

SLABŠANJE KAKOVOSTI VODE V KAMNIŠKI BISTRICI PO TOKU REKE NAVZDOL

GEOGRAFIJA

RAZISKOVALNA NALOGA

KAJA BERK SKOK

4MM

MARJETA VIDMAR

2023/2024

GIMNAZIJA BEŽIGRAD

Kazalo

UVOD.....	3
RAZISKOVALNO VPRAŠANJE.....	3
HIPOTEZA.....	3
METODOLOGIJA	3
KAKOVOST VODE	5
BRADSHAWOV MODEL.....	6
SPLOŠNE ZNAČILNOSTI REKE KAMNIŠKE BISTRICE	7
REZULTATI	16
ODDALJENOST OD IZVIRA, URBANIZACIJE IN KMETIJSTVA	16
NORMALIZACIJA IN SESTAVLJENI INDEKS KAKOVOSTI VODE.....	19
SPERMANOV KOEFICIENT (vzorčni IZRAČUNI V PRILOGI)	21
ODDALJENOST OD IZVIRA	22
URBANIZACIJA	22
KMETIJSTVO.....	23
INDUSTRIJSKE DEJAVNOSTI	24
HOLISTIČNA ANALIZA IN RAZPRAVA	26
VPRAŠALNIK.....	30
ZAKLJUČEK	33
OMEJITVE.....	33
RAZŠIRITVE.....	34
VIRI.....	34
PRILOGA.....	37
GRAFI KONCENTRACIJ TOPLJENCEV ZA DRUGE NEODVISNE SPREMENLJIVKE	37
GRAFI REZULTATOV KAKOVOSTI VODE ZA DRUGE NEODVISNE SPREMENLJIVKE..	39
IZRAČUN VZORCA SPEARMANJEVEGA KOEFICIENTA	40
VZOREC VPRAŠALNIKA	41

UVOD

Kamniška Bistrica (KB) je že dolgo priznana kot ena najbolj kakovostnih slovenskih rek. V zgornjem toku se uporablja kot vir pitne vode – sploh v občini Kamnik. (13) Žal se njena kakovost v spodnjem toku močno poslabša. S primerjavo kakovosti sestave vode v zgornjem toku, kjer je prisotnih malo onesnažujočih antropogenih dejavnikov, s sestavo vode v spodnjem toku, na visoko urbaniziranih, industrializiranih in kmetijsko aktivnih območjih, je mogoče sklepati o negativnem vplivu omenjenih antropogenih dejavnosti na njeno kakovost. Tovrstne ugotovitve predstavljajo ključen korak k razvoju zaščitnih metod za ohranitev njene kakovosti v prihodnosti.

RAZISKOVALNO VPRAŠANJE

V kolikšni meri povečanje urbanizacije, kmetijstva in industrije v srednjem in spodnjem toku reke Kamniške Bistrice vplivajo na poslabšanje kakovosti vode po toku navzdol?

HIPOTEZA

Kakovost vode KB se po toku navzdol slabša zaradi naraščajočih obremenitev, predvidenih z Bradshawovim modelom, in antropogenih dejavnosti v njeni bližini – predvsem naraščajoče urbanizacije skupaj s kmetijstvom in industrijo.

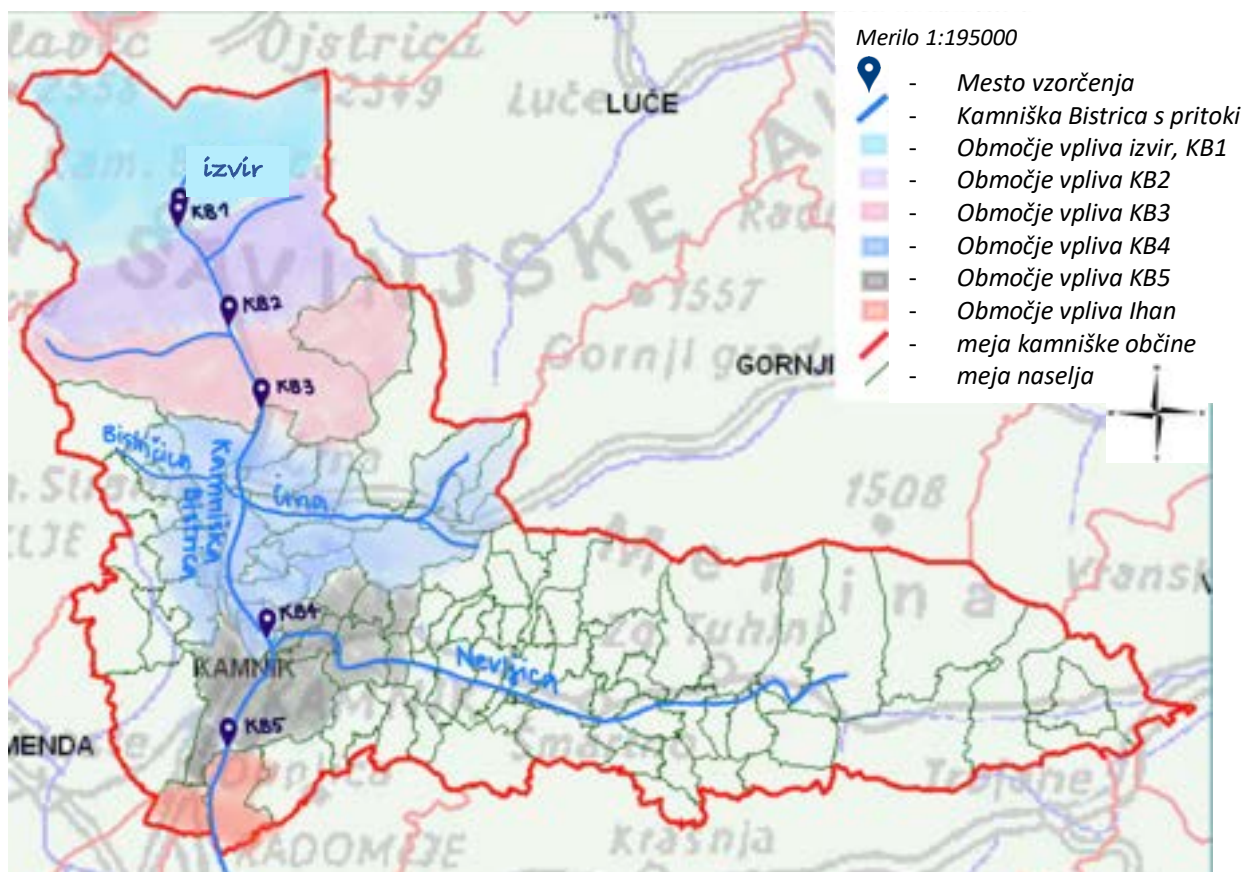
METODOLOGIJA

Osnovni podatki o organski, kemijski vsebnosti in fizikalnih lastnostih vode v KB izvirajo iz dveh virov; raziskovalne naloge Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani (34) in arhiva monitoringa voda Agencije RS za okolje – ARSO. (1) Oba niza podatkov sta bila pridobljena z isto metodo testiranja sestave vode na več mestih vzorčenja ob rečnem toku, vendar pa sta se njihova natančnost in časovni okvir merjenja nekoliko razlikovala. Podatki so bili obdelani z uporabo Excela, grafično prikazani in testirani na korelacijo z različnimi neodvisnimi spremenljivkami z uporabo Spearmanovega koeficienta.

Številčne vrednosti neodvisnih spremenljivk, ki so omogočale izvedbo statističnih testov, so bile pridobljene z več pristopi.

Razdalja po reki navzdol do vsakega mesta vzorčenja je bila ocenjena s sledenjem rečnega toka, od izvira do posameznega mesta vzorčenja z uporabo merilnega orodja v Google Zemljevidih. (10)

Pri izračunu gostote prebivalstva, odstotka poselitve in odstotka pridelovalnih površin so bila opazovana le območja med opazovanimi in prejšnjimi mesti vzorčenja v povodju glavnega toka KB, saj se je bilo privzeto, da ti najbolj pomembno vplivajo na kakovost vode na opazovanem mestu vzorčenja (na primer: za KB4 je bilo opazovano območje obarvano s temno modro).

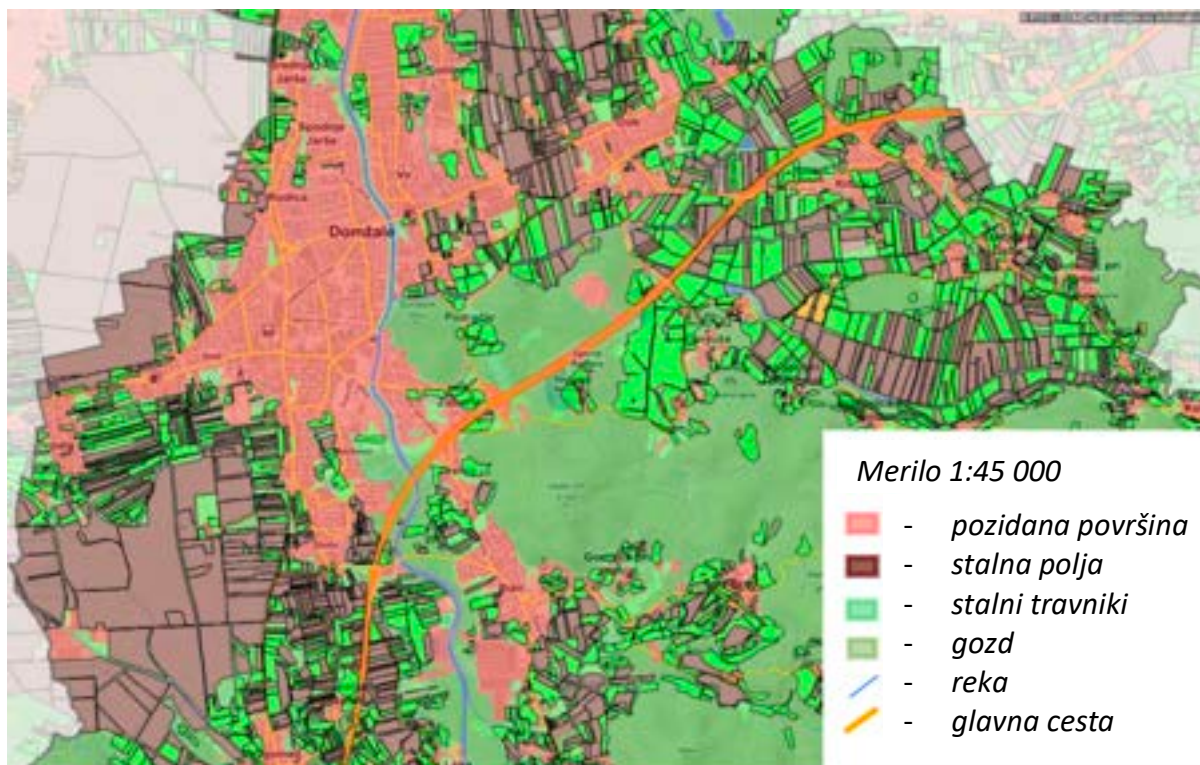


Slika 1 - Vzorčni zemljevid občine Kamnik, ki prikazuje območja, vključena v izračune gostote prebivalstva, odstotek pozidanosti in površine polja za vsako vzorčno mesto; povzeto po <https://www.kam.si/obcina-kamnik/> (Občina Kamnik, 2006)

Obseg urbanizacije sta določala dva parametra – gostota prebivalstva in odstotek pozidanosti površine. Povprečne gostote prebivalstva zelenih območij sem izračunala tako, da sem identificirali vsa naselja na opazovanem območju, v vsakem ugotovila število prebivalcev (14), dobljeno seštela in delila s skupno opazovano površino, saj je

$$\text{gostota prebivalstva} = \frac{\text{št. prebivalcev}}{\text{skupna opazovana površina}}$$

Podobno sta bila izračunana odstotek pozidane in pridelovalne površine - skupne pozidane površine ali površine pridelovalnih zemljišč so bile izmerjene z uporabo zemljevidov PISO (28) in deljene s skupno opazovano površino, saj je $\% \text{ pozidane površine} = \frac{\text{pozidana površina}}{\text{skupna opazovana površina}}$ in $\% \text{ pridelovalne površine} = \frac{\text{pridelovalna površina}}{\text{skupna opazovana površina}}$. Kot pridelovalne površine so bile vključene vse stalne pridelovalne površine in stalni travniki vključno s travniki na Veliki planini z dolgoletno planšarsko tradicijo, ki pomembno vpliva na kakovost vode.



Slika 2 - Vzorec zemljevida rabe prostora Domžale, uporabljen za izračun odstotka pozidanosti in površine polja; povzeto po <https://www.geoprostor.net/piso/ewmap.asp?obcina=domzale> (PISO – Domžale, 2023)

Izvedena je bila tudi kratka ustna anketa, ki nudi pomemben vpogled v zazanave, mnenja in odnos 50 prebivalcev opazovanih območij do kakovosti vode v KB.

Med izdelavo raziskovalne naloge in pri za prikaz njenih ugotovitev je bilo uporabljenih več geografskih veščin - kot so kartiranje, risanje reliefnih profilov in fotografiranje terena - z namenom boljše vizualne predstavitve proučevane problematike.

KAKOVOST VODE

Kakovost vode se nanaša na primernost vode za različne namene glede na njene fizikalne, kemične in biološke lastnosti. Ker kakovost vode neposredno vpliva na zdravje ljudi, okolje in gospodarstvo, je za uspešno upravljanje vodnih virov pomembno dobro razumevanje, spremljanje in primerno uravnavanje parametrov kakovosti vode. Navedeno je še posebej pomembno zaradi nenehno naraščajočih dejavnikov, ki dodatno bremenijo vodne vire in znižujejo njihovo kakovost - kot so podnebne spremembe, onesnaževanje, naraščajoče število prebivalcev itd. (41)

Okvirna direktiva EU o vodah (WFD) (37) je ena od pravnih smernic za ohranjanje kvalitete voda. Ta je dodatno podprta z bolj ciljno usmerjenimi direktivami (kot sta Direktiva o pitni vodi (6) in Direktiva o nitratih ... (4)), posodobljenimi v skladu z najnovejšimi priporočili Svetovne zdravstvene organizacije WHO (11). Omenjene EU direktive spodbujajo varovanje in obnavljanje čiste vode ter zagotavljajo njeno dolgoročno trajnostno rabo. (39) Kot članica EU jim je primorana slediti in jih izvajati tudi Slovenija.

Obstaja veliko parametrov kakovosti vode, vendar bi bila raziskava vseh preobsežna za obravnavo v raziskovalni nalogi. Zato sem se odločila osredotočiti na parametre, ki jih je mogoče testirati s preprostimi, cenovno dostopnimi in zato lahko ponovljivimi metodami.

Opazovani parametri vključujejo koncentracije nitratov, fosfatov, kloridov in raztopljenega kisika v vodi ter temperaturo vode.

Nitrati in fosfati so snovi, ki so v vodi naravno prisotne v majhnih količinah in so bistvene za rast rastlin. Antropogene dejavnosti (kot so urbanizacija z uporabo detergentov, odstranjevanje odpadkov in krčenje gozdov, kmetijstvo z neustrezno uporabo gnojil, industrija in čistilne naprave z odvajanjem odpadne vode itd.) opazno povečujejo njihove koncentracije. (22) (2) Podobni antropogeni dejavniki posredno povzročijo tudi znižanje koncentracije raztopljenega kisika (40), hkrati pa povečajo temperaturo vode (43). Poleg tega se naravno prisotne koncentracije kloridov povečajo zaradi dezinfekcije vode s kloriranjem, da ta postane primerna za našo uporabo. (44)

Običajne mejne vrednosti za opazovane kemijske parametre v rečni vodi so 5,0 mg/l za nitrate (21), 0,1 mg/l za fosfate (26), 155 mg/l za kloride (3) in 5,0 mg/l za kisik (40). Preseganje mejnih vrednosti pri nitratih in fosfatih poveča možnost eutrofikacije (8), pri kloridih poveča slanost vode (3), medtem ko koncentracije kisika pod mejno vrednostjo ne omogočajo ustreznega vodnega življenja. (40)

Tabela 1 – Naravne vrednosti za opazovane parametre v rečni vodi; vir nitratov (Nitrates, 2011), fosfatov (Phosphates, 2011), kloridov (Chloride and Salinity, 2011), kisika (Water Quality: Dissolved oxygen, 2023)

	naravne vrednosti / mg/l
temperatura/°C	/
nitrat/ mg/l	<5.0
fosfat/ mg/l	<0.1
klorid/ mg/l	<155
raztopljeni kisik/ mg/l	>5.0

V skladu s priporočili WFD in WHO za pitno vodo je za nitrate predpisana mejna vrednost 50 mg/l, medtem ko ostali opazovani parametri niso izrecno regulirani. (37) (11)

BRADSHAWOV MODEL

Bradshawov model navaja, da se obremenitev reke po toku navzdol na splošno povečuje. Posledično je mogoče predvidevati, da se po toku navzdol kopičijo tudi raztopljena onesnaževala. Reka je namreč dlje časa izpostavljena antropogenim dejavnostim, ki jo onesnažujejo, bremenijo in znižujejo kakovost vode v njej. (19)



Slika 3 - Bradshawov model; prilagojeno po: <https://www.internetgeography.net/wp-content/uploads/2018/08/The-Bradshaw-Model-1030x1016.png>

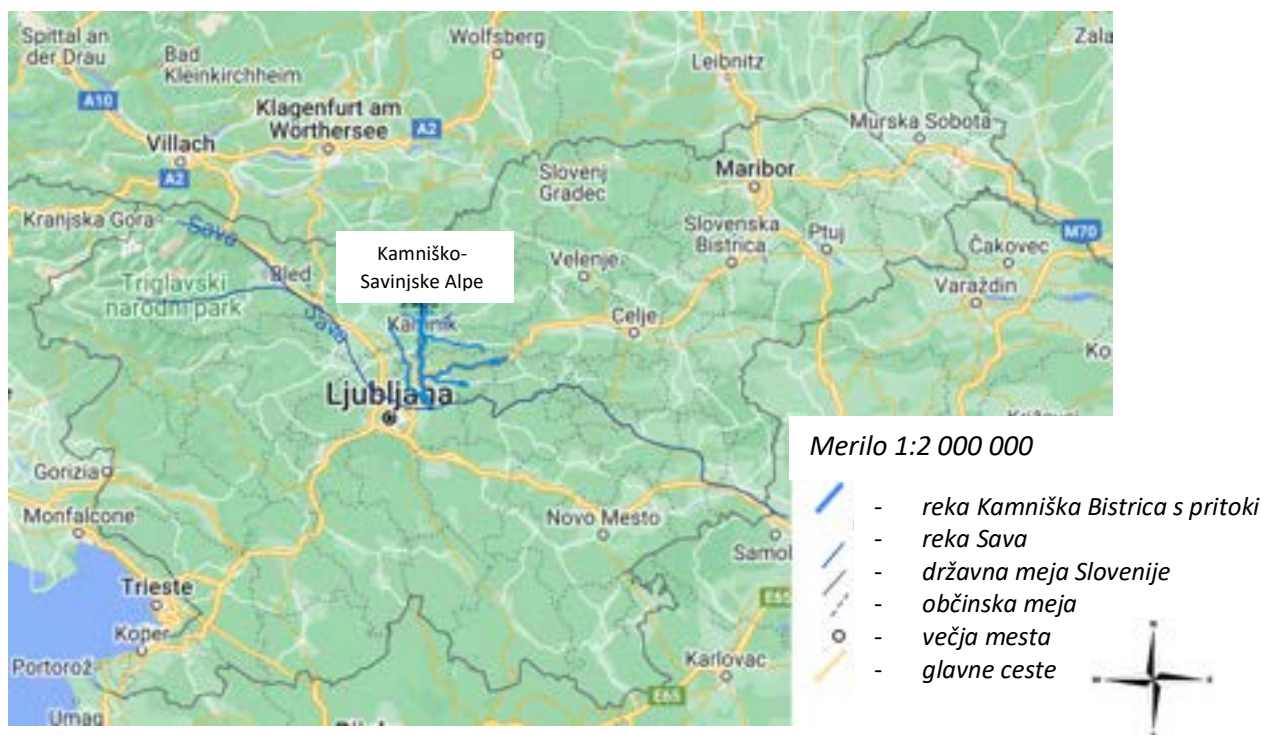
SPLOŠNE ZNAČILNOSTI REKE KAMNIŠKE BISTRICE

Kamniška Bistrica, levi pritok reke Save, je alpska reka, ki leži v severni Sloveniji. Izvira na nadmorski višini 580 m v južnem delu Kamniško-Savinjskih Alp, v dolini Kamniške Bistrice, kot izdaten kraški izvir. (25)

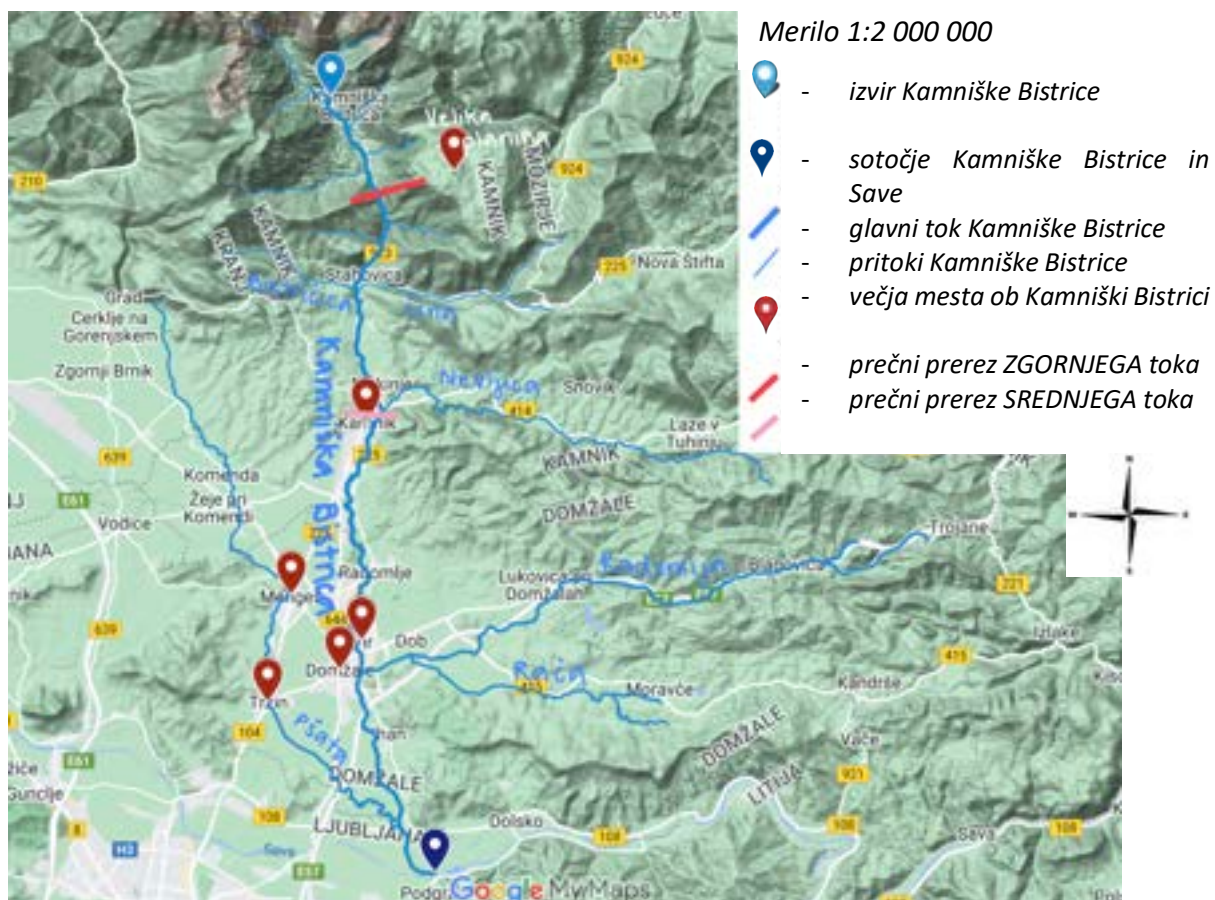


Slika 4 - Izvir Kamniške Bistrice; sodi v avtorjev osebni arhiv

Njen glavni tok teče skozi tri občine – Kamnik, Domžale in Dol pri Ljubljani. (25)



Slika 5 - Lokacija reke Kamniške Bistrice v Sloveniji; prilagojeno iz Google Zemljevidov



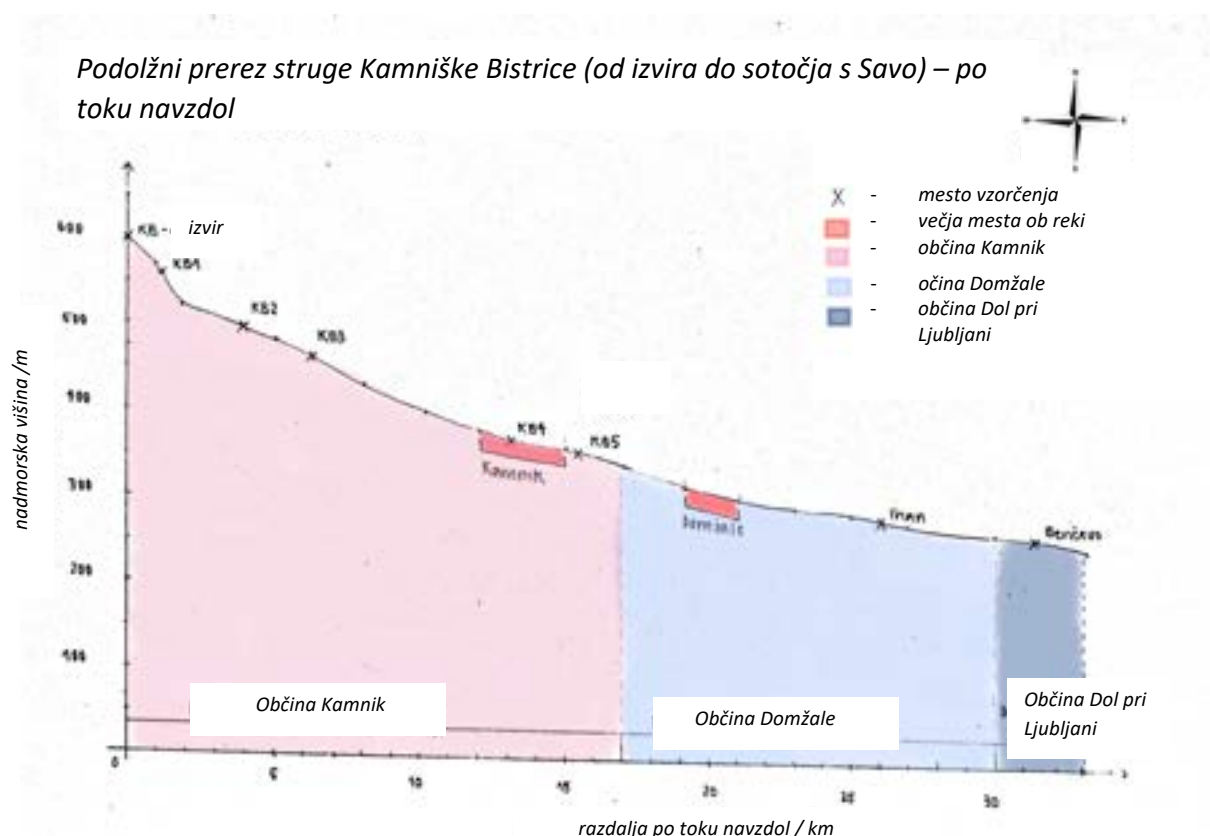
Slika 6 - Zemljevid Kamniške Bistrice z glavnimi pritoki in večjimi kraji; prilagojeno iz Google Zemljevidov

Reka je dolga približno 32 km in njeno 538,7 km² veliko porečje je zelo raznoliko, saj vsebuje tako gorata kot tudi nižinska območja. Na splošno se nadmorska višina povodja postopoma

znižuje po reki navzdol. V zgornjem toku, severno od Kamnika, KB teče po ozki gorski dolini v Kamniško-Savinjskih Alpah, pretežno kraškega značaja. Ko pride do Kamnika, se njeno širina njene struge razširi. Južno od Kamnika KB teče skozi širšo Ljubljansko kotlino, bogato z apnenčastim fluvioglacialnim prodrom in peskom. Pri Dolu pri Ljubljani se izliva v Savo. (34)



Slika 7 – sotočje Kamniške Bistrice in Save; sodi v avtorjev osebni arhiv



Slika 8 – Podolžni prerez struge Kamniške Bistrice po toku navzdol

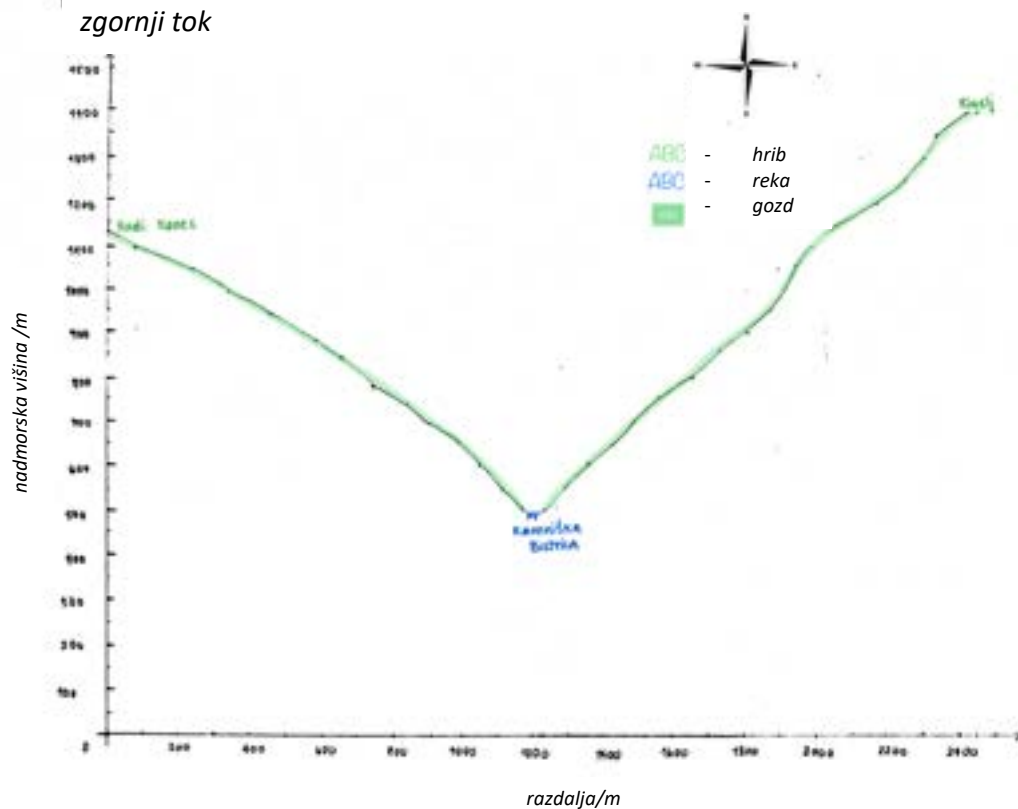


Slika 9 - Soteska Kamniške Bistrice pri izviru; sodi v avtorjev osebni arhiv



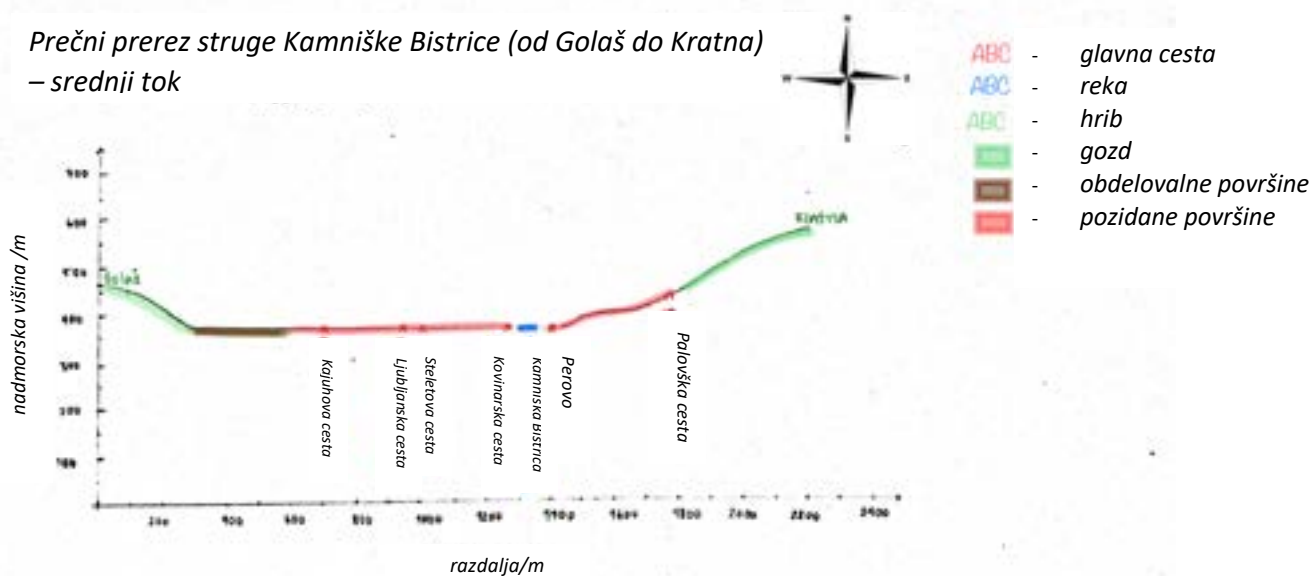
Slika 10 – V dolina Kamniške Bistrice v zgornjem toku; sodi v avtorjev osebni arhiv

Prečni prerez struge Kamniške Bistrice (od Hudega konca do Riglja) –
zgornji tok



Slika 11 – Prečni prerez struge zgornjega toka Kamniške Bistrice; lokacija prikazana na Sliki 6 (rdeča)

Prečni prerez struge Kamniške Bistrice (od Golaš do Kratna)
– srednji tok

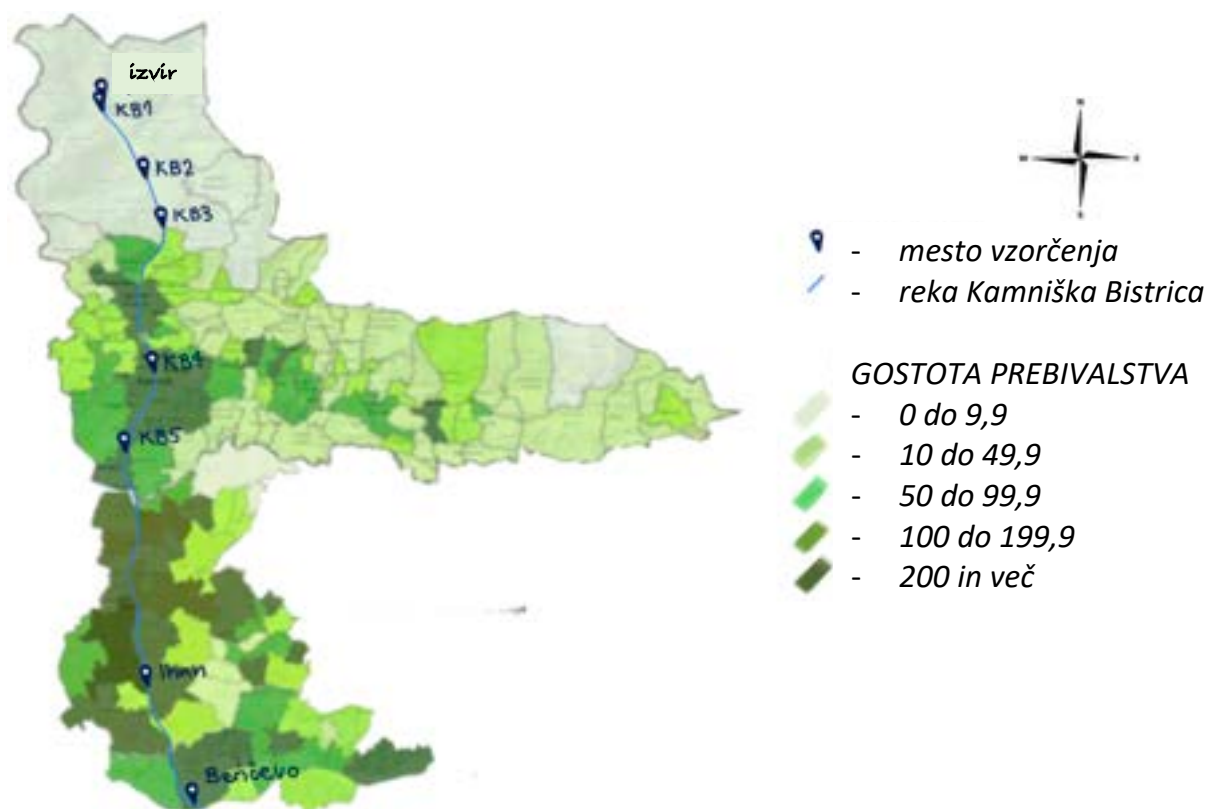


Slika 12 – Prečni prerez struge srednjega toka Kamniške Bistrice; lokacija prikazana na Sliki 6 (roza)



Slika 13 - Spodnji tok Kamniške Bistrice; sodi v avtorjev osebni arhiv

Zaradi ugodnih naravnih danosti (obsežno ravninsko nižavje, rodovitna tla, vodna oskrba ipd.) imajo najnižji deli njenega porečja največjo gostoto prebivalstva in so antropogeno najintenzivneje spremenjeni – urbanizirani, industrializirani in obdelovani. KB torej na takih območjih predstavlja pomemben vir vode za domačo, industrijsko in kmetijsko rabo. Nekatera večja mesta v njenem porečju so Kamnik, Domžale, Trzin, Mengeš, Vir in Ihan. Nasprotno pa se ob njej v njenem zgornjem toku razprostira gost gozd (34) zaradi česar je to območje posledično redko poseljeno. Izjema je Velika planina, ki je znana po planšarstvu, prav tako pa je tudi ena izmed bolj priljubljenih turističnih destinacij na preučevanem območju. (36)

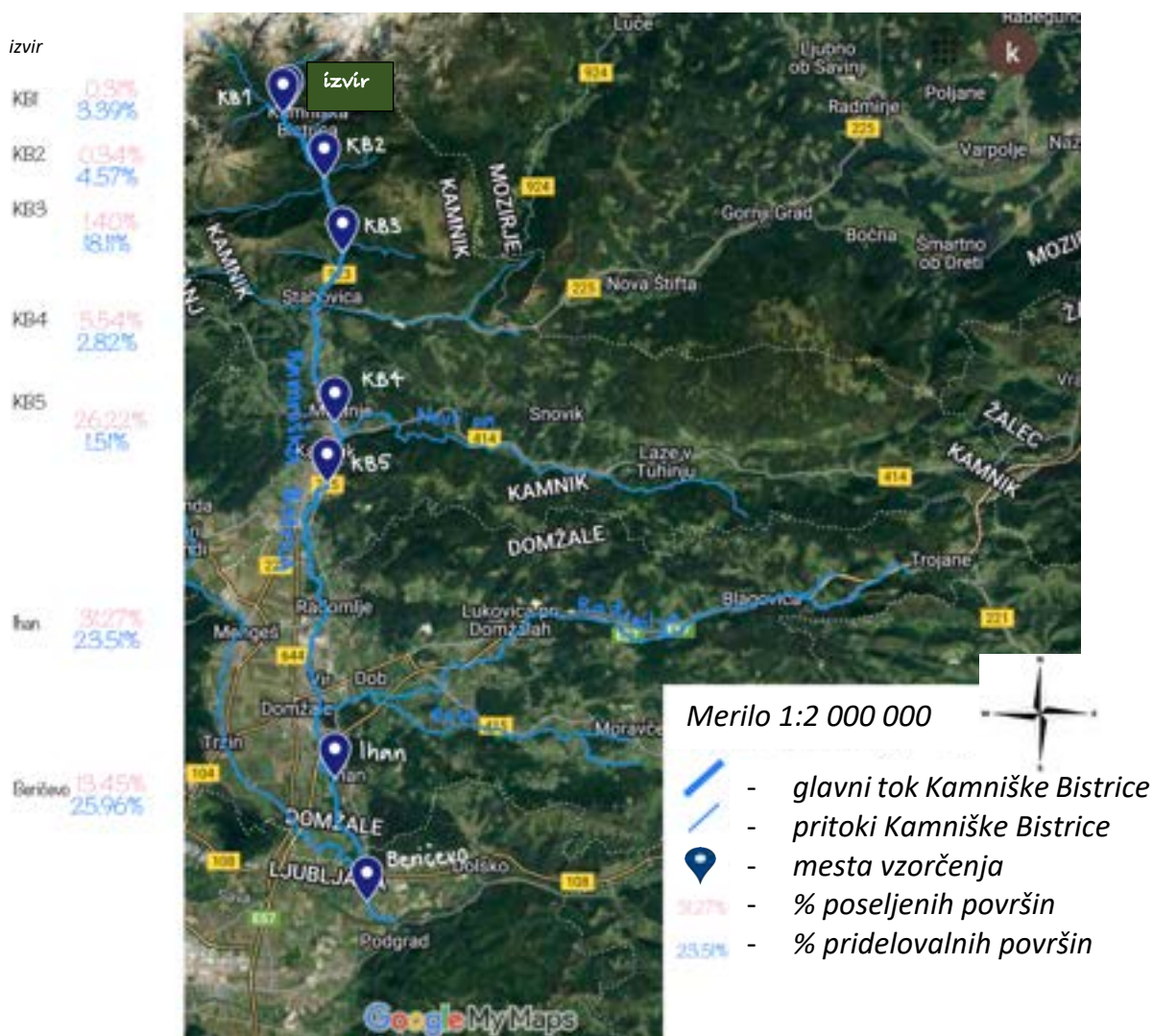


Slika 14 - Karte občin Kamnik, Domžale in Dol pri Ljubljani z gostoto poseljenosti posameznih naselij; prilagojeno iz PISO zemljevidov

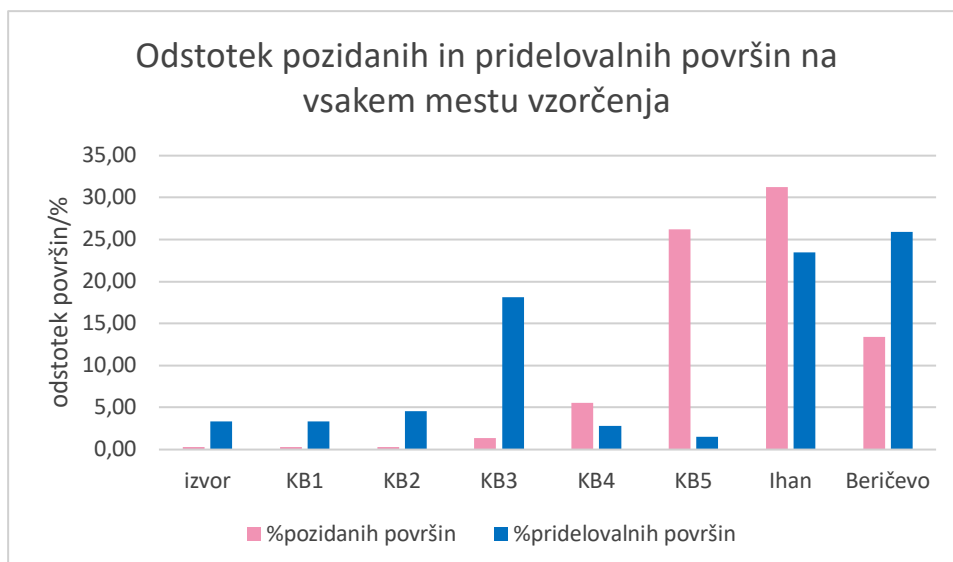


Slika 15 - Gostota prebivalstva na vsakem mestu vzorčenja

Kot je razvidno iz slik 14 in 15, je gostota prebivalstva največja na mestu vzorčenja Ihan.



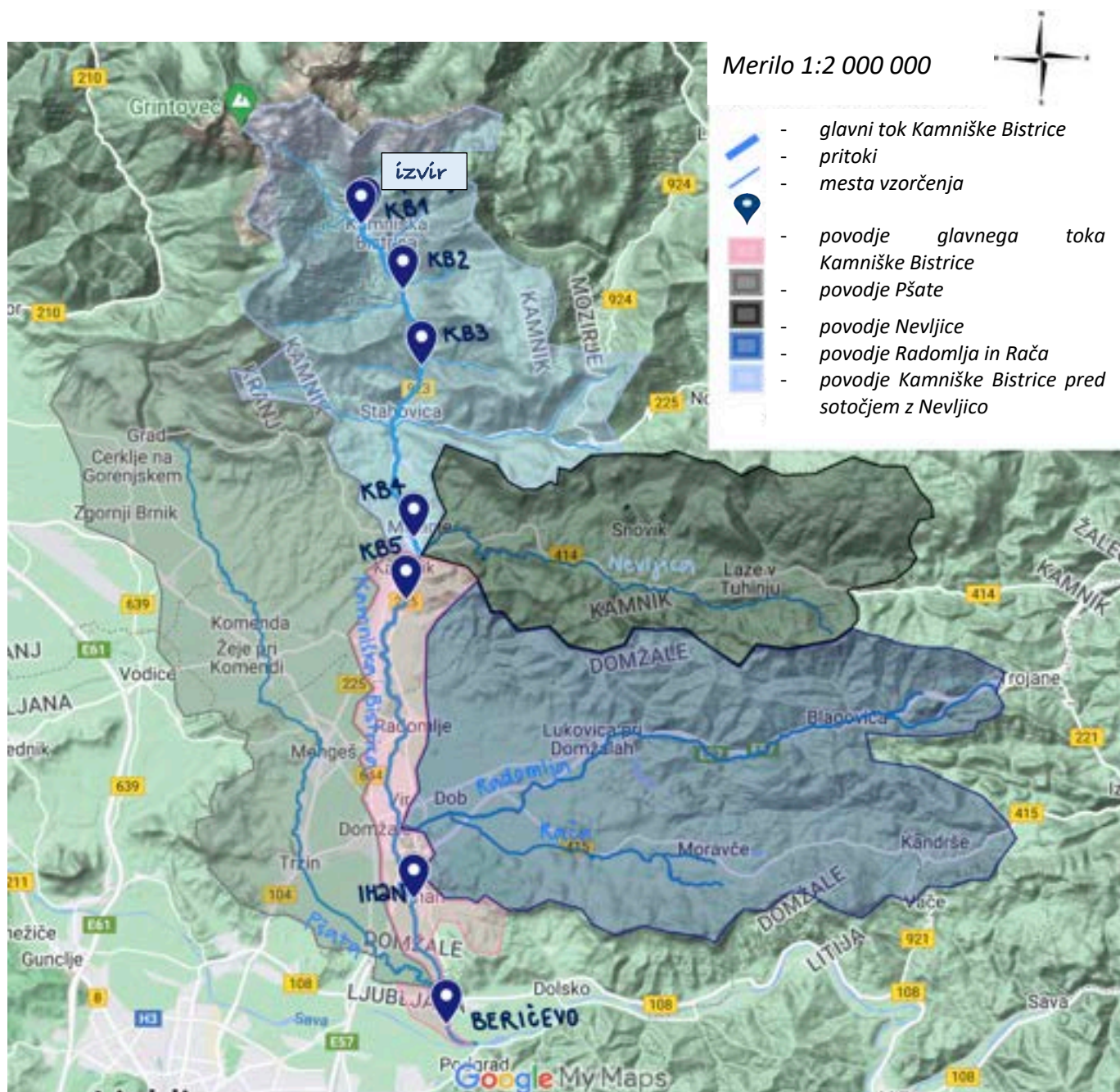
Slika 16 - Zemljevid Kamniške Bistrice z odstotkom poseljenih in pridelovalnih površin na vsakem vzorčevalnem mestu; prilagojeno obliko Google Maps



Slika 17 – Odstotek pozidanih in pridelovalnih površin na vsakem mestu vzorčenja

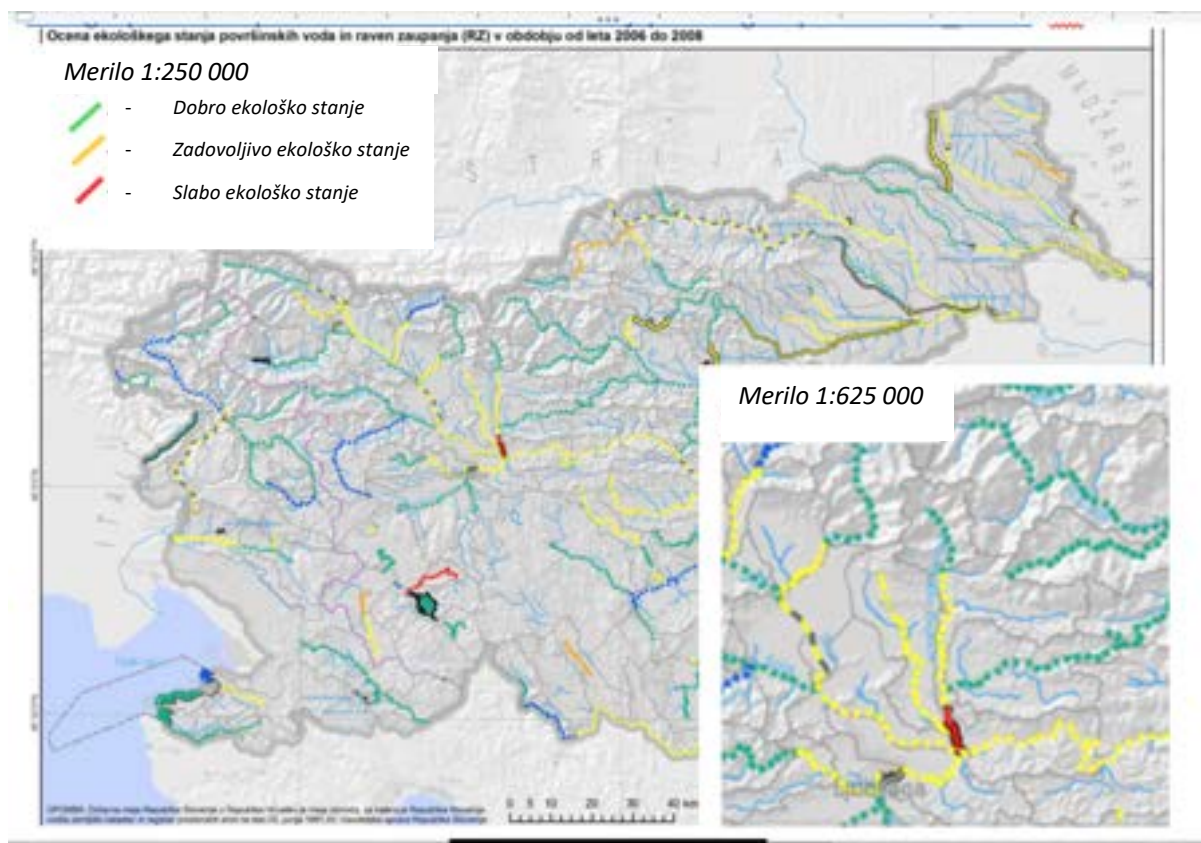
Kot je razvidno iz slik 16 in 17, imata Ihan in KB5 največji odstotek pozidanosti, medtem ko imata Beričevo in Ihan največji odstotek pridelovalnih površin.

Celotno porečje KB zajema še pet glavnih pritokov – Črna, Nevljica in Rača na levi ter Bistričica in Pšata na desni. Ker ti pritoki odvodnjavajo zelo raznolika območja, glede na relief, količino padavin in geološko zgradbo, so rečni pretoki in samoočiščevalne sposobnosti različnih delov KB izredno različne. (34)



Slika 18 - Zemljevid porečja Kamniške Bistrice; prilagojeno iz Google Zemljevidov

Zaradi ugodnih naravnih pogojev, kot so velika količina padavin, nizke temperature, veliki nakloni rek, dostojno ohranjena naravna vegetacija itd., ima KB dobre naravne samoočiščevalne sposobnosti v zgornjem toku. Velja pa tudi za ekološko precej ranljivo zaradi prepustne kraške podlage in plitve prsti. (34) Kot je razvidno iz slike 19, je bilo v preteklosti (npr. v obdobju 2006-2008) opaziti močno poslabšanje kakovosti vode v spodnjem toku KB. Vendar pa v skladu s predpisi EU danes spada v kategorijo “dobrega kemijskega stanja”. (34) Kljub temu razlike v koncentracijah topljencev in s tem v kakovosti vode med zgornjim in spodnjim tokom nedvomno še vedno obstajajo.



Slika 19 - Ekološko stanje reke Kamniške Bistrice od 2006 do 2008; vir <https://eucbeniki.sio.si/geo1/2521/index3.html> (Kralj Serša, 2015)

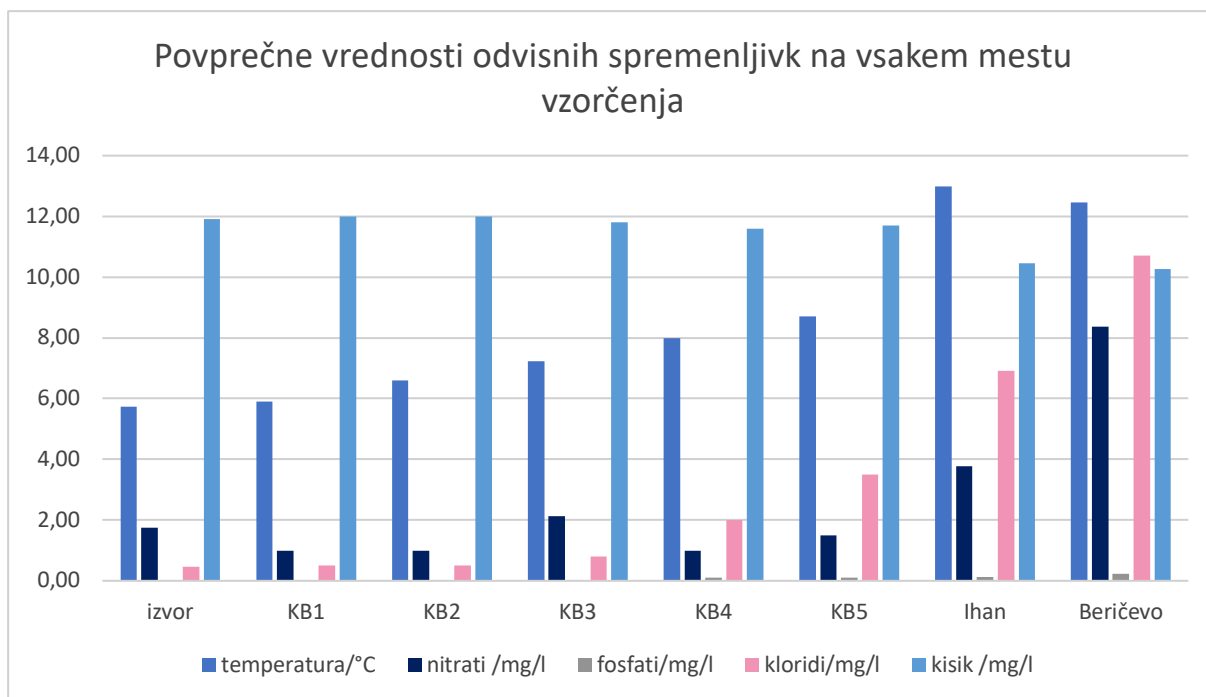
REZULTATI

ODDALJENOST OD IZVIRA, URBANIZACIJE IN KMETIJSTVA

V Tabeli 2 so prikazane povprečne vrednosti za temperaturo, koncentracije nitratov, fosfatov, kloridov in kisika. Izračunane so bile s pomočjo podatkov iz arhiva ARSO (leta 2016-2022; na vzorčnih mestih izvir, KB3, Ihan, Beričevo) in raziskovalne naloge Univerze v Ljubljani (leta 2010-2012; vzorčna mesta od izvora do KB5). Podatki so bili prikazani tudi grafično.

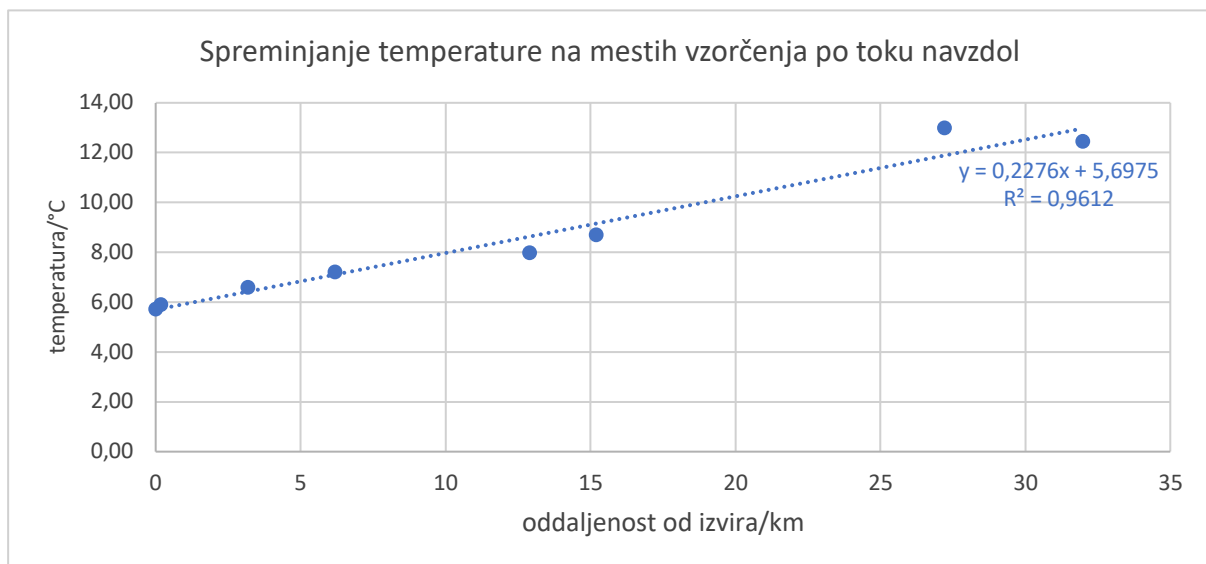
Tabela 2 - Izračunane vrednosti neodvisnih in odvisnih spremenljivk na vsakem mestu vzorčenja

mesto vzorčenja	NEODVISNE spremenljivke				ODVISNE spremenljivke				
	oddaljenost od izvira/km	gostota prebivalstva /št. /km ²	%pozidanih površin /%	%pridelovalnih površin /%	temperatura /°C	nitriti /mg/l	fosfati /mg/l	kloridi /mg/l	kisik /mg/l
izvir	0.00	0.34	0.31	3.39	5.73	1.75	0.03	0.46	11.91
KB1	0.18	0.34	0.31	3.39	5.90	1.00	0.03	0.50	12.00
KB2	3.18	0.34	0.34	4.57	6.60	1.00	0.03	0.50	12.00
KB3	6.18	0.34	1.40	18.11	7.23	2.13	0.02	0.80	11.80
KB4	12.88	198.89	5.54	2.82	8.00	1.00	0.10	2.00	11.60
KB5	15.18	456.22	26.22	1.51	8.70	1.50	0.10	3.50	11.70
Ihan	27.18	1171.76	31.27	23.51	12.99	3.77	0.13	6.91	10.47
Beričevo	31.95	283.38	13.45	25.96	12.45	8.37	0.22	10.71	10.27



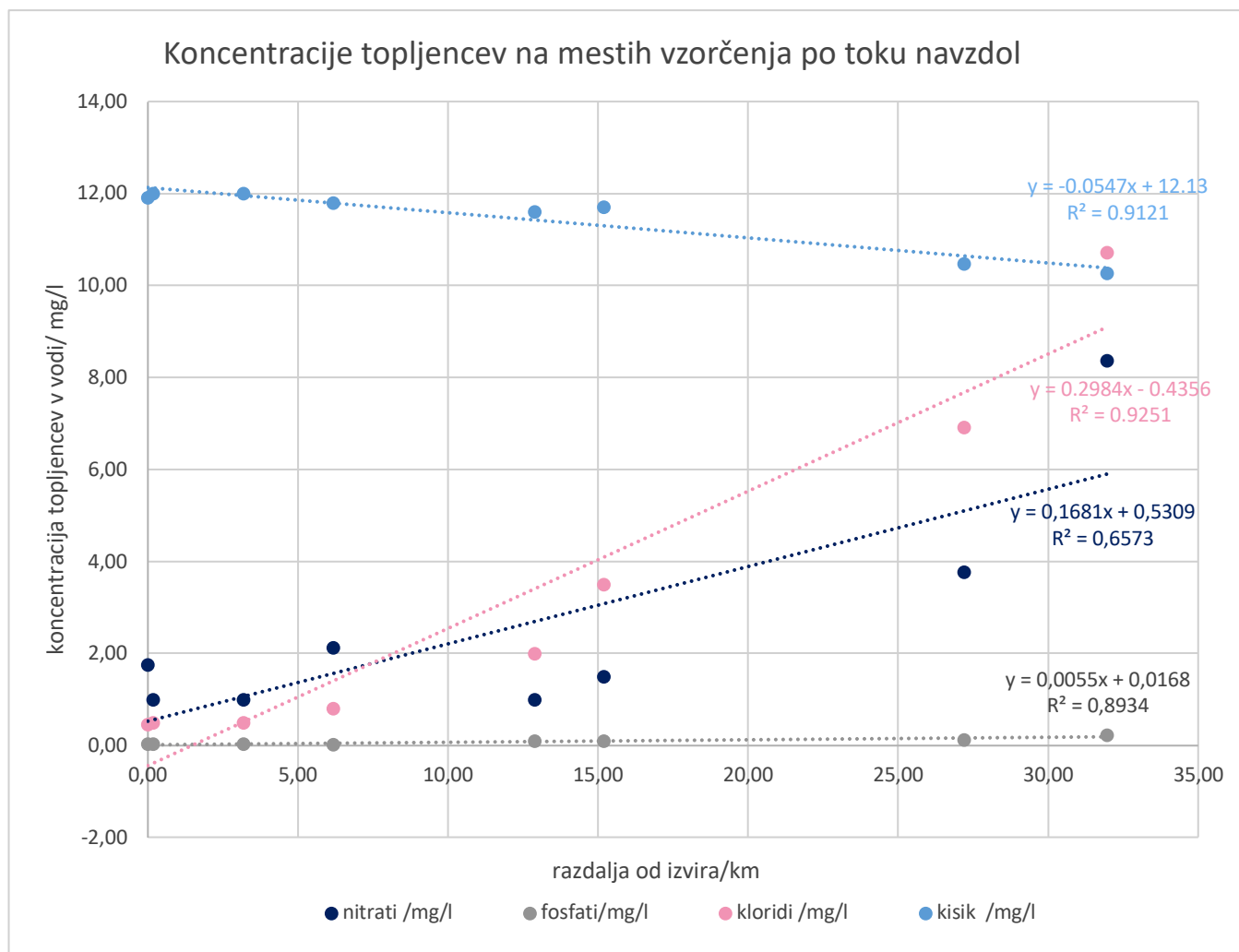
Slika 20 - Izračunane povprečne vrednosti opazovanih odvisnih parametrov kakovosti vode (temperatura, nitrati, fosfati, kloridi, kisik) na vsakem mestu vzorčenja

Najprej je bila analizirana temperatura, saj bi znatna nihanja nedvomno kazala na antropogene vplive. Ker so bila temperaturna nihanja v manjšem obsegu (Slika 20), jih je bolj verjetno mogoče pripisati naravnim vzrokom, kot je zmanjševanje nadmorske višine po toku navzdol, kot pa človeški dejavnosti. Ker tovrstna manjša nihanja ne vplivajo bistveno na kakovost vode, temperatura ni bila vključena v izračun sestavljenega indeksa kakovosti vode.



Slika 21 – Spreminjanje temperature na mestih vzorčenja po reki navzdol

Izračunana povprečja za parametre, razen temperature, so bila grafično prikazana glede na oddaljenost od izvira.



Slika 22 – Koncentracije topljencev na mestih vzorčenja po toku navzdol

Zaradi neprimerljivih absolutnih vrednosti meritev za različne parametre (npr. količina fosfatov v vodi je naravno izrazito manjša od količine nitratov) grafov, kot je Slika 22, ni mogoče uporabiti za sklepanje, kateri topljenec kaže največjo stopnjo spremembe navzdol. Vendar pa so takšni grafi pomembni za določanje smeri trendov za vsak topljenec, saj se te informacije izgubijo pri nadaljnji obdelavi podatkov. Kot je razvidno iz Slike 22, koncentracije nitratov, fosfatov in kloridov v KB navzdol naraščajo, koncentracija kisika pa pada.

Ustreznost narisanih trendnih premic najboljšega prileganja je podprta z visokimi koeficienti determinacije (R^2) z vrednostmi višjimi od 0,7 za vse topljence razen nitratov. Trendna premica se podatkom za količino prisotnih nitratov zmerno-dobro prilega, saj je njen izračunan R^2 med 0,4 in 0,7.

Narisani so bili tudi grafi za vse druge opazovane neodvisne spremenljivke, ki so pokazali zelo podobne trende kot Slika 22; tako glede smeri kot strmine narisanih trendnih premic najboljšega prileganja. To je razumno, saj se vse ostale opazovane neodvisne spremenljivke (gostota prebivalstva, procent pozidanih površin in procent pridelovalnih površin), z nekaj izjemami, tako kot oddaljenost od izvira po toku navzdol povečujejo. Kljub veliki podobnosti so bile vrednosti R^2 za druge neodvisne spremenljivke bistveno nižje (Tabela 3), kar kaže le na slabo do zmerno ustreznost linearnega modela najboljšega prileganja. Zaradi omenjenih dveh razlogov so bili njihovi grafi predstavljeni v Prilogo.

Tabela 3 – Vrednosti R^2 za koncentracije topljencev z različnimi neodvisnimi spremenljivkami; zeleno ozadje označuje dobro, rumeno srednje in rdeče slabo prileganje podatkov narisanim trendnim premicam najboljšega prileganja

	nitrati/mg/l	fosfati/mg/l	kloridi /mg/l	kisik /mg/l
oddaljenost od izvira/km	0,6573	0,8934	0,9251	0,9121
gostota prebivalstva /prebivalci/km ²	0,4843	0,2193	0,2620	0,2881
%pozidanih površin	0,4192	0,3684	0,4192	0,4228
%pridelovalnih površin	0,6802	0,3682	0,5820	0,7101

NORMALIZACIJA IN SESTAVLJENI INDEKS KAKOVOSTI VODE

Za natančno primerjavo koncentracij topljencev in za ustvarjanje sestavljenega indeksa kakovosti vode, ki kaže celotno kakovost vode, je treba podatke najprej normalizirati. Min-max normalizacija je bila uporabljena za spremembo obsega podatkov na [0,1].

$$x_{\text{norm}} = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)}$$

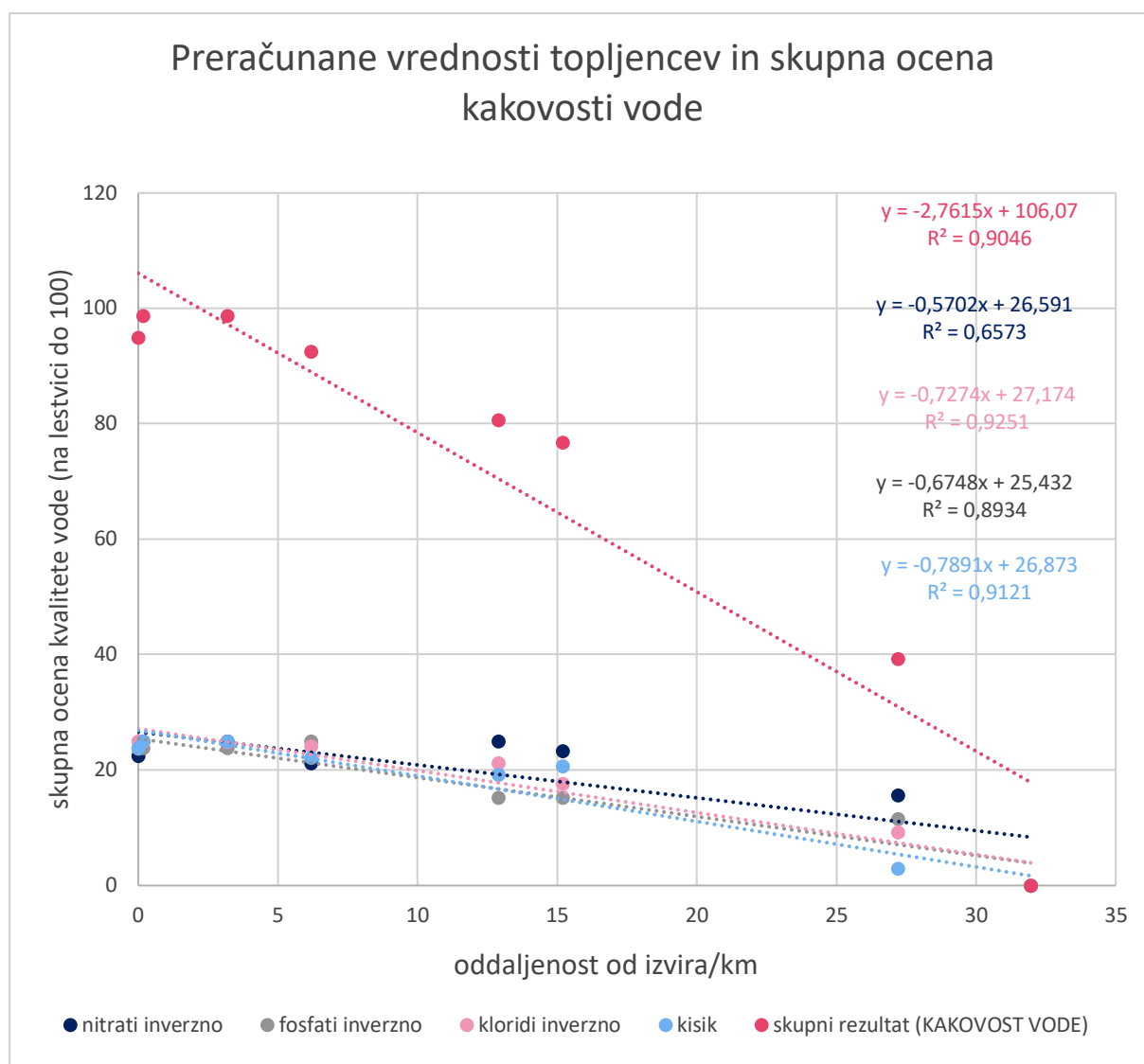
Slika 23 - Min-max normalizacijska formula; vir https://miro.medium.com/max/1400/1*GwcC80mDUyscDAWtwZSBdA.png

Ker povečane koncentracije nitratov, fosfatov in kloridov znižujejo kakovost vode, so bile njihove normalizirane vrednosti odštete od 1 (obrnjene), da bi dobili pozitivno razmerje med njihovo koncentracijo in kakovostjo vode.

Pri izračunu sestavljenega indeksa kakovosti vode je bilo privzeto, da vsi parametri enakovredno vplivajo na kakovost vode. Vsak parameter je bil posledično ponovno skaliran v obseg 0-25, z namenom da bi bila vsota vseh štirih parametrov, ki predstavljala najvišjo kakovost vode, enaka 100. Tovrsten izračun sicer ni natančno merilo dejanske kakovosti vode, saj opazovani parametri najverjetneje nimajo enakovrednega vpliva na kakovost vode, vendar pa vseeno služi kot uporaben kazalnik spremembe kakovosti po toku navzdol. Posledično je za bolj zanesljivo določitev resničnega ekološkega stanja reke potrebno upoštevati mejne vrednosti opazovanih parametrov (Tabela 1).

Tabela 4 – Preračunane vrednosti topljencev, ki prispevajo k skupnemu rezultatu sestavljenega indeksa kakovosti vode in ustrezni kakovosti vode na lestvici do 100, na različnih mestih vzorčenja po reki navzdol

mesto vzorčenja	oddaljenost od izvira/km	gostota prebivalstva /nr. /km ²	% pozidanih površin/%	% pridelovalnih površin/%	nitriti inverzno	fosfati inverzno	kloridi inverzno	kisik	skupni rezultat (KAKOVOST VODE)
izvir	0.00	0.34	0.31	3.39	22.46	23.72	25.00	23.77	94.95
KB1	0.18	0.34	0.31	3.39	25.00	23.81	24.89	25.00	98.70
KB2	3.18	0.34	0.34	4.57	25.00	23.81	24.89	25.00	98.70
KB3	6.18	0.34	1.40	18.11	21.18	25.00	24.16	22.11	92.45
KB4	12.88	198.89	5.54	2.82	25.00	15.18	21.24	19.23	80.64
KB5	15.18	456.22	26.22	1.51	23.30	15.18	17.58	20.67	76.73
Ihan	27.18	1171.76	31.27	23.51	15.62	11.49	9.26	2.86	39.23
Beričevo	31.95	283.38	13.45	25.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



Slika 24 – Preračunane vrednosti topljencev, ki prispevajo k skupni oceni kakovosti vode in ustrezni kakovosti vode na lestvici do 100, na različnih mestih vzorčenja po toku navzdol

Kot je razvidno iz koeficientov naklona na Sliki 24 z normaliziranimi vrednostmi parametrov, se zdi, da se najbolj spreminja kisik, ki mu sledijo kloridi, fosfati in nitrati, ko se razdalja po toku navzdol povečuje. R^2 za vse topljence ostanejo enaki (Tabela 3). Kakovost vode kaže negativno korelacijo z razdaljo po toku navzdol z visokim R^2 (0,9046) trendne premice, ki potrjuje ustreznost linearnega prileganja.

Iz grafov, ki prikazujejo razmerja med normaliziranimi vrednostmi opazovanih parametrov in drugimi neodvisnimi spremenljivkami (gostota prebivalstva, procent pozidane površine in procent pridelovalne površine) so ponovno razvidni izrazito podobni trendi kot v razmerju z oddaljenostjo od izvira (Slika 24). Med omenjenimi grafi se razlikujejo predvsem nakloni in R^2 vrednosti narisanih trendnih premic najboljšega prileganja opazovanih topljencev. Njihove R^2 vrednosti so v nizkem ali zmernem območju (Tabela 3), kar kaže na neustreznost linearnega modela. Posledično so sklepi o tem, kater topljenec je najbolj občutljiv na spremembe neodvisne spremenljivke, netočni in o njih ni vredno razpravljati. Poleg tega so bile tudi vrednosti R^2 za kakovost vode le slabo ali srednje ustrezne (Tabela 5). Omenjeni graf so bili zato prestavljeni v Prilogo.

Tabela 5 – Vrednosti R^2 za kakovost vode z različnimi neodvisnimi spremenljivkami; zeleno ozadje označuje dobro, rumeno srednje in rdeče slabo prileganje podatkov narisanim linearnim črtam najboljšega prileganja

	skupna vrednost (KAKOVOST VODE)
oddaljenost od izvira/km	0,9046
gostota prebivalstva /prebivalci/km ²	0,2001
%pozidana površina/%	0,3451
%pridelovalna površina/%	0,6202

SPERMANOV KOEFICIENT (vzorčni IZRAČUNI V PRILOGI)

Ker lahko med spremenljivkami obstajajo nelinearna razmerja, ki niso bila upoštevana pri izračunu R^2 za linearne modele (Fernando, 2023), je bil za določitev moči in smeri razmerij med spremenljivkami uporabljen Spearmanov rang. Spearmanovi korelacijski koeficienti so bili izračunani za vsak parameter in skupno oceno kakovosti vode po formuli:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum D^2}{n(n^2 - 1)}$$

Slika 25 - Spearmanova formula za rangiranje; vir <https://www.dataanalytics.org.uk/spearman-rank-correlation-in-excel/> (Statistika za ekologe, 2019)

Z uporabo Spearmanove tabele kritičnih vrednosti (35) je bilo ugotovljeno, da je kritična vrednost za stopnjo zaupanja 5 % ($p=0,05$) in 8 vzorcev 0,643. Absolutne vrednosti Spearmanovih korelacijskih koeficientov, večje od kritične vrednosti, potrjujejo, da razmerje med opazovanima spremenljivkama obstaja s 95-odstotno gotovostjo. Poleg tega pozitivni korelacijski koeficienti kažejo pozitivno, negativni pa negativno razmerje med spremenljivkami.

ODDALJENOST OD IZVIRA

Tabela 6 – Spearmanovi korelacijski koeficienti za vsakega izmed izmerjenih parametrov kakovosti vode z oddaljenostjo od izvira

	temperatura	nitriti	fosfati	kloridi	kisik	kakovost vode
Spearmanov korelacijski koeficient	0.976	0.595	0.774	0.994	-0.887	-0.911
število vzorcev	8					
kritična vrednost ($p=0.05$)	0.643					
statistična značilnost korelacije	+	/	+	+	+	+

Kot je razvidno iz Tabele 6, obstajajo pozitivne statistično značilne korelacije med temperaturo, fosfati, kloridi in razdaljo od izvira. Poleg tega obstajajo statistično značilne negativne korelacije med kisikom, kakovostjo vode in razdaljo dolvodno, medtem ko nitriti ne kažejo korelacije.

URBANIZACIJA

Tabela 7 – Spearmanov korelacijski koeficienti za vsakega izmed izmerjenih parametrov kakovosti vode z gostoto prebivalstva in odstotkom pozidanih površin

	GOSTOTA PREBIVALSTVA						% POZIDANIH POVRŠIN					
	temperatura	nitriti	fosfati	kloridi	kisik	kakovost vode	temperatura	nitriti	fosfati	kloridi	kisik	kakovost vode
Spearmanov korelacijski koeficient	0.917	0.500	0.857	0.875	-0.696	-0.744	0.970	0.518	0.714	0.911	-0.804	-0.851
število vzorcev	8						8					
kritična vrednost ($p=0.05$)	0.643						0.643					
statistična značilnost korelacije	+	/	+	+	+	+	+	/	+	+	+	+

Kot je razvidno iz Tabele 7, je Spearmanov rang potrdil obstoj pozitivnih korelacij med temperaturo, fosfati, kloridi in gostoto prebivalstva kot tudi z odstotkom pozidanega območja. Obstajajo tudi negativne korelacije med kisikom, skupno kakovostjo vode in gostoto prebivalstva kot tudi odstotkom pozidanosti. Nitriti ne kažejo korelacije z nobeno od dveh neodvisnih spremenljivk.

KMETIJSTVO

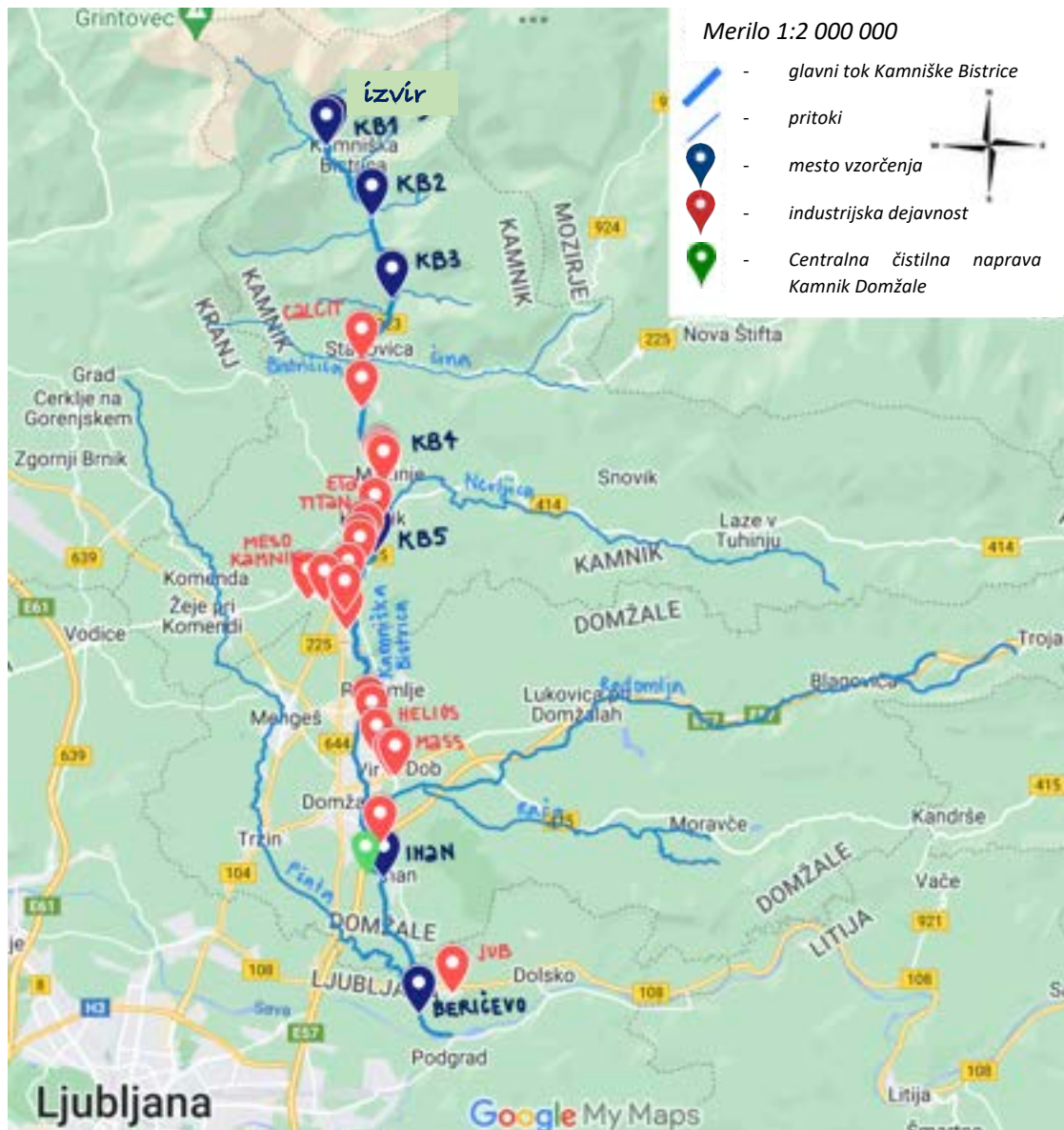
Tabela 8 – Spermanov korelacijski koeficient za vsakega izmed izmerjenih parameter kakovosti vode z odstotkom pridelovalnih površin

	temperatura	nitrat	fosfat	klorid	kisik	kakovost vode
Spermanov korelacijski koeficient	0.375	0.732	0.226	0.387	-0.351	-0.327
število vzorcev	8					
kritična vrednost ($p=0.05$)	0.643					
statistična značilnost korelacije	/	+	/	/	/	/

Kot je razvidno iz Tabele 8, se zdi, da so samo nitrat v značilni pozitivni korelaciji z odstotkom pridelovalnih površin, medtem ko so korelacije z ostalimi parametri zelo šibke.

INDUSTRIJSKE DEJAVNOSTI

Medtem ko je bilo mogoče obseg urbanizacije in kmetijstva približno zanesljivo oceniti, imajo industrijski obrati preveč dejavnikov (kot npr. vrsta industrije, velikost tovarn, višina prihodkov itd.), ki bi jih bilo potrebno upoštevati, da bi dobili precej nezanesljive ocene njihovega obsega. Le-ta je potreben za izračune korelacij med intenziteto industrije in opazovanimi parametri (kot so prikazani v Tabelah 6, 7 in 8 za ostale tri neodvisne spremenljivke), ki torej omogočajo ugotavljanje vpliva industrije na kakovost vode v reki. Posledično bodo industrijski vplivi prikazani le na zemljevidu (Slika 26) in uporabljeni za podporo ugotovljenih korelacij z urbanizacijo in kmetijstvom.



Slika 26 - Zemljevid Kamniške Bistrice s prikazom večjih industrijskih objektov in Centralne čistilne naprave ob njenem glavnem toku; prilagojeno iz Google Zemljevidov



Slika 27 – Centralna čistilna naprava Kamnik Domžale; sodi v avtorjev osebni arhiv



Slika 28– Industrijski obrat CALCIT; sodi v avtorjev osebni arhiv



Slika 29 - Industrijski obrat TITAN; sodi v avtorjev osebni arhiv



Slika 30 - Industrijski obrat HELIOS; sodi v avtorjev osebni arhiv



Slika 31 - Industrijski obrat JUB; sodi v avtorjev osebni arhiv

HOLISTIČNA ANALIZA IN RAZPRAVA

Tabela 9 – Odstotna sprememba, izračunana za vse merjene parametre in ustrezna skupna kakovost vode med dvema zaporednima mestoma vzorčenja po toku navzdol; rdeče ozadje pomeni izrazito spremembo

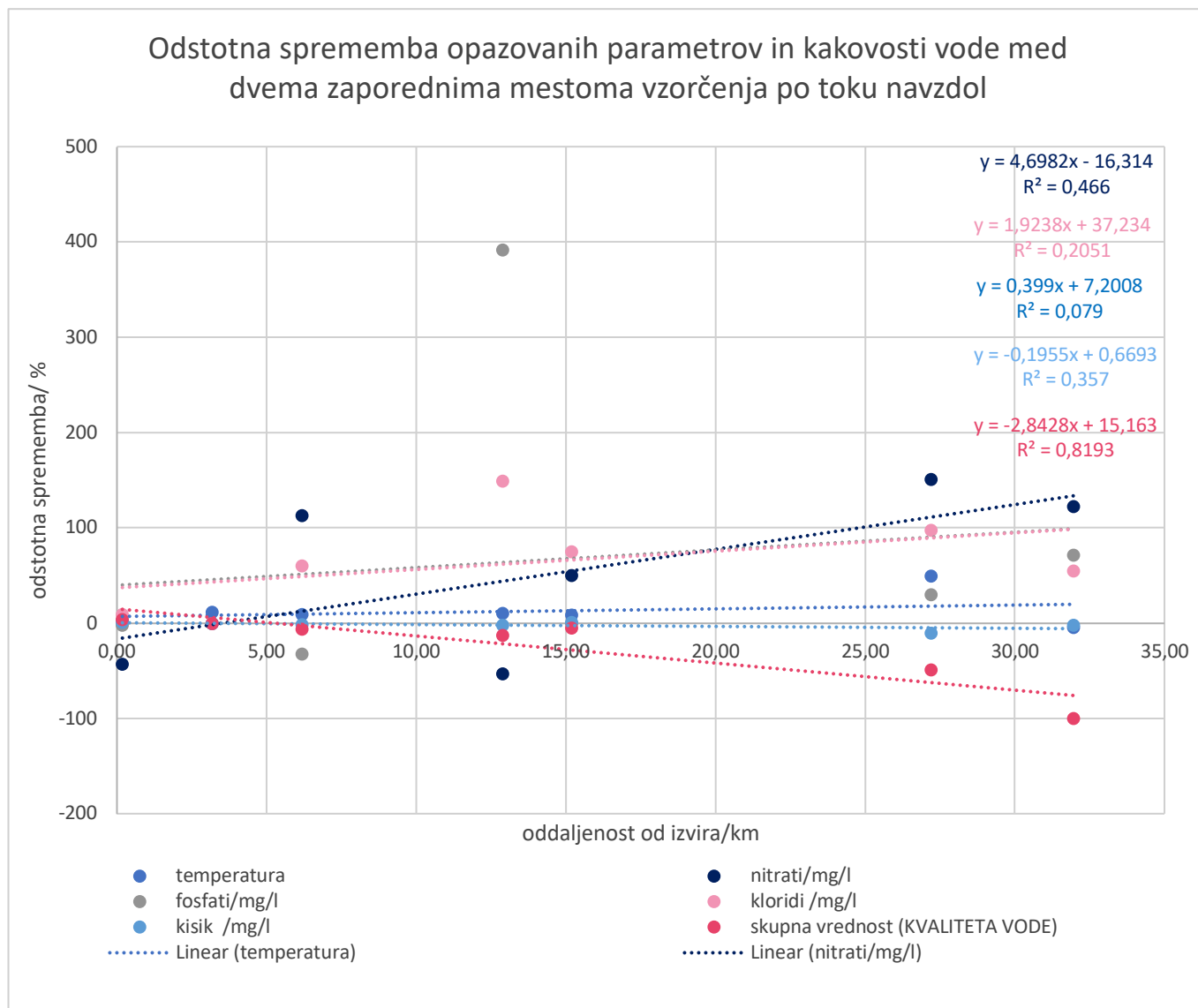
mesto vzorčenja	oddaljenost od izvira/km	temperatura/°C	odstotna sprememba /%	nitriti /mg/l	odstotna sprememba /%	fosfati /mg/l	odstotna sprememba /%	kloridi /mg/l	odstotna sprememba /%	kisik /mg/l	odstotna sprememba /%	skupna vrednost (KAKOVOST VODE)	odstotna sprememba /%
izvir	0.00	5.73		1.75		0.03		0.46		11.91		94.95	
KB1	0.18	5.90	3.02	1.00	-42.80	0.03	-2.28	0.50	9.56	12.00	0.72	98.70	3.95
KB2	3.18	6.60	11.86	1.00	0.00	0.03	0.00	0.50	0.00	12.00	0.00	98.70	0.00
KB3	6.18	7.23	9.47	2.13	112.75	0.02	-32.22	0.80	60.50	11.80	-1.67	92.45	-6.34
KB4	12.88	8.00	10.73	1.00	-53.00	0.10	391.80	2.00	149.22	11.60	-1.69	80.64	-12.77
KB5	15.18	8.70	8.75	1.50	50.00	0.10	0.00	3.50	75.00	11.70	0.86	76.73	-4.85
lhan	27.18	12.99	49.31	3.77	151.13	0.13	29.90	6.91	97.49	10.47	-10.55	39.23	-48.87
Beričevo	31.95	12.45	-4.13	8.37	122.23	0.22	71.73	10.71	54.98	10.27	-1.89	0.00	-100.00

Odkrite korelacije med koncentracijami topljencev in različnimi neodvisnimi spremenljivkami (gostota prebivalstva, odstotek pozidanosti in površina polja) so bile v nadaljevanju uporabljene za identifikacijo razlogov za najizrazitejše spremembe v koncentracijah topljencev in kakovosti

vode po toku navzdol. Za določanje mest, na katerih je opaziti najizrazitejša nihanja, je bila za vsak parameter izračunana odstotna sprememba med dvema sosednjima mestoma vzorčenja:

$$\text{Odstotna sprememba} = \frac{(\text{opazovano} - \text{prejšnje})}{\text{prejšnje}} \times 100,$$

kjer opazovano predstavlja vrednost parametra na opazovanem mestu vzorčenja, prejšnje pa njegovo vrednost na prejšnjem mestu vzorčenja po toku navzgor.



Slika 32 – Odstotna sprememba opazovanih parametrov in kakovosti vode med dvema zaporednima mestoma vzorčenja po toku navzdol

Kot je razvidno iz Tabele 9 in slike 32, se zdi, da temperatura narašča počasi (<15 %), kar je mogoče pripisati naravnim dejavnikom, zlasti nižanju nadmorske višine po toku navzdol. Meritev v Ihanu bi lahko obravnavali kot anomalijo, saj odstotek spremembe znaša 49,31%, čemur sledi padec temperature na naslednjem vzorčevalnem mestu po toku navzdol. Omenjeno nakazuje, da bi lahko na temperature vode vplival antropogeni dejavnik. Možni razlogi vključujejo izpust odpadne vode iz več industrij in Centralne čistilne naprave (CCN), ki se nahaja vzdolž glavnega toka s prejšnjega mesta vzorčenja (Slika 26), med drugim pa je možni razlog lahko tudi visoka urbanizacija.

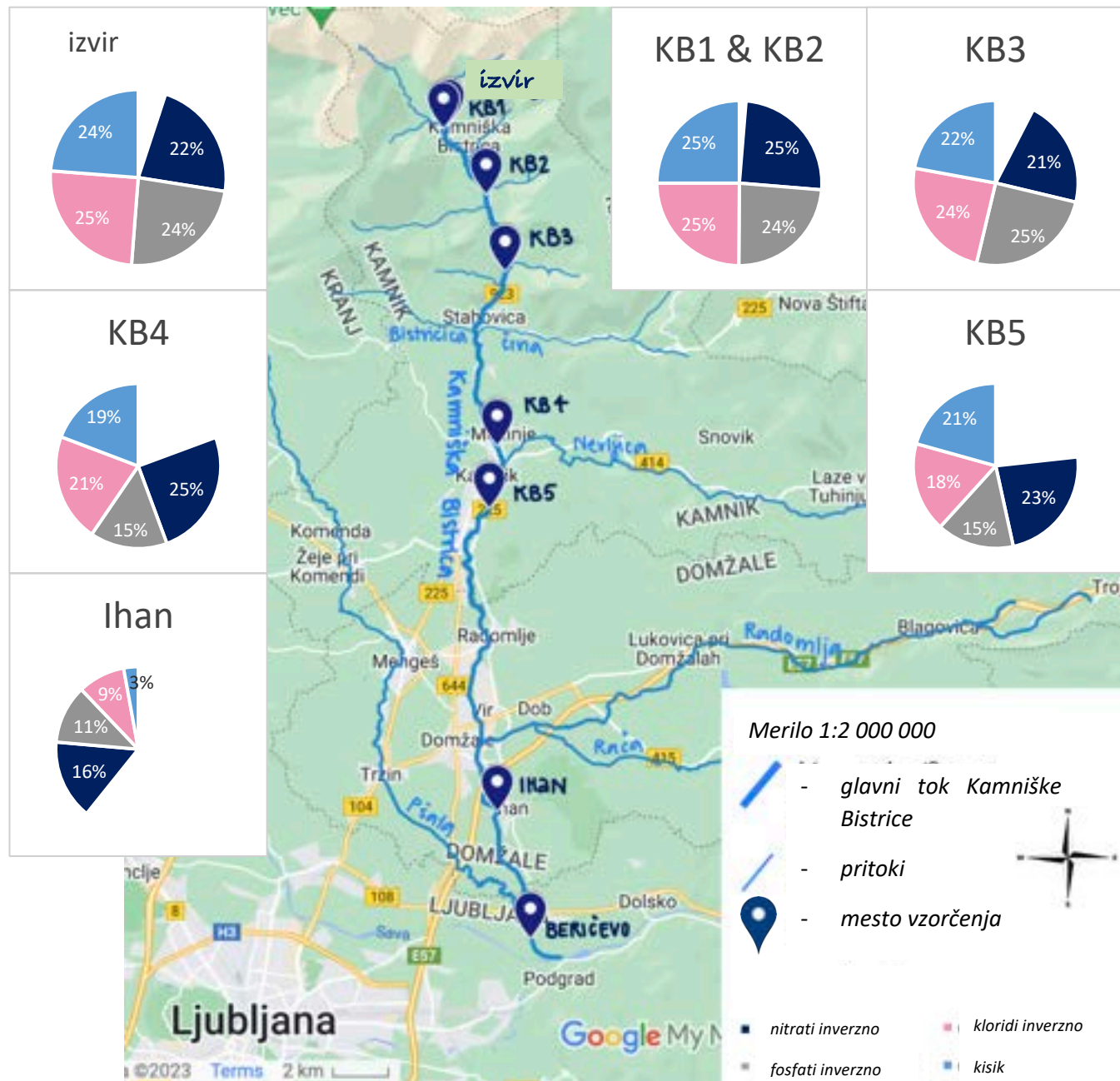
V nasprotju z manjšimi nihanji temperature nitrati kažejo visoko volatilitnost podatkov. Zanimivo je, da koncentracija nitratov ob izviru ni najnižja, kar je lahko posledica bodisi z dušikom bogatega živinskega gnoja, ki se spira z bližnjih travnikov, bodisi turistične privlačnosti izvira KB. Koncentracija nitratov nato po toku navzdol - na vzorčenih mestih KB1 in KB2 - pade, kar je lahko posledica ob-toku-prisotnih rastlin, ki nitrate vsrkajo za lastne potrebe (17), saj je vegetacija ob rečnih bregovih v tej regiji večinoma nespremenjena. Prav tako bi k omenjenemu znižanju koncentracije nitratov lahko pripomogla adsorpcija nitratov na sedimente (31) ali celo redčenje zaradi dodatne vode, ki v se na tem območju iz mnogih pritokov izliva v glavno rečno strugo. Ker pa omenjeni dve vzorčevalni mesti izvirata iz manj natančnega niza podatkov, je to lahko tudi razlog za opaženo zmanjšanje. Ponovno se nitrati povečajo pri KB3, kjer se v KB spomladi in poleti (v času, ko so bile opravljene meritve parametrov) izteka znatna količina z nitrati bogatih odpadnih voda z Velike planine. Le-ta je namreč znana po planšarstvu in turizmu, k višji koncentraciji zaznanih nitratov pa najverjetneje pripomore tudi pomanjkanje ustrezne kanalizacije (18). Zadnja opazna povečanja s 151,13% oziroma 122,23% se pojavljajo v Ihanu in Beričevem, kjer obsežna ravnina z rodovitno prstjo omogoča intenzivno kmetijsko dejavnost. Pogosta je uporaba z dušikom bogatih kemičnih gnojil, ki se odvajajo v rečno vodo - zlasti kadar se uporabljajo ob neprimernih časih in v neprimernih količinah. (32) Ker je bilo s Spearmanovim rangom ugotovljeno, da so nitrati povezani s kmetijstvom je to najverjetneje razlog za njihovo povečanje. K povečanim količinam nitratov na tem področju pa bi lahko prispevale tudi odpadne vode iz CCN ali urbanizacija z uporabo detergentov in gospodinjskimi odplakami, kljub temu da Spearmanov rang ni pokazal značilne korelacije.

Nihanja v koncentraciji fosfatov v rekah se običajno povezana z enakimi naravnimi in antropogenimi dejavniki kot nitrati – kmetijstvom in nepremišljenim ravnanjem z gospodinjskimi in industrijskimi odpadnimi vodami. (27) Vendar glede na izračune te preiskave med fosfati in kmetijstvom ni bilo ugotovljene korelacije (Tabela 8), temveč z urbanizacijo, kar pa ne velja za nitrate. Poleg tega dejavnika ne moreta biti popolnoma enaka, saj največje povečanje nitratov pri KB3 spremlja zmanjšanje fosfatov in obratno pri KB4 (Tabela 10). Povečanje fosfatov pri KB4 bi lahko bilo potencialno povezano z intenzivno industrijo v bližini po toku navzgor (Slika 26), medtem ko so povečanja v Ihanu in Beričevem ter znižanja v zgornjem toku verjetno posledica dejavnikov, opisanih pod nitrati.

Kot je razvidno iz slike 32, kloridi kažejo razmeroma konstanten porast v spodnjem toku, vendar sta pri KB4 in Ihanu opaženi dve veliki povečanja (149,22 % in 97,49 %). Ker je Kamnik prvo bolj urbanizirano območje po toku navzdol in je več industrij zgoščenih v bližini rečne struge po toku navzgor, je večji porast pri KB4 pričakovan. Podobno predvidljivo je povečanje v Ihanu, saj je to najgostejše poseljeno in najbolj pozidano območje, s številnimi industrijskimi dejavnostmi ob rečni strugi po toku navzgor. Ker so bile koncentracije kloridov korelirane z gostoto prebivalstva in odstotkom poselitvenega območja, je to najverjetnejša razlaga nihanj.

Opazena nihanja ravni kisika so majhna (pod 2 %) za večino toka reke KB in jih je mogoče pojasniti z naravnimi dejavniki, kot so spremembe temperature - saj toplejša voda raztopi manj plina. Vendar se zdi, da je eno večje znižanje (10,55 %) v Ihanu, kjer lahko spremembe le delno pojasnimo s temperaturnimi nihanji. Na ravni kisika lahko posredno vplivajo človeške dejavnosti, kot so kmetijstvo, industrija in urbanizacija, ki povečujejo koncentracije hranil (npr. nitratov in fosfatov). Višja vsebnost hranil v vodi namreč povečuje možnost evtrofikacije, ki zmanjšuje raven kisika, ko rastline odmrejo in se razgradijo. (38) (20) Nitrati in fosfati so na tem mestu vzorčenja pokazali večji porast, zato je občutnejše zmanjšanje ravni kisika smiselno.

Če vrednost kakovosti vode v Beričevem z vrednostjo 0,00 (zaradi normalizacije) zavržemo, se celotna kakovost vode najbolj drastično spremeni v Ihanu. To je logičen zaključek, saj je vsak posamezen parameter, vključen v sestavljeni indeks kakovosti vode, pokazal znatne spremembe na tem mestu vzorčenja.



Slika 33 - Karta Kamniške Bistrice s prikazanim odstotnim prispevkom posameznega parametra k kakovosti vode in relativno kakovostjo vode na vsakem vzorčnem mestu; prilagojeno iz Google Zemljevidov

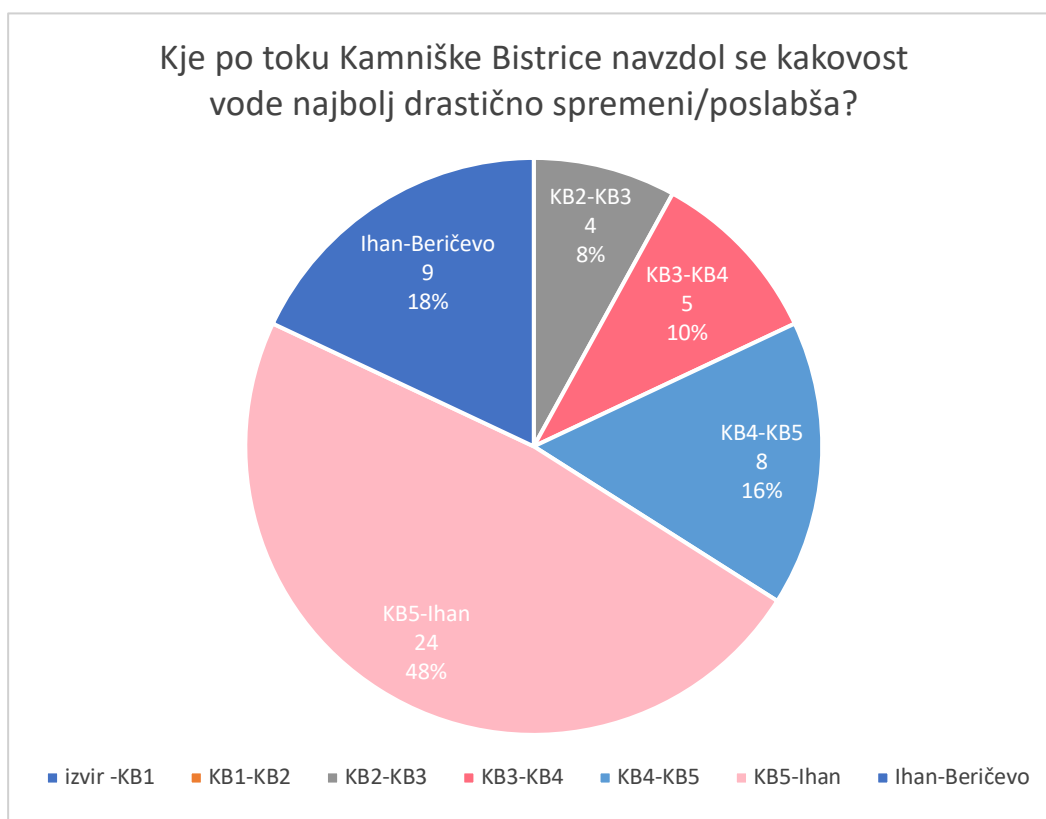
Ker pa izračunana kakovost vode odraža le njeno spremembo po toku navzdol in ne dejanskega onesnaženja, je potrebno za določitev Pravega ekološkega stanja reke upoštevati mejne vrednosti opazovanih parametrov v reki (Tabela 1). Koncentracije nitratov presegajo prag (5 mg/l) le pri Beričevem (8,37 mg/l), kar nedvomno kaže na antropogene vplive na reko na omenjenem območju. Vendar je vrednost še vedno precej pod varnim pragom za pitno vodo, ki ga je v skladu s smernicami WHO (50 mg/l). Poleg tega fosfati presegajo naravni prag (0,1

mg/l) na vseh mestih vzorčenja po toku navzdol od KB4, kar bi lahko povzročilo nagnjenost rečnih ekosistemov k eutrofikaciji. Omenjenega problema pa do sedaj sicer ni bilo opaziti. V Rezultati raziskave glede vrednosti kloridov in kisika so pozitivne - vrednosti kloridov so bile nemreč na vseh merilnih mestih pod mejnim pragom, medtem ko so koncentracije kisika (10 mg/l-12 mg/l) precej nad minimalnim pragom potrebnim za ohranjanje ustreznega vodnega življenja (5 mg/l).

Iz raziskave je torej mogoče ugotoviti, da so nitrati in fosfati glavni parametri, ki slabšajo kakovost rečne vode v KB. Ker pa tudi ti od predpisanih mejnih vrednosti ne odstopajo drastično in so koncentracije kloridov in kisika odlične, je mogoče zaključiti, da je KB v dobrem ekološkem stanju.

VPRAŠALNIK

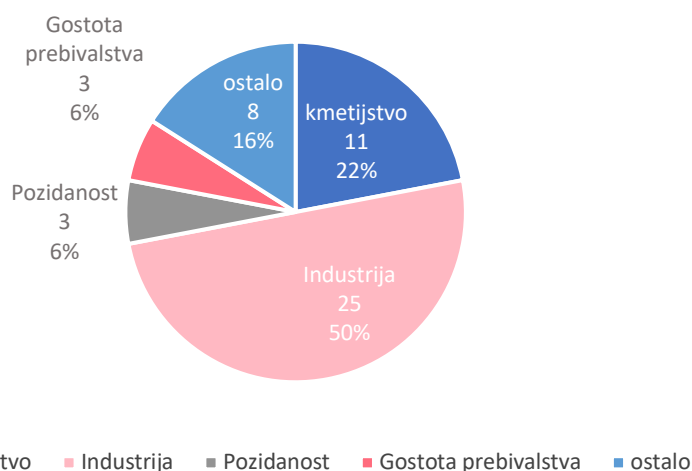
S pomočjo kratke ustne ankete s 50 prebivalci občin Kamnik, Domžale in Dol pri Ljubljani so bile raziskane tudi zaznave, mnenja in odnos prebivalcev v zvezi s kakovostjo vode KB.



Slika 34-Kje po toku navzdol se kvaliteta vode Kamniške Bistrice najbolj drastično spremeni/ poslabša?

Skoraj 50 % anketiranih je predvidelo največji upad kakovosti vode med KB5 in Ihanom, sledi 18 % upad med Ihanom in Beričevim. Oba odseka se nahajta v spodnjem toku KB. Anketiranci predvidevajo višjo kakovost vode s približevanjem izviru reke.

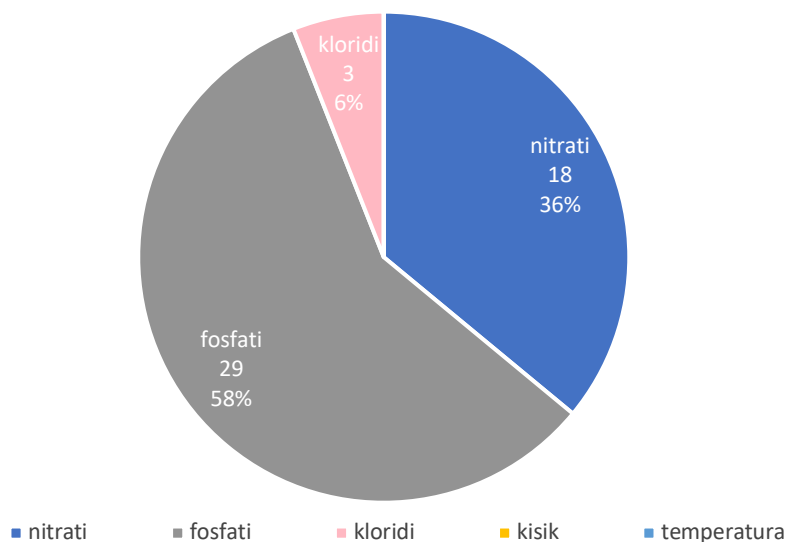
Za katero človeško aktivnost bi rekli, da najbolj negativno vpliva na kvaliteto vode v Kamniški Bistrici?



Slika 35 – Katera človeška dejavnost najbolj znižuje kakovost vode Kamniške Bistrice?

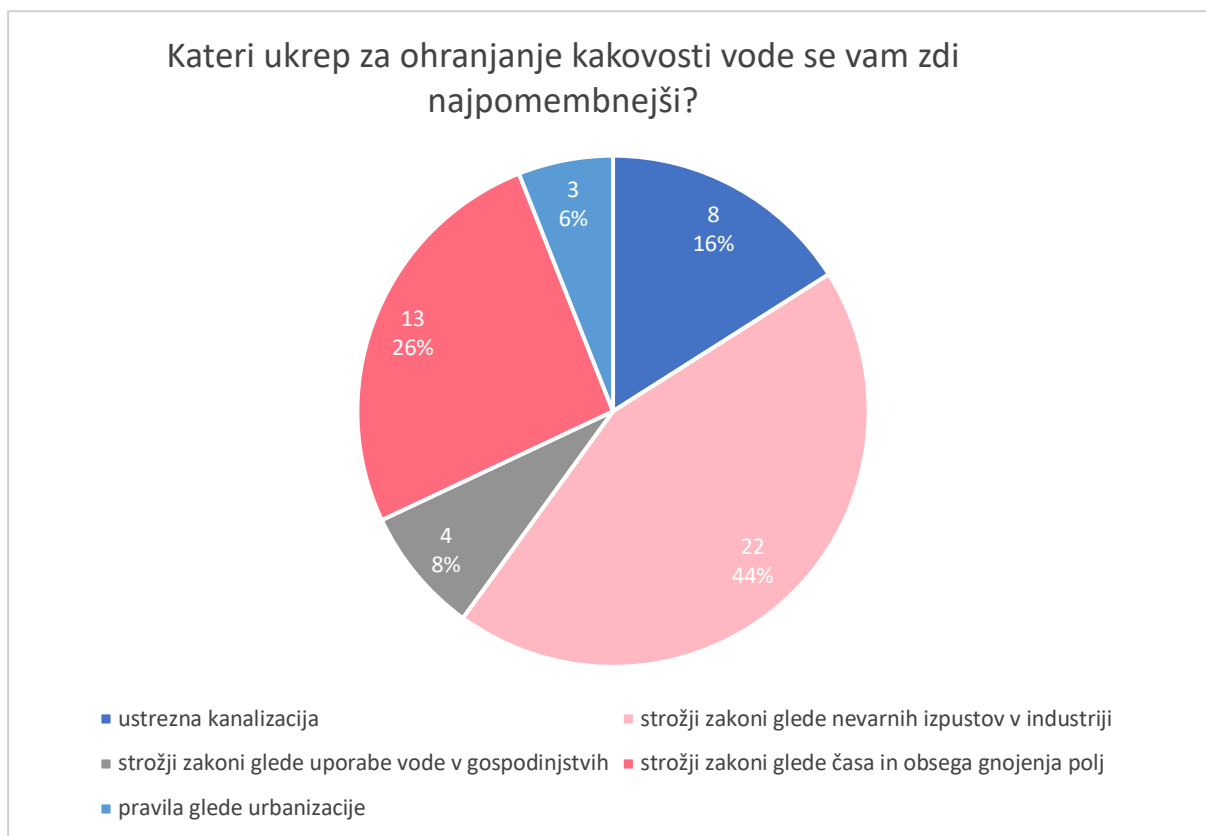
Natanko polovica vprašanih meni, da na kakovost vode najbolj vpliva industrija, sledijo kmetijstvo (22%), ostali dejavniki (16%) in urbanizacija (skupno 12%).

Kateri parameter se vam zdi, da najbolj znatno znižuje kvaliteto vode v Kamniški Bistrici?



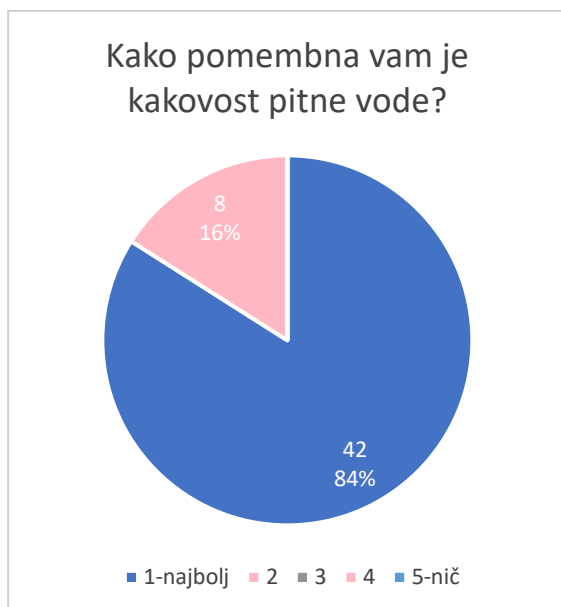
Slika 36 – Kateri parameter najbolj znatno znižuje kakovost vode Kamniške Bistrice?

58 % vprašanih se je strinjalo, da so fosfati glavni onesnaževalci reke KB, sledijo jim nitriti (36%) in kloridi (6%), medtem ko kisik in temperatura po mnenju anketiranih ne igrata vloge.

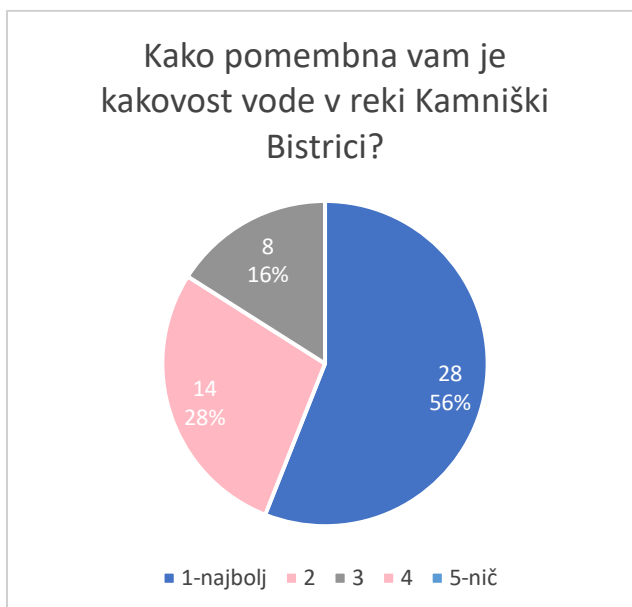


Slika 37 – Kateri ukrep za ohranjanje kakovosti vode se vam zdi najpomembnejši?

Glede na vprašalnik se zdi, da je strožje izvajanje zakonodaje v industriji in kmetijstvu najpomembnejši ukrep za ohranjanje kakovosti vode, sledijo mu javna kanalizacija, zakoni o gospodinjstvi rabi vode in urbanizacija ob reki.



Slika 38 – Kako pomembna je kakovost pitne vode?



Slika 39 - Kako pomembna je kakovost vode Kamniške Bistrice?

Iz odgovorov anketirancev je možno sklepati, da sta kakovost tako pitne kot tudi rečne vode zanje izredno pomembni. Vseeno pa je kakovost pitne vode med prebivalci bolj cenjena kot kakovost rečne vode, saj se je 84 % v primerjavi s 56 % odločilo, da jo po pomembnosti uvrsti v najvišji rang. Poleg tega se jih je 16 % tudi odločilo, da bo kakovost rečne vode postavilo na tretje mesto, medtem ko so se vsi vprašani odločili, da pitno vodo uvrstijo le v dva najvišja ranga.

Večina anketirancev je torej pravilno predvidela, da se bo kakovost vode najbolj znižala med KB5 in Ihanom ter da bo zmanjšanje predvsem posledica koncentracije nitratov in fosfatov. Vendar pa so vprašani menili, da je glavni vzrok industrija, manj pa urbanizacija, kar ni v skladu z opravljeno analizo. Upad večine testiranih parametrov kakovosti vode je bilo namreč korelirano z naraščajočo urbanizacijo. Precejšnjemu deležu intervjuvancev se zdi tako kakovost pitne kot rečne vode nedvomno pomembna in bi za njeno ohranitev priporočali strožjo zakonodajo v industriji in kmetijstvu.

ZAKLJUČEK

Hipoteza, da se kakovost rečne vode slabša po toku navzdol zaradi povečane količine obremenitev, urbanizacije, kmetijstva in industrije, je bila potrjena. Ugotovljeno je bilo, da se temperatura, koncentracije nitratov, fosfatov in kloridov po toku navzdol povečujejo, medtem ko se koncentracija kisika zmanjšuje. Vse omenjeno znižuje kakovost vode. Zaradi ugotovljenega preseganja naravnih pragov koncentracij nitratov in fosfatov kot tudi korelacij med parametri kakovosti vode ter človeško aktivnostjo, lahko utemeljeno sklepamo, da poleg naravnih razlogov (znižanje nadmorske višine (5), spremembe v obliki rečne struge (7), pretok (15), hitrosti toka (12) (42) obstajajo tudi antropogeni dejavniki, ki vplivajo na kakovost vode v KB. Iz sprememb v odstotkih koncentracij nitratov, fosfatov in kloridov je mogoče razbrati, da se kakovost reke najbolj spremeni pri Ihanu. Opaženo poslabšanje kvalitete se predvidoma zgodi zaradi visoke urbanizacije. Navedeno je dokazano tudi z uporabo Spearmanovega koeficienta korelacije med parametri in intenziteto urbanizacije. Poleg tega se zdi, da nitrati in fosfati najbolj drastično znižujejo ekološko stanje reke, saj presegajo naravne mejne vrednosti. Ugotovljena odstopanja pa vseeno ostajajo znotraj meja, ko lahko KB še vedno obravnavamo kot reko v dobrem ekološkem stanju.

OMEJITVE

Glavna omejitev te raziskave je bila povezana z meritvami različnih parametrov v vodi; združeni so bili namreč podatki iz dveh virov iz različnih časovnih obdobj in z različno natančnostjo meritev. Analizirani so bili podatki iz osmih merilnih mest vzdolž KB, kar še vedno velja za majhen vzorec za izvajanje statističnih testov - kot je npr. uporaba Spearmanovega korelacijskega koeficienta. Poleg navedenega, razdalja med mesti vzorčenja ni bila konstantna. Večje odstotne spremembe v koncentraciji kloridov, fosfatov in nitratov v vodi od KB4 do Ihana so lahko tako tudi delno povezani z večjo razdaljo med mesti vzorčenja. Zaradi večje razdalje se namreč posledično lažje nakopičijo negativni dejavniki, ki znižujejo kakovost vode. Dodatno omejitev predstavljajo približne ocene obsega območij, ki predvidoma vplivajo na kakovost vode na posameznem mestu vzorčenja, saj ti ne odražajo kompleksnosti vodnih poti v celoti. Ocene gostote prebivalstva, odstotka pozidanosti in odstotka pridelovalnih površin so bile potrebne tudi zaradi pomanjkanja ustreznih detaljnejših podatkov znotraj občinskih meja.

RAZŠIRITVE

Obstajajo številne možne zanimive razširitve opravljene raziskave. Prva očitna razširitev je nedvomno vključitev večjega števila parametrov kakovosti vode – tako kemijskih, bioloških in fizikalnih. S tem bi bil pridobljen bolj celovit vpogled v kakovosti rečne vode. Parametre bi lahko opazovali med različnimi letnimi časi, da bi odkrili morebitna nihanja zaradi okoljskih sprememb preko leta ali celo ugotovili, ali ima kateri od opazovanih dejavnikov (urbanizacija, kmetijstvo, industrija) večji vpliv na kakovost vode v določenem letnem času. Prav tako bi bilo zanimivo videti, ali nekatere uporabljene vrste in prakse kmetijske aktivnosti ali industrije poslabšujejo kvaliteto vode bolj kot druge.

VIRI

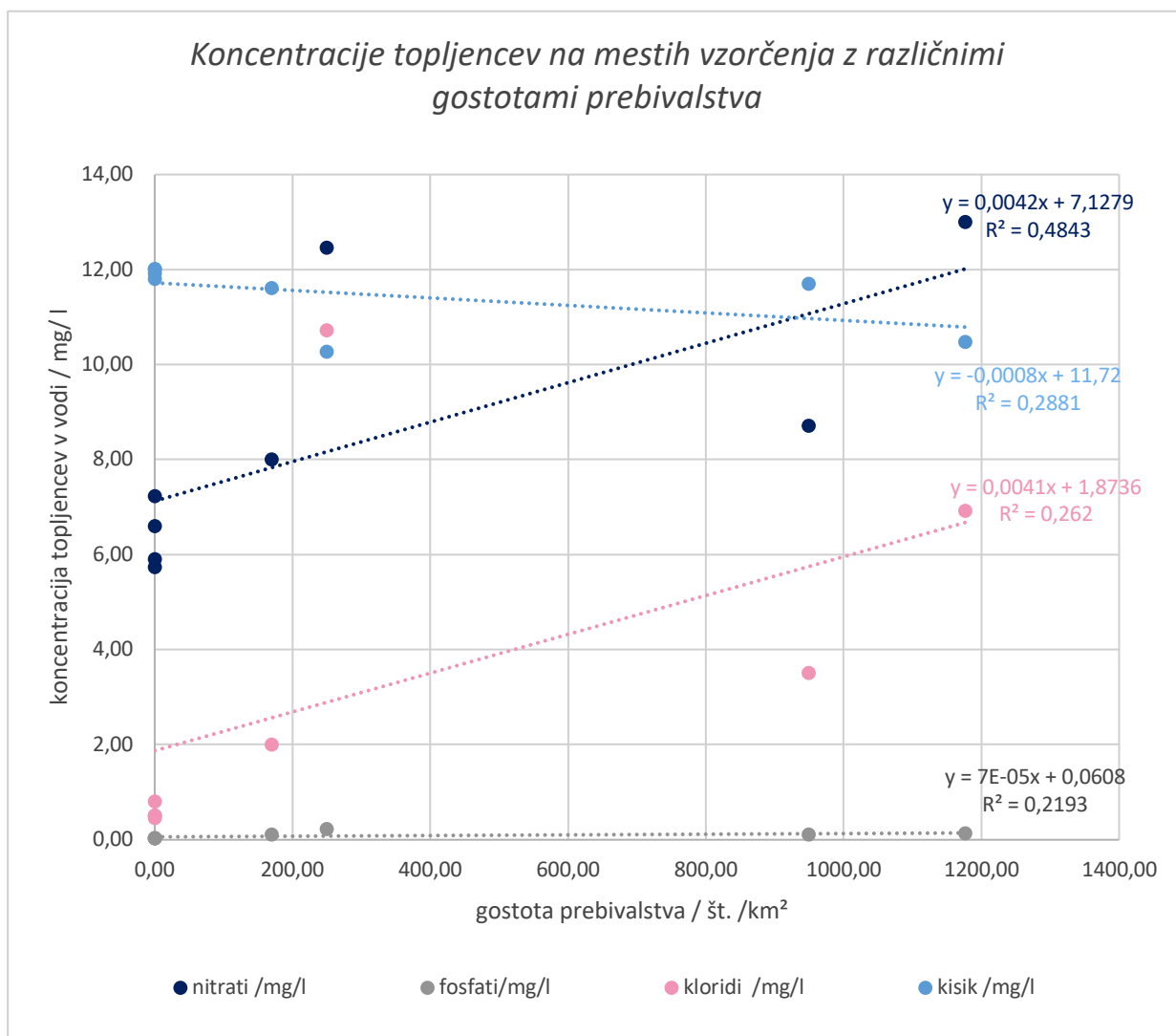
1. *Arhivski podatki – kakovost voda*. 2022. [internet]. [Citirano 9. 8. 2023]. Dostopno na: <https://www.arso.gov.si/vode/podatki/>
2. Beach, E. 2017. *Laundry Detergents & Pollution*. [internet]. [Citirano 9. 8. 2023]. Dostopno na: <https://sciencing.com/laundry-detergents-pollution-4847.html>
3. *Chloride and Salinity*. 2011. [internet]. [Citirano 9. 8. 2023]. Dostopno na: <https://ei.lehigh.edu/envirosoci/watershed/wq/wqbackground/chloridebg.html>
4. *Council directive concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources*. 1991. [internet]. [Citirano 9. 8. 2023]. Dostopno na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:01991L0676-20081211>
5. *Decreases in temperature with altitude*. [internet]. [Citirano 9. 8. 2023]. Dostopno na: <https://www.meteoswiss.admin.ch/weather/weather-and-climate-from-a-to-z/temperature/decreases-in-temperature-with-altitude.html>
6. *Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council on the quality of water intended for human consumption*. 2020. [internet]. [Citirano 9. 8. 2023]. Dostopno na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020L2184&qid=1689425642544>
7. El Baradei, S. 2020. *Studying the Effect of Channel Geometry on Different Water Quality Variables for Effective Designs and Waste Allocation Plans for Waterways*. [internet]. [Citirano 9. 8. 2023]. Dostopno na: <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/8/2176>
8. *Environmental signals 2000: Eutrophication*. 2016. [internet]. [Citirano 9. 8. 2023]. Dostopno na: <https://www.eea.europa.eu/publications/signals-2000/page014.html#:~:text=What%20is%20eutrophication%3F,key%20substance%20for%20salt%20waters>
9. Fernando, J. 2023. *R-Squared: Definition, Calculation, Formula, Uses, and Limitations*. [internet]. [Citirano 9. 8. 2023]. Dostopno na: <https://www.investopedia.com/terms/r/r-squared.asp#:~:text=In%20finance%2C%20an%20R%2Dsquared,depend%20on%20the%20specific%20analysis>
10. *Google maps*. 2023. [internet]. [Citirano 9. 8. 2023]. Dostopno na: https://www.google.com/maps/d/edit?hl=en&mid=1VUYDN_lvGbTBjHS-OjKmt54NsVKcMNC&ll=46.22134759975793%2C14.6646842&z=11
11. *Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first and second addenda*. 2022. [internet]. [Citirano 9. 8. 2023]. Dostopno na: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064>

12. *How does stream speed affect water quality?* [internet]. [Citirano 9. 8. 2023].
Dostopno na: <https://www.hrw.org/wp-content/uploads/Speed-Poster-lo-res.pdf>
13. Hribar, L. 2022. *Voda – vir življenja ali kaj bi moralo skrbeti Kamničane*. [internet]. [Citirano 9. 8. 2023]. Dostopno na: <https://www.kamnik.info/voda-vir-zivljenja-ali-kaj-bi-moralo-skrbeti-kamnicane/>
14. *Krajevna imena*. 2023. [internet]. [Citirano 9. 8. 2023]. Dostopno na: <https://www.stat.si/KrajevnaImena/Settlements/ByRegion>
15. Kingdon, M. J. et al. 1999. *River Discharge and Water Quality*. [internet]. [Citirano 9. 8. 2023]. Dostopno na: https://www.researchgate.net/publication/268427127_River_Discharge_and_Water_Quality
16. Kralj Serša, M. et al. 2015. *Kakovost voda*. [internet]. [Citirano 9. 8. 2023]. Dostopno na: <https://eucbeniki.sio.si/geol/2521/index3.html>
17. *Lowering the nitrate levels*. 2022. [internet]. [Citirano 9. 8. 2023]. Dostopno na: https://www.aquasabi.com/aquascaping-wiki_aquarium_lowering-the-nitrate-levels#:~:text=Fast%20growing%20aquatic%20plants%20in,of%20nitrate%20and%20phosphate%20concentrations
18. Mavc, B. 2022. *Ureditev odvajanja in čiščenja odpadnih voda na območju Velike planine*. [internet]. [Citirano 9. 8. 2023]. Dostopno na: <https://repozitorij.uni-lj.si/Dokument.php?id=157381&lang=slv>
19. Nagle G. et al. 2017. *IB Geography – 2nd edition*. Oxford: Oxford University Press.
20. *Nitrates – Protecting waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources*. [internet]. [Citirano 9. 8. 2023]. Dostopno na: https://environment.ec.europa.eu/topics/water/nitrates_en
21. *Nitrates*. 2011. [internet]. [Citirano 9. 8. 2023]. Dostopno na: <https://ei.lehigh.edu/envirosci/watershed/wq/wqbackground/nitratesbg.html>
22. *Nitrates and Phosphates: The Effects on Water Quality*. 2017. [internet]. [Citirano 9. 8. 2023]. Dostopno na: <https://www.agrismart.co.uk/nitrates-phosphates-effects-water-quality/>
23. *Občina Kamnik*. 2006. [internet]. [Citirano 9. 8. 2023]. Dostopno na: <https://www.kam.si/obcina-kamnik/>
24. Ogrin, D. et al. *Kamniška Bistrica – geografska podoba gorske doline*. 2017. [internet]. Ljubljana: Znanstvena založba Filozofske fakultete. [Citirano 9. 8. 2023]. Dostopno na: https://www.researchgate.net/profile/Ogrin-Darko-2/publication/316437536_Kamniska_Bistrica_-_geografska_podoba_gorske_doline_Kamniska_Bistrica_-_A_Geographic_Perspective_of_a_Mountain_Valley/links/5a6edae8458515d4075894e7/Kamniska-Bistrica-geografska-podoba-gorske-doline-Kamniska-Bistrica-A-Geographic-Perspective-of-a-Mountain-Valley.pdf?origin=publication_detail
25. *Osnovne značilnosti povodja reke Kamniške Bistrice*. 2015. [internet]. [Citirano 9. 8. 2023]. Dostopno na: http://www.zelena-os.si/osnovne_znacilnosti_povodja.html
26. *Phosphates*. 2011. [internet]. [Citirano 9. 8. 2023]. Dostopno na: <https://ei.lehigh.edu/envirosci/watershed/wq/wqbackground/phosphatesbg.html#%20>
27. *Phosphates in the environment*. 2020. [internet]. [Citirano 9. 8. 2023]. Dostopno na: <https://www.knowyourh2o.com/outdoor-4/phosphates-in-the-environment#:~:text=Phosphates%20enter%20waterways%20from%20human,industrial%20effluents%2C%20and%20fertilizer%20runoff>
28. *PISO*. 2023. [internet]. [Citirano 9. 8. 2023]. Dostopno na: <https://www.geoprostor.net/PisoPortal/vstopi.aspx>

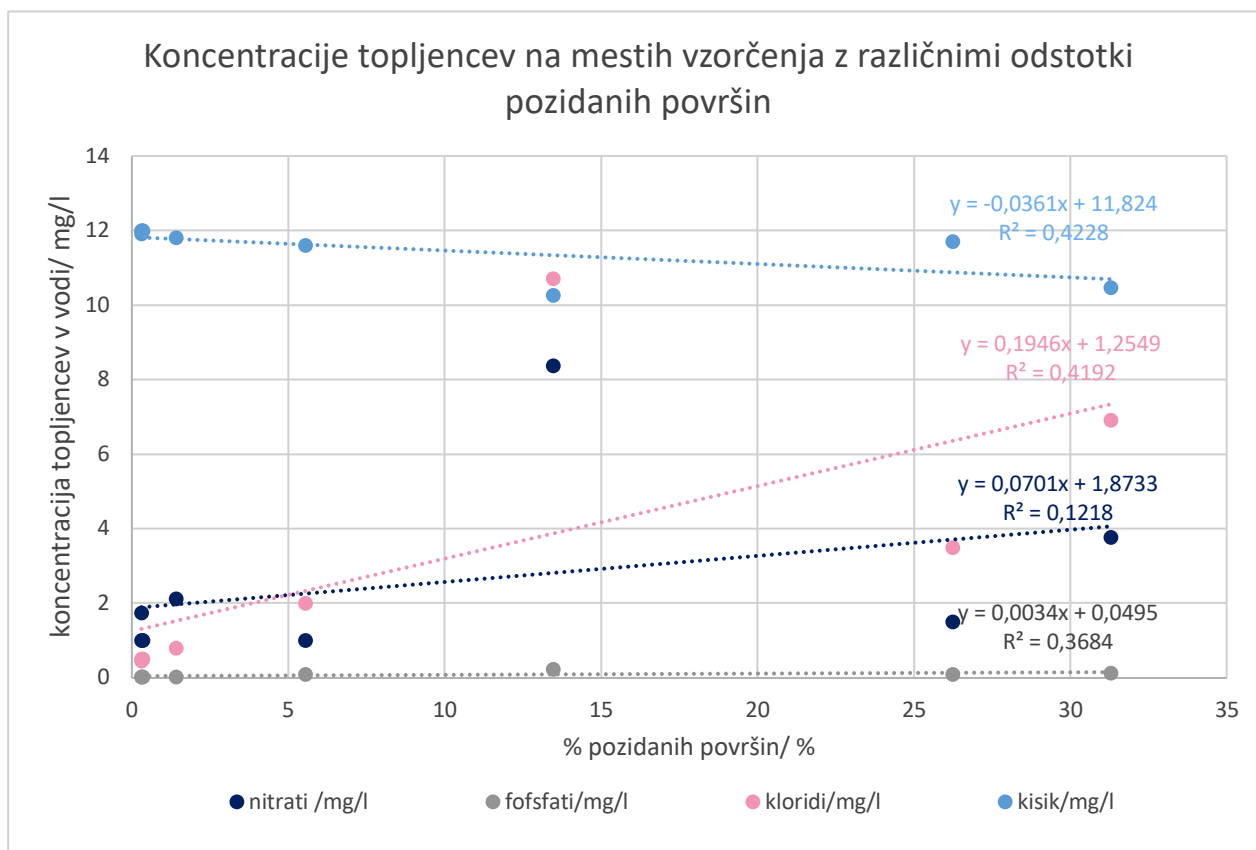
29. *PISO - Domžale*. 2023. [internet]. [Citirano 9. 8. 2023]. Dostopno na: <https://www.geoprostor.net/piso/ewmap.asp?obcina=domzale>
30. *Questions and Answers on new EU rules on surface water and groundwater pollution*. 2022. [internet]. [Citirano 9. 8. 2023]. Dostopno na: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_22_6279
31. Ramanaprasad, K. 1993. *Nitrate partitioning between water and sediments*. Florida Atlantic University ProQuest Dissertations Publishing. [internet]. [Citirano 9. 8. 2023]. Dostopno na: <https://www.proquest.com/openview/3651f9a9ce7cbc8474895cf8d2274052/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y>
32. Sagasta, J. M. et al. 2017. *Water pollution from agriculture: a global review*. [internet]. [Citirano 9. 8. 2023]. Dostopno na: <https://www.fao.org/3/i7754e/i7754e.pdf>
33. *Statistics for Ecologists: Using Excel for Spearman's Rank correlation*. 2019. [internet]. [Citirano 9. 8. 2023]. Dostopno na: <https://www.dataanalytics.org.uk/spearman-rank-correlation-in-excel/>
34. Trobec, T. 2017. *Kamniška Bistrica – geografska podoba gorske doline; Hidrogeografske značilnosti*. Ljubljana; Znanstvena založba Filozofske fakultete. [internet]. [Citirano 9. 8. 2023]. Dostopno na: <https://ebooks.uni-lj.si/zalozbavul/catalog/download/40/96/1120-1?inline=1>
35. *Upper Critical Values of Spearman's Rank Correlation Coefficient*. [internet]. [Citirano 9. 8. 2023]. Dostopno na: <https://www.york.ac.uk/depts/maths/tables/spearman.pdf>
36. *Velika planina- Vsebine za medije*. [internet]. [Citirano 9. 8. 2023]. Dostopno na: <http://www.velikaplanina.si/mediji/>
37. *Water Framework Directive*. 2023. [internet]. [Citirano 9. 8. 2023]. Dostopno na: https://environment.ec.europa.eu/topics/water/water-framework-directive_en
38. *Water: Monitoring & Assessment - Nitrates*. 2012. [internet]. [Citirano 9. 8. 2023]. Dostopno na: <https://archive.epa.gov/water/archive/web/html/vms57.html>
39. *Water protection and management*. 2023. [internet]. [Citirano 9. 8. 2023]. Dostopno na: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/en/sheet/74/water-protection-and-management#:~:text=The%20EU%20Water%20Framework%20Directive%20establishes%20a%20framework%20for%20the,effects%20of%20floods%20and%20droughts>
40. *Water quality: Dissolved oxygen*. 2023. [internet]. [Citirano 9. 8. 2023]. Dostopno na: <https://extension.usu.edu/waterquality/learnaboutsurfacewater/propertiesofwater/dissolvedoxygen>
41. *Water Quality: Information, Importance and Testing*. 2023. [internet]. [Citirano 9. 8. 2023]. Dostopno na: <https://svalbardi.com/blogs/water/quality>
42. *Water quality – Natural Influences*. [internet]. [Citirano 9. 8. 2023]. Dostopno na: <https://extension.usu.edu/waterquality/protectyourwater/naturalinfluences>
43. *Water temperature*. 2014. [internet]. [Citirano 9. 8. 2023]. Dostopno na: <https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/water-temperature/>
44. *What is chlorination?* [internet]. [Citirano 9. 8. 2023]. Dostopno na: <https://www.safewater.org/fact-sheets-1/2017/1/23/what-is-chlorination>

PRILOGA

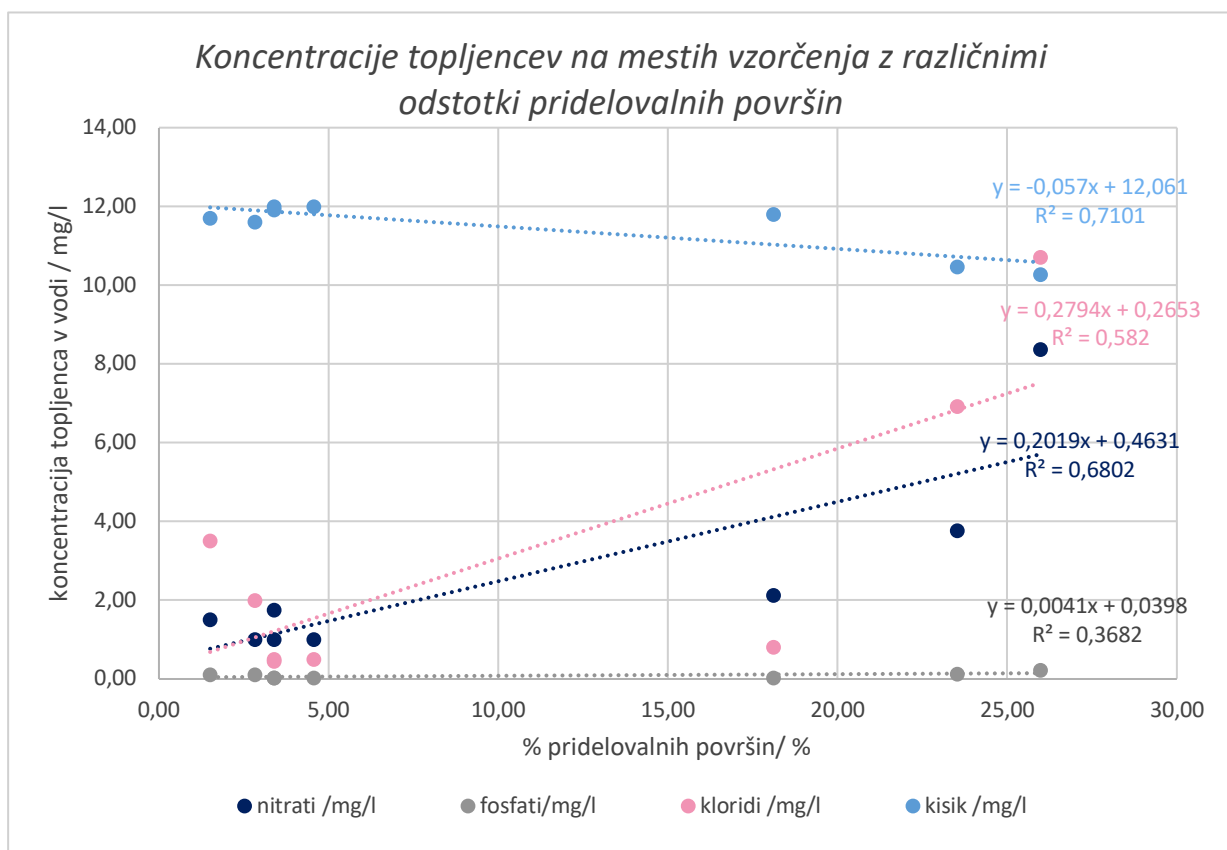
GRAFI KONCENTRACIJ TOPLJENCEV ZA DRUGE NEODVISNE SPREMENLJIVKE



Slika 40 – Koncentracije topljencev na mestih vzorčenja z različnimi gostotami prebivalstva

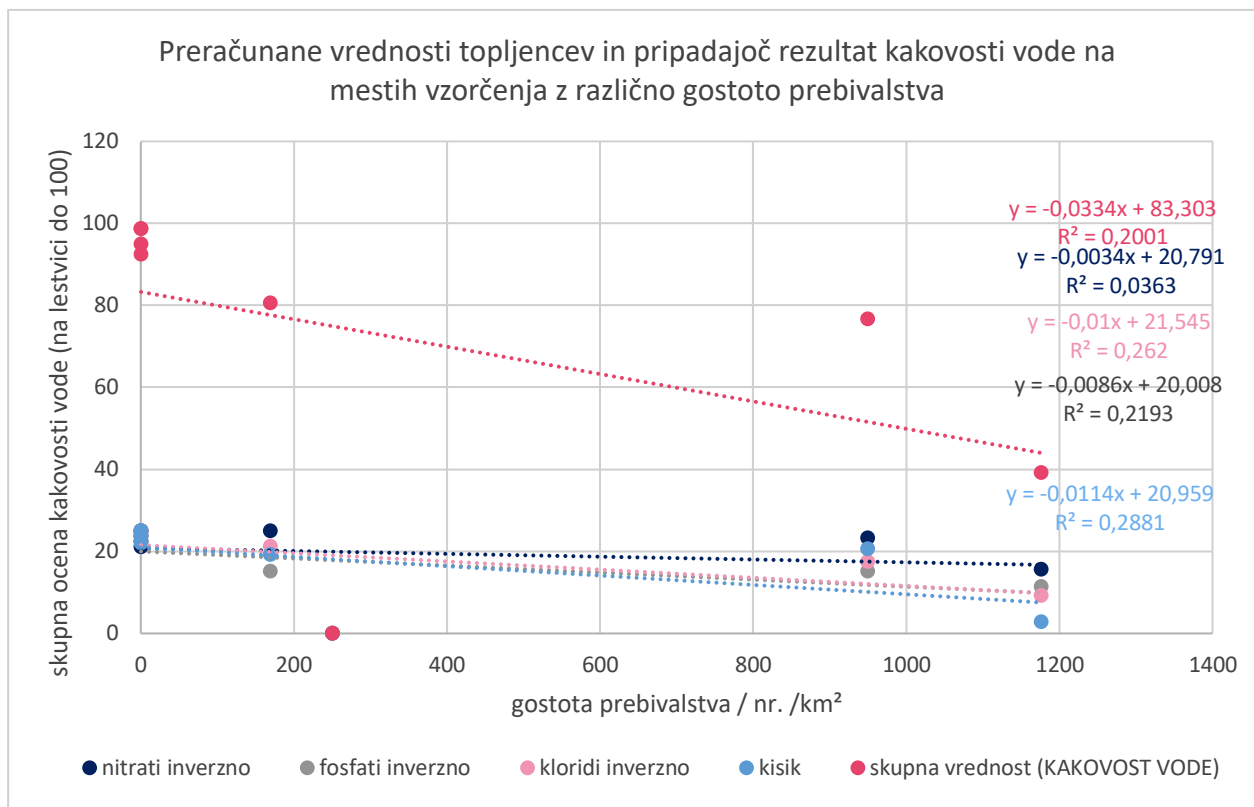


Slika 41 – Koncentracije topljencev na mestih vzorčenja z različnimi odstotki pozidanih površin

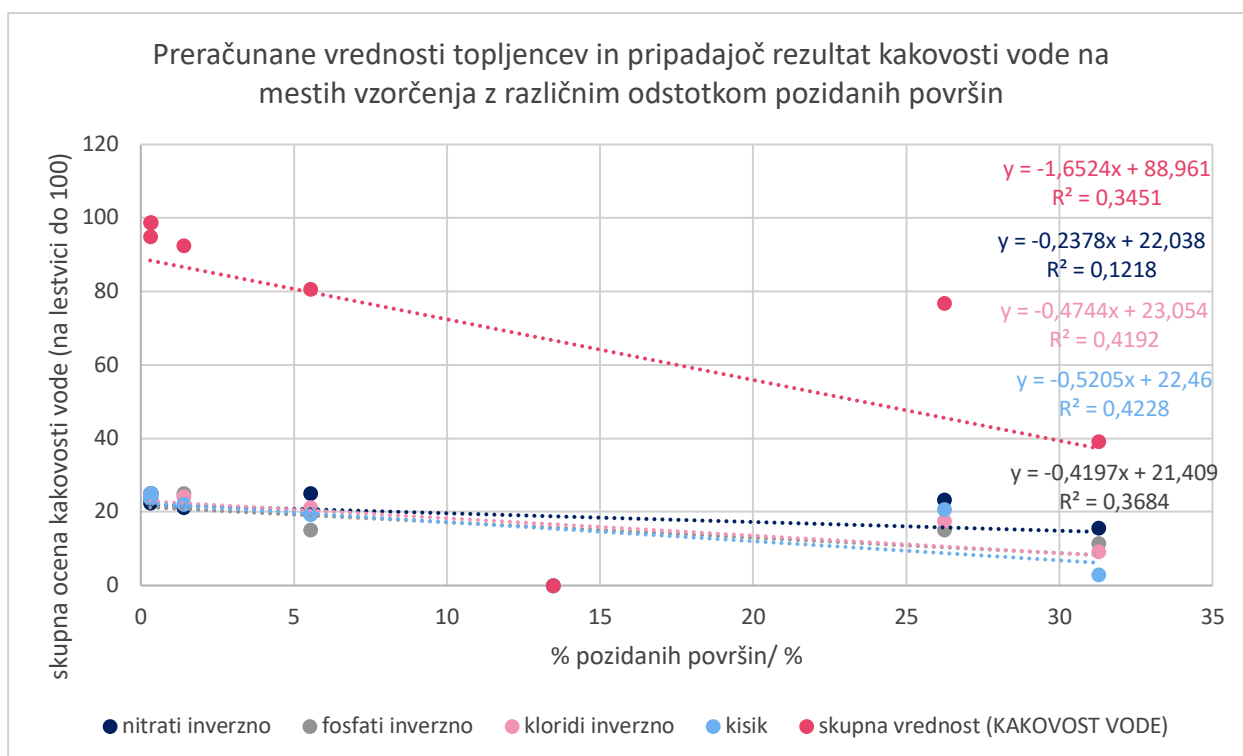


Slika 42 – Koncentracije topljencev na mestih vzorčenja z različnimi odstotki pridelovalnih površin

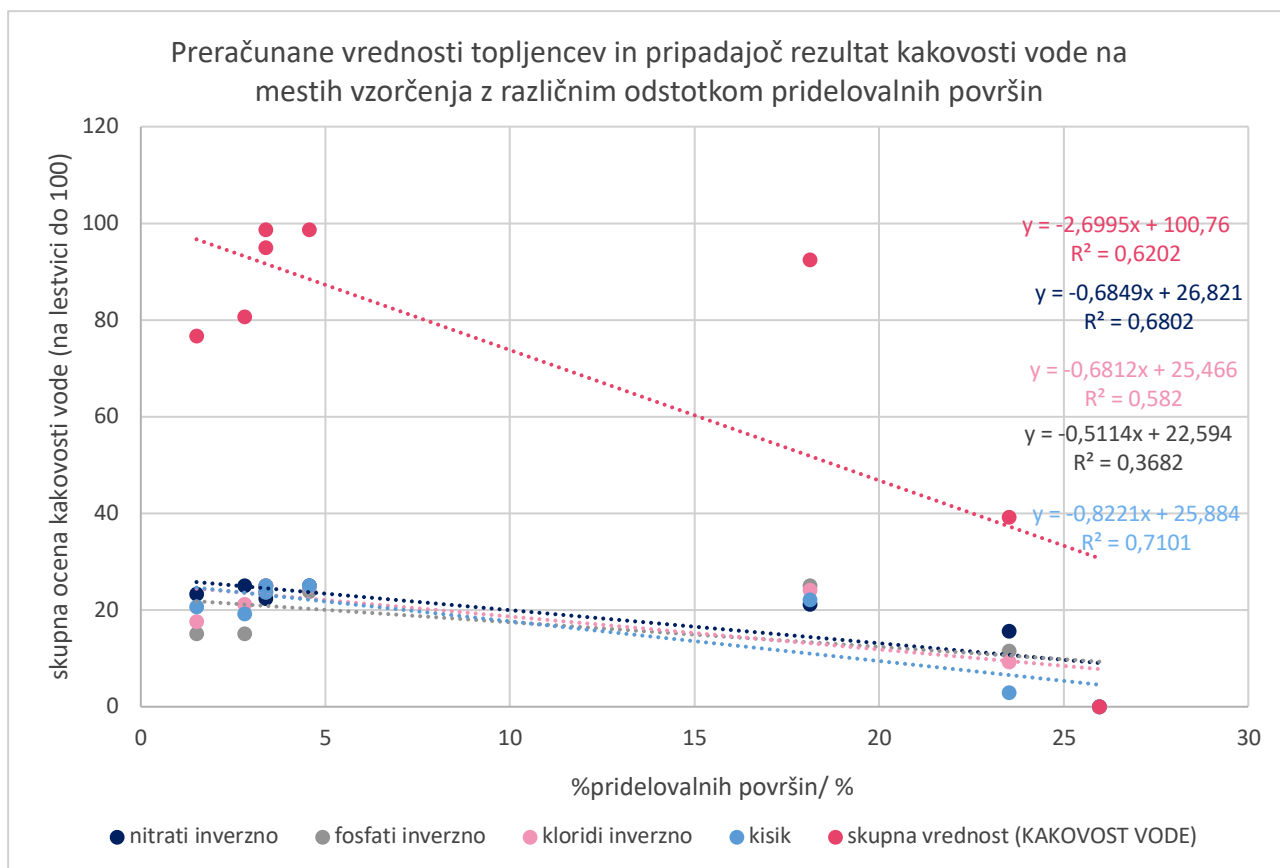
GRAFI REZULTATOV KAKOVOSTI VODE ZA DRUGE NEODVISNE SPREMENLJIVKE



Slika 43 – Preračunane vrednosti topljencev, ki prispevajo k skupni oceni kakovosti vode in kakovost vode na lestvici do 100 na mestih vzorčenja z različno gostoto prebivalstva



Slika 44 – Preračunane vrednosti topljencev, ki prispevajo k skupni oceni kakovosti vode in kakovost vode na lestvici do 100 na mestih vzorčenja z različnim odstotkom pozidanih površin



Slika 45 – Preračunane vrednosti topljencev, ki prispevajo k skupni oceni kakovosti vode in kakovost vode na lestvici do 100 na mestih vzorčenja z različnimi odstotki pridelovalnih površin

IZRAČUN VZORCA SPEARMANJEVEGA KOEFICIENTA

mesto vzorčenja	gostota prebivalstva / št. /km ²	temperatura /°C	KOEFICIENT X (gostota prebivalstva)	KOEFICIENT Y (temperatura)	RAZLIKA	KVADRAT RAZLIKE	nitrati /mg/l	KOEFICIENT T Y (nitrati)	RAZLIKA	KVADRAT RAZLIKE	fosfati /mg/l	KOEFICIENT Y (fosfati)	RAZLIKA	KVADRAT RAZLIKE
izvir	0.34	5.73	2.5	1	1.5	2.25	1.75	5	-2.5	6.25	0.03	4	-1.5	2.25
KB1	0.34	5.90	2.5	2	0.5	0.25	1.00	2	0.5	0.25	0.03	2.5	0	0
KB2	0.34	6.60	2.5	3	-0.5	0.25	1.00	2	0.5	0.25	0.03	2.5	0	0
KB3	0.34	7.23	2.5	4	-1.5	2.25	2.13	6	-3.5	12.25	0.02	1	1.5	2.25
KB4	198.89	8.00	5	5	0	0	1.00	2	3	9.00	0.10	5.5	-0.5	0.25
KB5	456.22	8.70	7	6	1	1	1.50	4	3	9.00	0.10	5.5	1.5	2.25
Ihan	1171.76	12.99	8	8	0	0	3.77	7	1	1.00	0.13	7	1	1
Beričevo	283.38	12.45	6	7	-1	1	8.37	8	-2	4.00	0.22	8	-2	4
						7				42				12
mesto vzorčenja	gostota prebivalstva /št. /km ²	kloridi /mg/l	KOEFICIENT X (gostota prebivalstva)	KOEFICIENT Y (kloridi)	RAZLIKA	KVADRAT RAZLIKE	kisik /mg/l	KOEFICIENT T Y (kisik)	RAZLIKA	KVADRAT RAZLIKE	kakovost vode /na lestvici do 100	KOEFICIENT Y (kakovost vode)	RAZLIKA	KVADRAT RAZLIKE
izvir	0.34	0.46	2.5	1	1.5	2.25	11.91	6	-3.5	12.25	94.95	6	3.5	12.25
KB1	0.34	0.50	2.5	2.5	0	0	12.00	7.5	-5	25	98.70	7.5	5	25
KB2	0.34	0.50	2.5	2.5	0	0	12.00	7.5	-5	25	98.70	7.5	5	25
KB3	0.34	0.80	2.5	4	-1.5	2.25	11.80	5	-2.5	6.25	92.45	5	2.5	6.25
KB4	198.89	2.00	5	5	0	0	11.60	3	2	4	80.64	4	-1	1
KB5	456.22	3.50	7	6	1	1	11.70	4	3	9	76.73	3	-4	16
Ihan	1171.76	6.91	8	7	1	1	10.47	2	6	36	39.23	2	-6	36
Beričevo	283.38	10.71	6	8	-2	4	10.27	1	5	25	0	1	-5	25
						10.5				142.5				146.5
temperatura	nitrati	fosfati	kloridi	kisik	kakovost vode									
6ΣD2	42	252	72	63	855	879								
n(n ² -1)	504	504	504	504	504	504								
r	0.917	0.500	0.857	0.875	-0.696	-0.744								

Slika 46 – Primer preračuna Spearmanovega korelacijskega koeficienta

VZOREC VPRAŠALNIKA

a) Kje po toku Kamniške Bistrice navzdol se kvaliteta voda najbolj drastično spremeni/poslabša?

- 1 source-KB1
- 2 KB1-KB2
- 3 KB2-KB3
- 4 KB3-KB4
- 5 KB4-KB5
- 6 KB5-Ihan
- 7 Ihan-Beričevo

b) Za katero človeško aktivnost bi rekli, da najbolj negativno vpliva na kvaliteto vode v Kamniški Bistrici?

- 1 kmetijstvo
- 2 industrija
- 3 pozidanost
- 4 gostota prebivalstva
- 5 ostalo

c) Kater parameter se vam zdi, da najbolj močno znižuje kvaliteto vode v Kamniški Bistrici?

- 1 nitrati (gnojila)
- 2 fosfati(industrijske odplake)
- 3 kloridi(prečiščevanje odpadnih voda)
- 4 kisik
- 5 temperatura

d) Kater ukrep za preprečevanje onesnaženja vode se vam zdi najpomembnejši?

- 1 ustrezna kanalizacija
- 2 strožji zakoni glede nevarnih izpustov v industriji
- 3 strožji zakoni glede uporabe vode v gospodinjstvih
- 4 strožji zakoni glede časa in obsega gnojenja polj
- 5 čiščenje divjih odlagališč odpadkov
- 6 pravila glede urbanizacije (obvodni pas)

e) Kako pomembna vam je kakovost pitne vode?

- 1 (najbolj)
- 2
- 3
- 4
- 5 (nič)

f) Kako pomembna vam je kakovost vode v reki (Kamniški Bistrici)?

- 1 (najbolj)
- 2
- 3
- 4
- 5 (nič)