signalizira kontaminaciju fekalnog podrijetla (Duraković i sur., 2002). Koliformne bakterije detektirane su na gotovo svim lokacijama u studenom 2025., pri čemu je najniža vrijednost zabilježena na lokaciji Korita (KO), dok je na lokaciji Dragovode (DR) broj kolonija bio toliko visok da nije bilo moguće izvršiti precizno brojanje. Ovakav rezultat upućuje na značajan unos površinskih ili otpadnih voda u sustav Dragovoda, što može biti posljedica hidrogeološke propusnosti terena, blizine antropogenih izvora onečišćenja ili intenzivnih oborina u razdoblju prije uzorkovanja. U veljači 2026. situacija se djelomično poboljšava na većini lokacija: na KO i K2 koliformne bakterije nisu detektirane, dok je na K1 zabilježen vrlo nizak broj kolonija. Međutim, lokacija DR ponovno pokazuje izrazito visok broj koliformnih bakterija, što ukazuje na trajni problem mikrobiološke kontaminacije. Ovakva stabilnost visokih vrijednosti sugerira da je izvor onečišćenja kontinuiran, a ne sezonski. *E. coli*, kao najvažniji pokazatelj fekalnog onečišćenja, detektirana je samo na dvjema lokacijama: Dragovode (DR) i Austrijski bunar (AB), i to u oba razdoblja uzorkovanja. U studenom 2025. na DR je izmjereno 3 CFU/100 mL, a na AB 2 CFU/100 mL. U veljači 2026. vrijednosti ostaju iste na AB, dok na DR blago padaju na 2 CFU/100 mL. Prisutnost *E. coli* na ovim lokacijama ukazuje na fekalnu kontaminaciju, što može biti posljedica infiltracije otpadnih voda, pukotina u vodovodnom sustavu, ispiranja površinskih slojeva tla ili blizine septičkih jama. Posebno zabrinjava činjenica da se *E. coli* pojavljuje u oba razdoblja, što upućuje na trajni rizik, a ne na izolirani incident. U ovom istraživanju dva puta su vršena uzorkovanja za mikrobiološku analizu za detaljniju analizu u budućim istraživanjima trebalo bi napraviti uzorkovanja više puta godišnje i u različitim sezonama. Takav pristup bi osigurao pouzdane podatke o kvaliteti vode na otoku Visu radi zaštite zdravlja lokalnog stanovništva i posjetitelja, podizanja svijesti o važnosti redovite kontrole vode u izoliranim otočnim sustavima te važnosti očuvanja vodnih resursa i održivog upravljanja u uvjetima povećanog antropogenog opterećenja.

ZAKLJUČCI

Na osnovu rezultata istraživanja mogu se donijeti sljedeći zaključci:

- analizirani uzorci vode s područja otoka Visa imaju karakteristike tvrde vode, s koncentracijama kalcijevih (Ca^{2+}) i magnezijevih (Mg^{2+}) iona iznad 150 mg/L $CaCO_3$;
- u uzorcima vode iz skladišnih bunara i izvora u neposrednoj blizini poljoprivrednih površina i naselja nije utvrđena prisutnost fosfata;
- pH se kreće u intervalu od 7,039 – 7,912;
- utvrđena je pozitivna korelacija između električne vodljivosti i tvrdoće vode što ukazuje da ne dolazi do prodora morske vode u bunare i izvore;
- utvrđena je pozitivna statistički značajna korelacija između pH i alkaliteta;
- u uzorcima vode iz plitkih bunara i izvora u urbaniziranim područjima detektirana je prisutnost koliformnih bakterije;
- prisustvo *E.coli* je utvrđeno na lokacijama Dragovode (DR) i Austrijski bunar (AB);

- stanje vode na otoku Visu je stabilno, ali pojedini lokaliteti zahtijevaju pojačan nadzor i sanitarne mjere radi zaštite zdravlja stanovništva.

LITERATURA

Bonacci O. 2015. Karst hydrogeology/hydrology of dinaric chain and isles. Environmental Earth Sciences 74(1): 37–55.
Chapman D. 1996. Water quality assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring (2nd ed.). UNESCO/WHO/UNEP.
Duraković S, Delaš F, Stilinović B., Duraković L. 2002. Moderna mikrobiologija namirnica-knjiga prva. Kugler, Zagreb.
Duraković S., Duraković L. 1997. Priručnik za rad u mikrobiološkom laboratoriju, I.dio-knjiga prva. Biblioteka udžbenici i priručnici Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
Hem J. D. 1985. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water (3rd ed.). U.S. Geological Survey.
Patekar, K., Briški M., Terzić J., Nakić Z., Borović S. 2024. Cumulative effects of natural and anthropogenic processes on groundwater chemistry of a small karst island—case study of Vis (Croatia). Applied Water Science 14: 214.
Surić B., Velić J. 2004. Hydrogeological relations on karstified islands – Vis island case study. Rudarsko-geološko-naftni zbornik. https://hrcak.srce.hr/13360, pristupljeno 10. 12.2025.
Kapelj J., Terzić J., Kapelj S., Dolić M. 2002. Recent hydrogeologic study of the Vis island. Geologija 45(2): 419–426.
Terzić J., Frangen T., Borović S., Reberski J. L., Patekar M. 2022. Hydrogeological assessment and modified conceptual model of a Dinaric karst island aquifer (Vis Island). Water 14(3): 404.