



ŠOLSKI CENTER POSTOJNA
SREDNJA ŠOLA

ONESNAŽENOST REKE PIVKE IN NJENIH PRITOKOV

RAZISKOVALNA NALOGA

Tematsko področje: biologija

Avtorji: Nika Kontelj 3.a,

Doroteja Vidmar Gajšek 3.a

Mentorica:

Barbara Dekleva, mag. funkc. biol.

Somentorji:

doc. dr. Janez Mulec,

Sara Skok, mag. mol. funkc. biol.

Postojna, 2021

ZAHVALA

Za mentorstvo, spodbudo in strokovno svetovanje se zahvaljujema Barbari Dekleva, prof. biologije. Ustreznih analiz ne bi mogli izvesti brez pomoči Inštituta za raziskovanje krasa ZRC SAZU, še posebej brez somentorjev doc. dr. Janeza Mulca in Sare Skok, mag. mol. funkc. biol..

Hvala tudi staršem, ki so naju podprli in nama omogočili dostop do terena in naju spodbujali. Pri izvedbi terenskega dela nama je pomagala tudi Ana Kocjančič Tomazin.

Posebna zahvala gre gospodu Leonu Kontlju, ki nama je opisal zgodovino onesnaženja reke Pivke. Zahvaljujema se tudi Tristanu Blažku za pomoč pri tehnični izvedbi.

KAZALO VSEBINE

POVZETEK	6
ABSTRACT	7
1 UVOD	8
2 TEORETIČNI DEL	9
2.1 Kras	9
2.1.1 Poimenovanje krasa.....	9
2.1.2 Notranjski kras	9
2.1.3 Naravna sposobnost prečiščevanja krasa	10
2.2 Zgodovina onesnaženja	11
2.3 Raziskovani parametri	12
2.3.1 Fizikalno–kemijski parametri.....	13
2.3.1.1 Barva	13
2.3.1.2 Vonj.....	13
2.3.1.3 Kalnost	14
2.3.1.4 Lebdeči material v vodi.....	14
2.3.1.5 Penjenje	14
2.3.1.6 pH.....	15
2.3.1.7 Vsebnost nitratov in nitritov.....	15
2.3.1.8 Vsebnost amonija	16
2.3.1.9 Prevodnost vode	16
2.3.1.10 Vsebnost kisika	16
2.3.2 Biološki parametri.....	17
2.3.2.1 Bioindikatorji	17
2.3.2.2 Glive.....	17
2.3.3 Mikrobiološki parametri.....	17
2.3.3.1 ATP analiza	18
2.3.3.2 Escherichia coli (E. coli)	18
2.3.3.3 Enterokoki	19
2.3.3.4 Pseudomonas aeruginosa.....	19
3.1 Materiali in metode eksperimentalnega dela raziskovanja leta 2020	20
3.2 Materiali in metode eksperimentalnega dela raziskovanja leta 2021	20
3.2.1 Potek dela na terenu	21
3.2.2 Raziskovanje fizikalnih parametrov.....	21
3.2.3 Mikrobiološke analize v laboratoriju	21
3.2.3.1 ATP analiza	21
3.2.3.2 Mikrobiološka analiza bakterij in gliv.....	22

3.2.4 Raziskovanje kemijskih parametrov v laboratoriju in z terenskim kovčkom	23
4 REZULTATI IN DISKUSIJA	24
4.1 Rezultati in diskusija meritev leta 2020	24
4.2 Rezultati in diskusija meritev leta 2021	26
4.2.1 ATP analiza	27
4.2.2 Celokupno število bakterijskih kolonij.....	28
4.2.3 Bakterijski indikatorji fekalnega onesnaženja.....	29
4.2.4 Glive	29
4.2.5 Fizikalni parametri	30
4.2.6 Ioni	31
4.2.6.1 Kationi.....	31
4.2.6.2 Anioni.....	32
4.3 Splošna diskusija celotnega stanja vodotoka in sklepi.....	33
4.4 Vpliv onesnaženja na rečne in obrečne organizme	35
6 ZAKLJUČEK	37
7 VIRI IN LITERATURA	38
PRILOGE	40
PRILOGA A: Pravilnik o pitni vodi (Ur.l. RS št.:19/04 in 35/04), Priloga 1, del C	40
PRILOGA B: Zemljevid reke Pivke.....	41
PRILOGA C: Zemljevid potencialnih virov onesnaženja skozi rečni tok	42
PRILOGA D: Graf celokupnega števila bakterijskih kolonij po 48 urah inkubacije na 37 °C in po 7 dneh inkubacije na 22 °C	43

KAZALO SLIK

Slika 1. Struga reke ponikalnice gorvodno od vzorčnega mesta 6 (Prestranek) (vir Doroteja Vidmar Gajšek)	9
Slika 2. Struga reke Pivke pri izviru (vir Nika Kontelj).....	10
Slika 3. Struga reke Pivke ob izlivu v Postojnsko jamo (vir Nika Kontelj).....	10
Slika 4. Kompleks industrijske cone Javor v Pivki (osebni arhiv Doroteja Vidmar Gajšek).....	11
Slika 5. Kanalizacija pri vasi Klenik (vir Doroteja Vidmar Gajšek).....	11
Slika 6. Barvna shema vzorcev (vir Doroteja Vidmar Gajšek).....	13
Slika 7. Analiza s pH lističi (vir Doroteja Vidmar Gajšek).....	15
Slika 8. Domači pripomočki za analizo vode (vir Doroteja Vidmar Gajšek)	15
Slika 9. Gojišča Compact Dry EC- medium for E. coli and coliforms na katerih smo gojili koliformne bakterije (vir Doroteja Vidmar Gajšek)	19
Slika 10. Delo v laboratoriju (osebni arhiv Sara Skok).....	22
Slika 11. Primerjava struge pri Žejskih mlinih pri Prestranku ob deževju in v sušnem obdobju (vir Doroteja Vidmar Gajšek)	26
Slika 12. Divje odlagališče pri pritoku Nanoščica (vir Doroteja Vidmar Gajšek)	33
Slika 13. Ličinka mladotice in pijavka v vodi pri Kleniku (vir Nika Kontelj).....	35
Slika 14. Mrest pri Prestranku (vir Nika Kontelj)	35

KAZALO TABEL

Tabela 1: Rezultati meritev v sušnem obdobju leta 2020	24
Tabela 2: Rezultati meritev po deževnem obdobju v letu 2020	25
Tabela 3: Določena merilna mesta v letu 2021 in njihova točna lokacija.....	26
Tabela 4: Izmerjeni fizikalni parametri	30
Tabela 5: Vrednosti kationov na posameznih merilnih mestih	31
Tabela 6: Vrednosti anionov na posameznih merilnih mestih	32
Tabela 7: Ustreznost merilnih mest glede na mejne vrednosti za pitno vodo	34

KAZALO GRAFOV

Graf 1: Vrednost ATP-ja na posameznih merilnih mestih	Napaka! Zaznamek ni definiran.
Graf 2: Primerjava celokupnega števila bakterijskih kolonij glede na čas in temperaturo	28
Graf 3: Prikaz koncentracije indikatorskih skupin bakterij (E.coli, koliformi, enterokoki) ki nam pomenijo fekalno onesnaženje vodotokov.	29
Graf 4: Število kolonij kvasovk in plesni po 7 dneh inkubacije na 22 °C.....	30

POVZETEK

Kako se spreminja onesnaženost reke Pivke in njenih pritokov od izvira do izliva v Postojnsko jamo?

Kaj vse vpliva na onesnaženje?

Pripravili sva raziskovalno nalogo o onesnaženosti reke Pivke in njenih pritokov, v kateri sva se osredotočili predvsem na analizo enega vzorčenja. Reka Pivka je del reke sedmerih imen, ki izvira kot Trbuhovica na robu Prezidskega polja na Hrvaškem in se kot Ljubljanica izliva v reko Savo pri Podgradu. Reka Pivka je reka ponikalnica, ki teče preko kraškega polja. Kraške reke ponikalnice so zelo dovzetne za uničujoča onesnaženja. Ljudi želiva spodbuditi k razmisleku o njihovem vplivu na okolje in jih opomniti, da živijo na dragocenem in občutljivem območju.

Osredotočili sva se na današnje stanje vodotoka, raziskovali različne faktorje onesnaženja, primerjali različne dele toka in opaženo stanje povezovali z dejavniki, ki bi nanje lahko vplivali.

Pričakovali sva, da bodo dejavniki onesnaženja, kot so bližina naselij in industrijskih con, negativno vplivali na čistočo vode. Nekoliko sva raziskali tudi vpliv onesnaženja na rečne in obrečne organizme, ki so značilni za kraški svet.

Ugotovili sva, da je onesnaženost vodotoka občutno večja ob kmetijskih površinah. Zaradi obilnega gnojenja se felikalije živalskega izvora izpirajo v vodotok, še posebej v času obilnega deževja. Opazen je tudi vpliv čistilne naprave Pivka. Velik problem so številna divja odlagališča in splošno stanje vodotoka. Voda reke Pivke, ki sva jo zajeli v najinih vzorcih, ni pitna.

KLJUČNE BESEDE: onesnaženost, reka Pivka, kraške reke ponikalnice, faktorji onesnaženja, rečni in obrečni organizmi, kraški svet.

ABSTRACT

How is the pollution of the Pivka river and its affluents changing from Pivka to Postojna?

What affects the pollution?

We have prepared a research paper on the pollution of the Pivka river and its affluents in which we focused mostly on analysis of one sampling. The river Pivka is a part of the so-called river of seven names, which springs as Trbuhovica at the edge of Prezidsko polje in Croatia and as Ljubljanica flows into the Sava River near Podgrad. The river Pivka is an intermittent river that flows over karst fields. Karst intermittent rivers are very susceptible to destructive pollution. We want to encourage people to think about their impact on the environment and remind them that they live in a valuable and sensitive environment.

We focused on the current condition of the stream, we investigated different pollution factors, compared them according to different parts of the flow and researched what could affect them.

Pollution factors such as proximity to settlements and industrial zones were expected to adversely affect water quality. We somewhat investigated the impact on the river and riparian organisms that are specific to the karst world.

We found that water pollution is significantly higher along agricultural lands. Due to abundant fertilization, fecal matter of animal origin is washed into the watercourse, especially during heavy rains. The influence of the Pivka treatment plant is also noticeable. Many dumping grounds and the overall condition of the watercourse are a big problem. The water of the Pivka river, that we investigated, is not drinkable.

KEYWORDS: pollution, river Pivka, karst intermittent rivers, pollution factors, river and riparian organisms, karst world.

1 UVOD

Kras je igra narave, čudež jutranje zarje in skrivnost podzemnega sveta. Je pesem brinjevk, ki jo spremlja žuborenje potokov, ki ne potihne ob suši temveč melodija vode tiho, skrivnostno prihaja iz podzemlja. Kras je pokrajina, ki od nekdaj privlači mlado in staro od daleč in blizu ter vedno znova navdušuje s svojimi skritimi kotički in lepoto, barvami in vetrom, ki včasih nežno boža lica, spet drugič ruva drevesa.

Kraško površje in podzemlje je od vedno burilo duhove in zanimalo človeka. O jamah, krasu in presihajočih jezerih je pisal že Valvasor v Slavi Vojvodine Kranjske. Kljub temu ta pokrajina še danes ni dobro raziskana, največ podatkov je dosegljivih na spletni strani Agencije Republike Slovenije za okolje, ki je edini zanesljiv vir, ki opisuje stanje kraških ponikalnic. Večino raziskav stanja sva bili zato primorani izvesti sami s pomočjo mentorice in Inštituta za raziskovanje krasa Postojna.

Človek skozi zgodovino tej prečudoviti pokrajini vedno znova kvari podobo z odpadki, nevarnimi izpusti ter uničuje floro in favno. Velikokrat se ne zaveda, da s svojimi dejanji zastruplja tako okolje kot tudi sebe. Nevarnost onesnaženja kraških voda je na tem področju še večji problem, saj so te med seboj povezane. Z onesnaženjem kraških voda vedno znova tvegamo izumrtje živalskih in rastlinskih vrst pa tudi mnogih endemitov.

Cilj naloge je najti največje dejavnike onesnaženja in ljudem na primeru predstaviti zakaj je onesnaženje kraških voda tako uničujoče, zakaj se pojavi in kaj vse vpliva na onesnaženost kraških vodotokov.

V začetnem delu vam bova zato predstavili kras in kraške ponikalice ter okolje v katerem je potekala najina raziskovalna naloga. Na kratko se bova dotaknili tudi zgodovine onesnaženja in podrobneje raziskali onesnaženje porečja reke Pivke danes.

Pred začetkom raziskovalnega dela sva postavili naslednje hipoteze:

- Kmetijska dejavnost in industrijske cone pomembno vplivajo na razporeditev onesnaženosti skozi rečni tok. Sklepava, da bo onesnaženje vodotoka ob naseljih in kmetijskih površine večje.
- Čistilna naprava vpliva na kvaliteto vodotoka.
- Na kvaliteto vode vplivajo divja odlagališča.
- Voda reke Pivke ni primerna za pitje.
- Flora in favna rečnega okolja sta prizadeta zaradi onesnaženja.

2 TEORETIČNI DEL

2.1 Kras

2.1.1 Poimenovanje krasa

Beseda kras izhaja iz starega ljudskega izraza za kamen in je prvotno pomenila kamnito pokrajino. Prvič je prišla v uporabo, kot oznaka za vse področje med Tržaškim zalivom, Vipavsko dolino, Soško dolino in Brkini. To območje je poznano tudi pod imenom Tržaški kras. Za to pokrajino je značilna prisotnost sedimentne kamnine apnenec, ki je zaradi velike količine kalcijevega karbonata primerna podlaga za kemično erozijo ali korozijo, ki s pomočjo vode oblikuje površje. Ker je bilo to prvo opisano območje s tem pojavom se je beseda prevzela in danes kras (z malo začetnico) predstavlja kamnito območje, kjer vpliv vode na apnenec ustvarja različne površinske oblike. Kras (z veliko začetnico), pa pomeni območje, ki obsega Južno Primorsko, Tržaško pokrajino, del notranjske ter Goriško pokrajino v Italiji.

Za Kras je bila sprva značilna negostoljubna kamnita puščava, neprimerna za življenje, s pogozdovanjem v 19. stoletju pa so se razmere za kmetijstvo, gozdarstvo in življenje nasploh izboljšale (pogozdovanje je zmanjšalo erozijo tal). Sedaj je to območje znano predvsem še po znamenitih jamah kot so Postojnska, Škocjanske, Vilenica, Križna jama in še mnoge druge. Znana so tudi presihajoča jezera, pestra flora in favna (znamenita je predvsem človeška ribica), jedi, kot so Kraški teran in Kraški pršut in pa močan veter burja. Za glavno mesto Krasa je imenovana Sežana.



Slika 1. Struga reke ponikalnice gorvodno od vzorčnega mesta 6 (Prestranek) (vir: Doroteja Vidmar Gajšek)

Seveda pa to ni edino območje s kraškimi značilnostim. V tuji literaturi se za ta območja uporablja angleška beseda karst, oziroma italijansko carso. Največje tako območje v Evropi je Dinarski kras, najobširnejši območji pa sta na Kitajskem, ki obsega 600.000 km² površine (UNESCO World Heritage Centre, 2014). in v Avstraliji, kjer pokriva 500.000 km² (Tony Baker, 2005). Večina kraških območij se nahaja v zmernem podnebnem pasu.

2.1.2 Notranjski kras

Reka Pivka se nahaja na območju Dinarskega krasa, ki se razprostira na približno 150 km širokem in 460 km dolgem pasu od Italije in Slovenije na severozahodu, preko Hrvaške, Bosne in Hercegovine in Srbije, do Albanije in Črne Gore na jugovzhodu. Tla na tem območju gradijo večinoma karbonatne kamnine, apnenec in dolomit iz različnih geoloških dob (Božić, 2012).

Porečje Pivke sestavlja okrog 140 km vodnih tokov, od tega je 66% takih, ki pojavljajo občasno in 34% stalnih. Pivka izvira pri Zagorju in ponikne v Postojnsko jamo, celotna dolžina rečnega toka je 26 km.

Znani izviri so tudi Pivščica, Videmščica, Podlaznica, Žejski izviri (Petrič, Kogovšek, 2005). V času poplav, ki so najpogostejše jeseni, je pod vodo 16% sveta Pivške kotline.

Porečje reke Pivke delimo na Zgornjo in Spodnjo Pivko. Kotlina Zgornje Pivke se nahaja na nadmorski višini 620 m (Koritnice), ki se spusti do 520 m (Prestranek) (Mulec idr., 2005). V Zgornji Pivki prevladujejo dolomitne kamnine. Spodnja Pivka pa leži severno od Prestranka in sestavljajo jo predvsem flišne kamnine. Spodnji del Pivke je tektonsko precej aktiven (Šebela, 2005).

2.1.3 Naravna sposobnost prečiščevanja krasa

Kraška pokrajina je brezvodno področje z redkimi izviri in površinskimi vodami, ki spominja na puščavo.

Na nekraškem terenu se voda prefiltrira in kemično, fizikalno in biološko očisti pri podpovršinskem pretakanju skozi prst, na krasu pa je pod njo prevotljena skala, in voda priteče neposredno v podzemlje, kjer je samoočiščenje upočasnjeno, možnost kemičnega in biološkega onesnaženja pa je večja. Zato odpadkov ne bi smeli odlagati v kraške jame in brezna ali nasploh neposredno v okolje, a tako ne ravna le posamezniki temveč tudi nekatere gospodarske organizacije. Samoočistilna sposobnost vode je v veliki meri odvisna od hitrosti pretoka in vrste onesnaženja. Degradacija jam je zaradi onesnaževanja precejšnja, na žalost pa se uničevanje kraških lepot ne konča le pri jamah, temveč se pozna tudi pri spreminjanju rečnega toka in onesnaženju kraških voda in njihove prebivalce.

Če želimo spremljati onesnaženje kraških voda, moramo poznati več značilnosti kraške pokrajine: kako se voda pretaka pod površjem, kje se nahajajo viri onesnaženja, kje voda izvira na površje...



Slika 2. Struga reke Pivke pri izviru (vir: Nika Kontelj)



Slika 3. Struga reke Pivke ob izlivu v Postojnsko jamo (vir: Nika Kontelj)

Kaj onesnažuje kraško vodo? Velika težava so neprimerno zgrajena odlagališča odpadkov in črna odlagališča (glej str. 31, slika 12.). Tu je še kmetijstvo, ki v okolje spušča vse več gnojil in fitofarmaceutskih sredstev ter industrija z najrazličnejšimi nevarnimi odpadki, ki nastajajo v procesih proizvodnje.

Onesnaženje lahko izvira tudi iz zraka. V padavinah se raztopijo onesnažila, predvsem dušikovi oksidi zaradi prometa in žveplov dioksid, ki nastaja v največji meri pri izogrevanju fosilnih goriv. Tako je dež, ki pada na kraška tla, razredčena raztopina dušikove in žveplene kisline.

Varovanje kraških voda je izrednega pomena, saj so kraški vodonosniki zelo ranljivi, obremenjeni in ogroženi. Ogroženi so zaradi hitre infiltracije vode v podzemlje, hitrega podzemnega pretakanja po

kraških kanalih in možnosti hitrega širjenja onesnaženja v različnih smereh ter možnosti dolgotrajnega onesnaženja v conah slabše prepustnosti.

2.2 Zgodovina onesnaženja

Človek onesnažuje reko Pivko že odkar se je naselil na področje Pivške kotline, količina onesnaženja pa se skozi leta, stoletja spreminja. Najdbe v Betalovem in drugih spodmolih pričajo, da se je človek na to območje naselil že v prazgodovini. Kasneje v srednjem veku, ki velja za obdobje slabe higiene, pa le-te niso bile edina težava za kraški svet. Turki so med svojimi vpadi požigali vasi, gozdove in tako oskrunili naravno bogastvo in biotsko pestrost pokrajine. Železnica se je pojavila leta 1857 kar je sprožilo postopno industrializacijo. Pivka je bila skozi zgodovino onesnažena predvsem zaradi industrije in kmetijstva ter neodgovornega izpuščanja nevarnih snovi v okolje.

O izkušnjah o onesnaženosti reke Pivke sva vprašali tudi gospoda Leona Kontlja, občana občine Pivka, rojenega leta 1939. Izvedeli sva, da se je onesnaženost skozi leta spreminjala, danes pa so razmere v primerjavi s preteklostjo veliko boljše.



Slika 4. Kompleks industrijske cone Javor v Pivki (vir: Doroteja Vidmar Gajšek)



Slika 5. Kanalizacija pri vasi Klenik (vir: Doroteja Vidmar Gajšek)

Velik dejavnik onesnaženja je gospod Kontelj predpisal industriji, ki se je v občini Pivka začela leta 1934, ko je rodbina Windischgrätz kupila propadlo žago v Pivki (tedaj imenovani Šent Peter na Krasu). Podjetje se je preoblikovalo in leta 1937 je tovarna začela s proizvodnjo vezanih plošč. Ta tovarna je bila po vojni znana pod imenom Javor Pivka (Slika 4.). Podjetje Javor Pivka je trenutno v postopku likvidacije in ne obratuje, zato se je nevarnost onesnaženja vode zaradi neustrezne deponije nevarnih odpadkov zmanjšala. Še pred nekaj leti (po letu 2015, ko se je podjetje znašlo v propadu) je veliko nevarnost predstavljala ogromna količina nevarnih odpadkov iz tovarne (odpadni pepel, lepila, tesnilne mase), ki so razpadali in odpadki so se z deževnico spirali v podtalnico in tok reke Pivke.

Verjeten vir onesnaženja področja je bil tudi gnoj iz perutninskih farm, ki so na Pivškem od leta 1959. Ta se je ob večjih nalivih izpiral v vodovje. Regulacije glede preprečevanje možnosti onesnaženja so dandanes boljše in učinkovitejše.

Verjetno je razlog za veliko onesnaženost predstavljalo tudi obilno kmetijstvo, ki je bilo včasih predvsem samooskrbno, vendar zelo neregulirano in odpadne fekalije domačih živali so predstavljale velik vir onesnaženja. Kmetijstvo v zadnjih letih upada in verjetnost za tak način onesnaženja se manjša.

Gospod Kontelj je opisal tudi razmere z meteorno vodo. Včasih kanalizacija ni bila urejena in odplake so pogosto končale v vodnem sistemu. Z ustanovitvijo čistilne naprave v Pivki in ureditvijo kanalizacije so se razmere izboljšale.

Nekaj več izkušenj ima z reko Reko, o kateri poroča, da so se v njej kot otroci kopali, počasi pa je začel opazovati, da se voda spreminja. Vodno življenje je odmiralo (potočni raki, ribe) in med kopalci so se začele pojavljati različne kožne bolezni. Življenje se v reko vrača, vendar opaža, da se je število domačih rib zmanjšalo.

V primerjavi s tridesetimi leti nazaj so se razmere v reki Pivki zelo izboljšale. Smradu po gnojnici, penjenja in močne rjave obarvanosti vode, ki jo je opisoval, ni več.

Kljub opisanemu izboljšanju razmer so Postojnčani v začetku junija 2016 morali prenašati neznosen smrad (Trček, P., 2016), v Pivki jami pa so poginile ribe, ob čemer so se domačini spraševali, ali onesnaženje vpliva tudi na kakovost pitne vode. Ljudi pri tem še najbolj motita vonj in videz vode, vodne organizme pa mnogo več, saj lahko čutijo tudi najmanjše kemijske spremembe vode in vsako najmanjšo onesnaženost, ki lahko povzroči korenito spremembo njihovega življenjskega okolja in potencialno množično izumrtje. Zato je skrajni čas, da se zadeve na tem področju začnejo zares spreminjati.

2.3 Raziskovani parametri

Za opis stanja vodotoka uporabljamo različne parametre, ki se v večini delijo na:

- fizikalno-kemijske parametre (temperatura, barva, motnost/kalnost, vonj, okus, pH vrednost in električna prevodnost),
- kemijske parametre (trdota, vsebnost kalcija, magnezija, kalija, litija, klorida, fluorida, bromida, nitratov, fosfatov, sulfatov in ostalih elementov, olja, prostega klora in detergenta),
- mikrobiološke parametre (najpogosteje *Escherichia coli*, enterokoki, *Pseudomonas aeruginosa*),
- toksični elementi (aluminij, arzen, kadmij, krom, svinec, vanadij in drugi).

(povzeto po: Chapman, Hall)

Seveda je možnosti za analizo vode še veliko. Pri analizi pa moramo biti vedno pozorni tudi na druge, predvsem zunanje dejavnike, ki bi lahko vplivali na raziskovane parametre, kot so letni čas in trenutne vremenske razmere. Rezultati posamezne analize namreč niso vedno tako preprosti in enostranski in za njihovo razumevanje jih moramo dobro poznati in jih primerjati z drugimi rezultati.

Pri razlagi rezultatov se najpogosteje nanašamo na vnaprej določene mejne vrednosti. Mejne vrednosti, ki določajo onesnaženost vode se v različnih virih zelo razlikujejo. Večina mejnih vrednosti s katerimi sva si pomagali pri najini raziskavi je navedenih v Pravilniku o pitni vodi (Ur.l. RS št.:19/04 in 35/04) v Prilogi 1, del C. (priloženo v prilogah, priloga A).

Četudi voda reke Pivke ni pitna, so nama mejne vrednosti za pitno vodo pomagale pri ustvarjanju širše slike o kvaliteti vodotoka.

2.3.1 Fizikalno–kemijski parametri

2.3.1.1 Barva

Barva vode je ena izmed vidnih indikatorjev čistosti vode. Kemijsko čista voda je rahlo modro obarvana, zato ker molekule vode absorbirajo daljše valovne dolžine (rumeni, oranžni, rdeči odtenki), krajše valovne dolžine svetlobe (zeleno-modri odtenki) pa se odbijejo. Dodatno k barvi vode pripomore tudi navadno moder odsev neba. (Povzeto po: Bizjak, b.d.)

Vzroki za obarvanje vodotokov so najpogosteje posledica prisotnosti primesi ali organizmov. Od organizmov največkrat določenih skupin alg - kremenaste alge povzročajo rjavo obarvanost, zelene alge zeleno obarvanost... Na barvo vode lahko vpliva tudi delovanje človeka. Odlaganje odpadkov in izlivanje odpadnih voda, blizu oziroma v nekaterih primerih v vodotok lahko povzroča vidno spremembo barve.

Kakršna koli obarvanost vode in sprememba obarvanosti je navadno slab znak, vendar manjša obarvanost ne pomeni vedno nepitne vode. V Pravilniku o pitni vodi, je kot indikator za pitno vodo navedena mejna vrednost: "sprejemljiva za potrošnike in brez neobičajnih sprememb". Ta mejna vrednost, ki opisuje obarvanost vode je precej nejasna, bistveno pa je, da voda ne sme biti nepojasnjeno obarvana.



Slika 6. Barvna shema vzorcev (vir: Doroteja Vidmar Gajšek)

2.3.1.2 Vonj

Vonj vode določajo hlapne snovi, ki so raztopljene v vodi in jih zaznavamo, ko se vežejo na nosno sluznico. Odvisen je od temperature vode (toplejša voda ima močnejši vonj, zato ker povečanje temperature zviša kinetično energijo molekul in tako poveča hlapenje vode). Zaznavanje vonja vode lahko razdelimo na spodnjo lestvico označb, ki so določene po Ballu:

- A - brez vonja
- B - vonj po trohnenju (plesni)
- C - vonj po gnoju
- D - vonj po gnitju
- E - vonj po fekalijah
- F - vonj po ribah
- G - vonj po kemikalijah
- H - vonj po prsti

Jakost vonja po Ballu pa ocenjujemo:

- 0 – brez vonja
- 1 – zelo slab vonj
- 2 – slab vonj
- 3 – zaznaven vonj
- 4 – razločen, izrazit vonj
- 5 – močan vonj

Popolnoma čista voda je brez vonja. Vonj po gnilem je indikator prisotnosti razpadajočih organskih snovi. Če ima voda vonj po pokvarjenih jajcih je v njej prisotna žveplova kislina, ki kaže na onesnaženost.

V Pravilniku o pitni vodi, je kot indikator za pitno vodo navedena mejna vrednost: "sprejemljiva za potrošnike in brez neobičajnih sprememb", kar pomeni, da mora biti vonj pitne vode sprejemljiv za potrošnike in pa, da nenadne spremembe v vonju niso dober znak. Kakršenkoli močnejši vonj je navadno znak, da je voda ni pitna.

2.3.1.3 Kalnost

Kalnost vode je znak prisotnosti nečistoče, navadno trdnih delcev dvignjenih z rečnega dna, običajno je povezana s hitrostjo toka, neurji, erozijo... Bolj kot indikator same onesnaženosti vodotoka je to indikator zunanjih dejavnikov.

2.3.1.4 Lebdeči material v vodi

Materialu, ki ga reka prenaša z rečnim tokom (usedline, mulj, pesek...) rečemo tovor. Z analizo lebdečega materiala z lupo lahko ugotovimo fizikalno onesnaženost rečnega toka (prisotnost delcev nenaravnega izvora) in hitrost rečnega toka (močnejši tok prenaša večje delce).

2.3.1.5 Penjenje

Penjenje vodotoka lahko opazujemo na dva različna načina.

Prisotnost pene na gladini vode je pogost indikator prisotnosti fosfatov. Fosfati so soli fosforne kisline, ki se v vodi najpogosteje pojavljajo zaradi prisotnosti različnih čistilnih sredstev. Pena pa se lahko pojavi tudi zaradi razkrajanja organskih snovi, ki izločajo nepolarne maščobne kisline, ki se zbirajo na vodni gladini in ob razburkanju vodotoka se v to plast nepolarne snovi ujamejo zračni mehurčki. Ta pojav je običajno neškodljiv.

Penjenje vode lahko uporabimo tudi kot hiter test kvalitete vode. Če se vzorec vode po minuti tresenja peni, je to dokaz o prisotnosti čistilnih sredstev z dodanimi sredstvi za penjenje. Najpogosteje je to natrijev lavrilsulfat ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{SO}_4\text{Na}$), ki v zmernih dozah človeku ni nevaren, vendar lahko ogroža okolje.

2.3.1.6 pH

pH je fizikalna enota merjenja brez enote, ki nam opisuje koncentracijo raztopljenih oksonijevih ionov. Raztopine s pH sedem so nevtralne, pod sedem kisle in nad sedem bazične. Vzrok za kislost vode je raztapljanje ogljikovega dioksida, ki reagira z vodo in ustvari ogljikovo kislino, ki poveča njeno kislost (zniža pH). Voda v kraških vodotokih je navadno nevtralna do rahlo bazična (Javno podjetje Kraški vodovod Sežana d.o.o. navaja povprečen pH 7,2). Mejne vrednosti pH se ne da poenotiti, saj so različni organizmi prilagojeni na različne okoliščine (npr. optimalno območje za življenje rib se giblje nekje med 4 in 9 (Mikro-polo.si., 2015)). Vrednost pH se skozi tok stalno minimalno spreminja glede na mikrookolje v katerem ga merimo. Na pH lahko vpliva nivo kisika, hitrost toka, pojavnost organizmov.



Slika 7. Analiza s pH lističi (vir Doroteja Vidmar Gajšek)



Slika 8. Domači pripomočki za analizo vode (vir Doroteja Vidmar Gajšek)

V Pravilniku o pitni vodi je navedeno, da mora biti vrednost pH med 6,5 in 9,5 da je voda primerna za pitje. Hitre spremembe v pH vrednosti so za okolje lahko zelo nevarne.

Umetno povzročene spremembe pH ne smejo presežati $\pm 0,5$ (Kraški vodovod Sežana d.o.o, 2020).

2.3.1.7 Vsebnost nitratov in nitritov

Nitrati so soli dušikove (V) kisline, nitriti pa dušikove (III) kisline. Nitrati se v človeškem telesu reducirajo v nitrite. V vodi se pojavljajo, kot posledica človekovega delovanja (umetna in naravna gnojila, komunala, industrija). So dobro topni v vodi ter spodbujajo rast bakterij. (povzeto po: Black, A. P.; Babers, F. H., 1939).

Vsebnost nitratov (NO_3^-) in nitritov (NO_2^-) v majhnih vrednostih človeka ne ogrožajo. Koncentracija nad 50 mg/L pa lahko ogrozi zdravje dojenčkov, nosečnic in doječih mater. Najbolj znan zdravstveni problem zaradi prisotnosti nitratov in nitritov je pojav methemoglobinemije, pri čemer je moten prenos kisika po telesu. Pride do oksidacije hemoglobina (rdeče barvilo v krvi, ki se nahaja se v rdečih krvničkah). To onemogoča prenos kisika po telesu (Medlineplus.gov., 2018).

V Pravilniku o pitni vodi (Ur.l. RS št.:19/04 in 35/04), je kot indikator za pitno vodo navedena mejna vrednost za nitrate 50 mg/L, za nitrite pa 0,50 mg/L.

2.3.1.8 Vsebnost amonija

Amonij se sprošča ob razgradnji organskih snovi, zato je dober indikator onesnaženja organskega izvora (kmetijsko, industrijsko, komunalno onesnaženje). Amonijak je zelo dobro topen v vodi; pri reakciji z vodo nastane amonijev ion (NH_4^+) oz. amonij. Čeprav je amonij hranilo, potrebno za življenje vodnih organizmov se lahko ob prekomerni izpostavljenosti začne kopičiti v telesu, kar povzroči zvišanje telesnega pH-ja in spremembe v metabolizmu. Za ljudi, med normalno izpostavljenostjo iz okolja ni nevaren, toksičen učinek se pojavi pri izpostavljenosti nad 200 mg/kg telesne mase. (Kraski-vodovod.si., 2021)

Dovoljena mejna vrednost amonija po Pravilniku o pitni vodi (Ur.l. RS št.:19/04 in 35/04), je 0,50 mg/L.

2.3.1.9 Prevodnost vode

Prevodnost vode se zvišuje z višjo koncentracijo Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} in Cl^- ionov v vodi. Prav tako je prevodnost odvisna od temperature. Električna prevodnost vode se v idealnih razmerah ne bi smela spreminjati.

2.3.1.10 Vsebnost kisika

Pri analizi vsebnosti kisika merimo raztopljenost prostega kisika (O_2), to je je kisik, ki ni vezan na noben drug element. Vode nasičene s kisikom imajo običajno višji nivo biološke pestrosti, vendar vsebnost kisika ni neposredni pokazatelj življenja. V onesnaženih vodah se kisik porablja tudi za razgradnjo nečistoč, to ima lahko škodljive posledice za življenje v vodi. Pri sobni temperaturi in normalnem zračnem tlaku je v 1L vode raztopljenega približno 8 mg kisika, če je vode nekoliko bolj nasičena z kisikom je oksigenirana. Z naraščanjem temperature topnost O_2 pada, pri 10 °C ja najvišja topnost 11,3 mg/L (Filtri-za-vodo.si., 2021).

2.3.2 Biološki parametri

2.3.2.1 Bioindikatorji

Prisotnost določenih organizmov nam lahko veliko pove o kvaliteti vode. Bioindikatorji so organizmi, ki nam indicirajo določene prvine vode, so standardizirani. Pogosto se uporabljajo za opazovanje vpliva človeka na okolje (onesnaženje) glede na pojavnost določenih organizmov v okolju.

Nekateri izmed bioindikatorjev čistih voda so ličinke pribrežnic, enodnevnice, mladoletnic in rakci postrance. Bioindikatorji onesnaženih voda pa so ličinke dvokrilcev hironomid, maloščetinci tubiflexi in rakci vodni oslički.

(Tarman, 1992)

2.3.2.2 Glive

Glive so heterotrofni organizmi, ki imajo v okolju pomembno vlogo potrošnikov in razkrojevalcev.

Nekatere vrste gliv so prilagojene na vodno okolje. Te glive se v vodi najpogosteje pojavljajo kot zoospore (gibljive nespolne spore, ki za premikanje uporabljajo bič) in najpogosteje pripadajo rodu Chytridiomycot (Hageskal, G., Lima, N. and Skaar, I., 2009). Pojavnost gliv v vodah, še posebej v pitni vodi ni dovolj raziskana predvsem zaradi razlik v metodologiji raziskovanja in pomanjkanje standardizacije nadzora količine gliv v vodi. Zaradi neraziskanosti področja in nestrinjanja o vplivu na človekovo zdravje, za pojavnost gliv v pitni vodi natančnih in enotnih mejnih vrednosti ni veliko. Po navedbah švedskega državnega organa za nadzor kvalitete vode je omejitev za pojav gliv v vodi 100 CFU na 100 ml vode (Anon., 2003).

2.3.3 Mikrobiološki parametri

Pri preučevanju kvalitete vode nam mikrobiološki parametri pokažejo stopnjo onesnaženosti vode z mikroorganizmi različnih izvorov. Jasna biološka slika vodotoka je pomembna, saj stopnja onesnaženosti vode z mikroorganizmi vpliva na kvaliteto, morebitno pitnost vode in pa splošno stanje ekosistema. Poznavanje je pomembno tudi za nadzor in regulacijo komunalnih odpadkov, izliva iz čistilnih naprav, kmetijskih dejavnosti, na prisotnost mikroorganizmov pa seveda vplivajo tudi hidrometeorološke razmere.

Najpogosteje določamo bakterije *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* in skupino enterokokov. Analize opravljamo na selektivnih gojiščih pri različnih temperaturah, glede na vrsto bakterij, ki jih želimo analizirati. Ko iščemo bakterije, ki uspešneje bivajo v človeškem telesu jih gojimo pri povprečni temperaturi telesa (37 °C), ko se pa osredotočamo na okoljske bakterije jih navadno gojimo pri 22 °C.

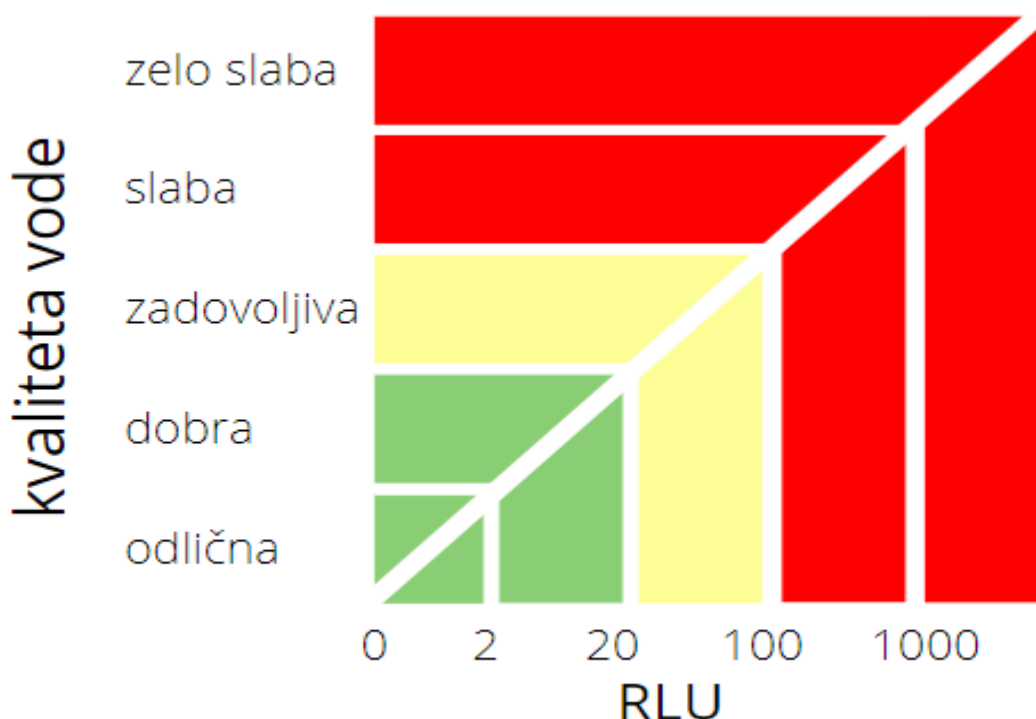
Gojišča, pripravljena za uporabo, so sestavljena iz posebne petrijevke s premerom 50 mm, ki vsebuje hranilno blazinico, specifično za zaznavanje posameznih kolonij (kolonije se na selektivnih gojiščih obarvajo različno). Standardne metode za določanje skupnega števila bakterij v življenju heterotrofnih bakterij v vodi običajno priporočajo gojišča, bogata s hranili in inkubacijo pri 36 ± 1 °C. V nekaterih primerih je v teh pogojih mogoče zaznati le del dejanskih mikroorganizmov v vzorcu (Dege, J., 2014).

Večina nadaljnjih mejnih vrednosti je določenih v Pravilniku o pitni vodi (Ur.l. RS št. 19/04, 35/04, 26/06, 92/06 in 25/09), priloga I, del A.

2.3.3.1 ATP analiza

Analiza ATP je postopek hitrega merjenja adenzin trifosfata, ki služi kot vir energije pri različnih celičnih procesih in je zato dober indikator prisotnosti živih organizmov.

Enota RLU (relative light unit, v prevodu: relativna svetlobna enota) nima fizičnega pomena, napove le možnost razvoja bakterij po inkubiranju na določeni temperaturi, kljub temu pa obstajajo okvirne mejne vrednosti, ki nam pomagajo določiti kvaliteto vode na podlagi ATP testa (Berthold Technologies GmbH & Co.KG, 2020).



Slika 9. Prikaz mejnih vrednosti ATP za določanje kakovosti vode, (Prirejeno po: AquaSnap TOTAL, 2018)

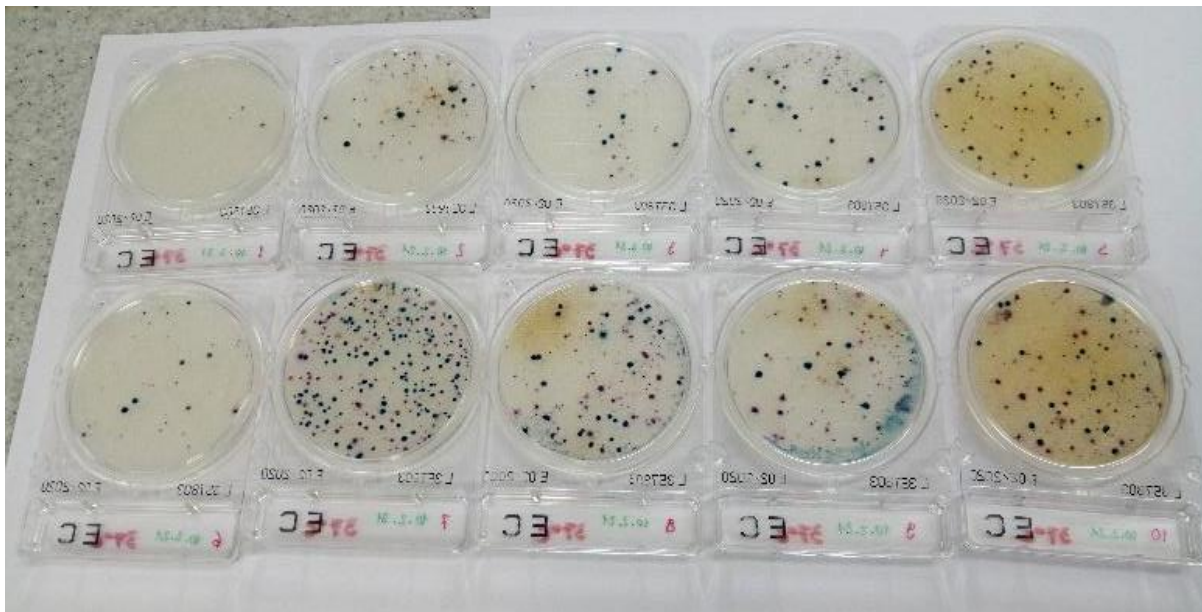
2.3.3.2 Koliformne bakterije

Med skupne koliformne bakterije spadajo nekateri rodovi iz družine *Enterobacteriaceae*, ki se nahajajo v fekalijah in drugod v okolju. Z njimi je mogoče presojati onesnaženje vode z večjimi količinami organskih in anorganskih snovi iz okolja (Okoljsko procesne tehnologije, 2014). Med koliformne spada tudi *Escherichia coli*.

2.3.3.3 *Escherichia coli* (*E. coli*)

Escherichia coli je vrsta gram-negativnih bakterij, ki spada v rod ešerihij in skupino koliformov ter se nahaja v črevesju sesalcev in posledično v človeškem in živalskem blatu. Prisotnost *E. coli* v vodi je torej pokazatelj fekalnega onesnaženja. Le nekateri sevi te vrste bakterije so za človeka patogeni in ti lahko pri človeku povzročajo nekatere okužbe, najpogosteje črevesne (povzeto po: Nijz.si., 2015).

Uspevajo pri temperaturi od 2,5 °C do 45,5 °C (optimalne razmere za njihov razvoj so pri telesni temperaturi 37 °C) (povzeto po: Nijz.si., 2015). Število bakterij vrste *E. coli* se določi z metodo štetja kolonij na trdih gojiščih. Mejna vrednost v pitni vodi je: 0 /100 mL (Pravilnik o pitni vodi (Ur.l. RS št. 19/04, 35/04, 26/06, 92/06 in 25/09).



Slika 9. Gojišča Compact Dry EC- medium for *E. coli* and coliforms na katerih sva gojili koliformne bakterije (vir Doroteja Vidmar Gajšek)

2.3.3.4 Enterokoki

Tudi ta skupina gram-pozitivnih kroglastih bakterij je indikator fekalnega onesnaženja, prisotna je predvsem v črevesju ljudi in živali. Od *E. coli* se razlikujejo po tem, da se enterokoki v vodi ohranijo dlje časa in je zato njihova prisotnost pokazatelj starejšega fekalnega onesnaženja (Ministerstvo za kmetijstvo in okolje, 2011). Mejna vrednost za enterokoke v pitni vodi je: 0/100 mL (Pravilnik o pitni vodi (Ur.l. RS št. 19/04, 35/04, 26/06, 92/06 in 25/09).

2.3.3.5 *Pseudomonas aeruginosa*

To so gram-negativne bakterije, ki povzročajo bolezni mnogih rastlin in živali (tudi človeka). Sposobne so sestaviti poseben biofilm, ki jih ščiti pred škodljivimi okolijskimi dejavniki, med drugim so zelo odporne proti raznim dezinfekcijskim sredstvom (Beloin, C., Roux, A. and Ghigo, J.-M., 2008). Razvile so tudi odpornost na antibiotike. Njihovo ugotavljanje je smiselno za ocenitev splošnega higienskega stanja in raziskovanja možnosti preživetja in razmnoževanja bakterij v določenem okolju. Rutinsko jih iščemo v vodi namenjeni za pakiranje, za kar je postavljena mejna vrednost: 0/250 mL. (Pravilnik o pitni vodi (Ur.l. RS št. 19/04, 35/04, 26/06, 92/06 in 25/09).

3 MATERIALI IN METODE

Raziskovalni proces sva začeli z zbiranjem teoretičnih podatkov o obravnavani temi. Z študijo širše literature o krasu sva raziskali ozadje najine teme, informacije interpretirali in prilagodili področju reke Pivke.

Ker področje onesnaženosti kraških rek ponikalnic ni zelo raziskano, sva si pri preučevanju zgodovine onesnaženja pomagali z intervjujem lokalnega prebivalca Leona Kontlja, ki na tem območju živi že celo življenje. Na nekatere informacije o onesnaženju in predvsem o nelegalnih odlagališčih odpadkov, pa sva naleteli prek ustnih virov. Veliko podatkov o stanju reke nama je dalo tudi splošno opazovanje razmer vodotoka ob opravljanju terenskih meritev (barva, hitrost toka, onesnaženje ob strugi...).

Po zbrani teoriji sva se lotili eksperimentalnega dela raziskovanja, ki je potekalo na terenu in v laboratoriju Inštituta za raziskovanje krasa v Postojni.

3.1 Materiali in metode eksperimentalnega dela raziskovanja leta 2020

Naloge sva se lotili že v letu 2020, v okviru interdisciplinarnega tematskega sklopa naravoslovje, ki deluje na naši šoli. Prvo terensko delo je bilo zastavljeno aprila 2020, med prvim valom pandemije kronavirusa (SARS CoV-2). Zaradi strogih ukrepov, ki so veljali v času med opravljanjem raziskav sva se morali prilagoditi na nekaj omejitev, kot so nošenje zaščitne maske, rokavic, omejitev gibanja med občinami, zato sva si naloge razdelili. Vsaka v svoji občini je opravila meritve za sušno obdobje, do drugih meritev v času padavin pa so ukrepe omilili in raziskovanje sva nadaljevali skupaj (seveda z maskami in zaščitnimi rokavicami ter na primerni razdalji). Tudi pri naboru pripomočkov za terenske meritve sva bili omejeni, saj je bil vstop v šolo prepovedan. Zato sva uporabili pripomočke, ki sva jih dobili doma (glej stran 15, Slika 8.). Za zajetje vzorcev sva si pomagali z različno plastično embalažo, ki sva jo na vsakem merilnem mestu izprali z vodo iz vodotoka.

Naše meritve seveda niso bile tako natančne kot bi bile s terenskim kovčkom za analizo kemijskih parametrov, a sva si vseeno ustvarili grobo sliko o onesnaženju povodja.

S pH lističi (pH-Fix 0-14) sva izmerili pH vode. S cedilom sva filtrirali vodo in v filtratu opazovali znake življenja ter trdne delce. Pri opisovanju vonja vode sva si pomagali z Ballovo lestvico, za merjenje temperature pa sva uporabili analogni termometer.

3.2 Materiali in metode eksperimentalnega dela raziskovanja leta 2021

Leta 2021 sva se raziskovanja lotili bolj sistematično, z natančno določenimi merilnimi točkami in boljše tehnično dovršeno opremo. Prvotno sva načrtovali več meritev v različnih časovnih obdobjih, saj na stanje kraških vodotokov pomembno vplivajo zunanji dejavniki kot so vremenske razmere (na primer količina padavin). Načrtov večkratnega vzorčenja vodotoka zaradi epidemioloških razmer, prepovedanega prehoda med občinami in onemogočenega dostopa v šolo in laboratorij nisva mogli izvesti. Tako sva vzorčenje in analizo vodotoka izvedli le enkrat.

V nadaljevanju sva natančno opisali potek dela, najprej splošen protokol dela na terenu in nato natančnejši postopek meritev za posamezno skupino parametrov. S tem želiva doseči ponovljivost raziskave, saj se zavedava, da bi bilo za obsežnejše sklepe potrebno večje število meritev, ki jih zaradi razmer v letošnjem letu nisva mogli izvesti.

3.2.1 Potek dela na terenu

Izvedeno terensko delo je potekalo v torek, 9. februarja ob vodnem pulzu (povečana količina vode v vodotoku zaradi obilnega deževja), ki je vplival na rezultate analiz. Vremenske razmere tistega dne so nama povzročile nekaj tehničnih težav, saj nama je zaradi mokrega okolja odpovedalo nekaj elektronskih naprav, kljub temu sva z delom nadaljevali po odpravi težav. Natančni raspored padavin za tisti dan je naveden v prilogi E. Ko sva prispeli na merilno mesto, sva si najprej nadeli rokavice in zatem v sterilne plastenke volumna 500 mL, proizvajalca Golias (glej stran , slika) v smeri proti toku zajeli vzorce za mikrobiološke analize. Vzorčili sva pol metra od rečnega brega, tako da sva plastenko popolnoma potopili pod gladino vode. Z mešanjem in kaljenjem vodnega toka bi lahko kontaminirali vzorec, zato sva se za meritve mikrobioloških vzorcev odločili pred ostalim vzorčenjem.

Te vzorce sva nato takoj shranili v hladilno torbo in nadaljevali z drugim delom analiz. Nato sva na enak način odvzeli tudi vzorce za kemijsko analizo. Prvotno sva nameravali kemijsko analizo izvesti na terenu s pomočjo terenskega kovčka, vendar sva se zaradi slabih vremenskih pogojev odločili vzorce analizirati v zaprtem prostoru. Po odvzemu vzorcev sva v vodotok namestili sonde za merjenje fizikalnih parametrov in analogni termometer za kontrolno meritve temperature.

Rezultate sva zapisovali v terenski zvezek, da bi preprečili izgubo podatkov.

Del terenskega dela sva izvedli kasneje ob boljših vremenskih razmerah, takrat sva se posvetili preučevanju rastlin in živali v reki in ob strugi. Pomagali sva si s banjicami, v katere sva zajeli vodo in material, uporabljali sva pincete, povečevalno steklo in opažene organizme slikali z mobilnimi telefoni.

3.2.2 Raziskovanje fizikalnih parametrov

Fizikalne parametre sva analizirali na terenu, pri čemer sva uporabljali različne senzorje (nekatero vrednosti sva kontrolno izmerili z različnimi senzorji):

- WTW, Multi 3620 IDS (pH in konduktometer) – ta naprava vsebuje senzor za merjenje pH, prevodnosti in temperature,
- Go Direct senzor za prevodnost in
- Go Direct optični senzor za raztopljen kisik.

Za merjenje temperature sva uporabili tudi analogni termometer.

Posamezno napravo sva uporabljali po navodilih proizvajalca, tako da sva senzor pomočili v vodotok in na zaslonu po stabilizaciji rezultata odčitali vrednosti.

3.2.3 Mikrobiološke analize v laboratoriju

Vse delo v laboratoriju sva opravljali v sterilni opremi (halja, rokavice), s spetimi lasmi in na sterilni delovni površini (razkuženi z 96% etanolom in ob plinskem gorilniku). Ob delu sta naju usmerjala in nadzorovala somentorja iz Inštituta za raziskovanje krása.

3.2.3.1 ATP analiza

Vsebnost ATP v vzorcih sva analizirali z opremo AquaSnap™ TOTAL ATP Water Test (proizvajalec: HYGIENA). Delo je potekalo po navodilih proizvajalca. Vodni vzorec sva najprej pretresli, da sva lahko zagotovili enakomerno razporeditev vsebine. V vzorec sva nato pomočili specializirano paličico in dali v specializirano epruveto, kjer je reagiral s reagenčno tekočino (naturaliziran encim imenovan luciferaza, ki producira svetlobo, ko se poveže z ATP-jem). Ko sva se prepričali, da sta se reagentna

tekočina in vzorec prepojila, sva vzorčno epruveto vstavili v luminometer (naprava za določanje ATP vrednosti, ki zazna producirano svetlobo in določi vrednost v enoti RLU) in rezultate razbrali iz zaslona.

3.2.3.2 Mikrobiološka analiza bakterij in gliv

Mikrobiološko analizo bakterij in gliv sva izvedli s pomočjo mikrobioloških gojišč.

Ker sva z analizo ATP zasledili visoke vrednosti RLU na nekaterih vzorčnih mestih, sva se odločili, da bova te vzorce zaradi lažjega štetja kolonij redčili (vzorce 4, 5, 6, 7, 8, 9 in 10 sva desetkratno redčili, vzorec 7 tudi stokratno) s fiziološko raztopino (0,9% raztopina NaCl). Pri tem sva uporabljali pipete: (100-1000 μ l) FINNPIPETE®F1 (proizv. ThermoSCIENTIFIC), z nastavki za pipeto. Razredčene vzorce sva pipetirali v mikrocentrifugirke in za mešanje uporabljali mešalnik VELP SCIENTIFICA 2X3 Advance Vortex Mixer.

Ko sva vse zelene vzorce redčili sva 1 mililiter teh in neredčenih vzorcev pipetirali na različna komercialna selekcijska gojišča heterotrofnih bakterij v vodi, ki sva jih prej označili s številko merilnega mesta, temperaturo gojenja in vrednostjo redčenja in datumom.



Slika 10. Delo v laboratoriju (vir: Sara Skok)

Za vzgajanje kolonij sva uporabili gojišča Compact Dry AQ-medium for heterotrophic bacteria in water, proizvajalca Nissui Pharmaceutical Co. Ltd., Tokyo, Japan:

- Compact Dry AQ-medium for heterotrophic bacteria in water – gojišče za celokupno analizo heterotrofnih vodnih bakterij,
- Compact Dry CF-medium for coliforms – gojišče za koliformne bakterije,
- Compact Dry ETC- medium for enterococcus – gojišče za enterokoke,
- Compact Dry EC- medium for *E. coli* and coliforms – gojišče za vzrejo kolonij *Escherichie coli* in koliformov, ki se različno obarvajo in
- Compact Dry YM- medium for yeast and mold – gojišče za kvasovke in plesni.

Vzorce sva inkubirali pri dveh različnih temperaturah. Pri temperaturi 22 °C sva gojili organizme 7 dni. Na teh ploščah dobimo večinoma okoljske organizme, ne pa bakterij fekalnega izvora. Pri gojenju pri

37 °C (ki traja 24 ur) vzgojimo pretežno bakterije živalskega in človeškega izvora (gre za skupine bakterij, ki jih najdemo v prebavilih ljudi in živali ter imajo optimum rasti in razmnoževanja pri 37 °C).

Vzorci sva gojili v inkubatorju (Cultura®M, FRIOCELL®, tip: FC111ECO).

Po 24 in 48 urah sva se vrnila v laboratorij in prešteli kolonije, ki sva jih vzgajali pri temperaturi 37 °C. Po sedmih dneh pa sva prešteli tudi plošče, inkubirane na 22 °C. Pri štetju plošč z velikim številom kolonij sva si pomagali z mehanskim ročnim števcem. Pri vzorcih, ki sva jih redčili, sva rezultate ustrezno (desetkrat oziroma stokrat) pomnožili.

3.2.4 Raziskovanje kemijskih parametrov v laboratoriju in z terenskim kovčkom

Kemijsko sva vzorce analizirali večkrat. Za prve meritve sva uporabili terenski kovček EcoLabBox, ki vsebuje različne barvne reagente za določanje koncentracije posameznega parametra v raztopini. Midve sva analizirali nitrate, nitrite, amonij, fosfate, pH in trdoto. Za vsak posamezen parameter sva reagente dodajali po navodilih proizvajalca in barve primerjali s pomočjo priložene barvne lestvice.

Meritve istih vzorcev vode sva izmerili tudi na inštitutu na ionskem kromatografu Metrohm 930 Compact IC Flex (kationi) in Eco IC Package (anioni) z Inline Ultrafiltration.

Ionska kromatografija je proces s katerim lahko določimo koncentracijo določenih kationov in anionov v vzorcu, glede na njihovo interakcijo s posebno smolo. Ionske vrste se namreč ločujejo glede na hitrosti potovanja posameznih komponent skozi kromatografsko kolono. Zaradi razlike v času, ki je potreben, da se ion premakne skozi kolono, lahko naprava določi za kateri ion gre. (povzeto po: Bio-geochemical Methods., 2021).

Meritve z kromatografom so bile natančnejše, zato sva jih uporabili pri predstavitvi rezultatov.

4 REZULTATI IN DISKUSIJA

4.1 Rezultati in diskusija meritev leta 2020

V letu 2020 sva meritve opravljali aprila na devetih merilnih točkah:

- Zagorje (izvir reke Pivka),
- Klenik,
- pred čistilno napravo v Pivki,
- pri čistilni napravi v Pivki,
- po čistilni napravi v Pivki,
- Prestranek,
- Grobišče,
- Postojna pri jami,
- prtok Slavinšček-Koče.

Rezultati najinih prvih meritev iz leta 2020 so predstavljeni v dveh tabelah. Na terenu sva bili dvakrat: v sušnem in po deževnem obdobju.

Tabela 1: Rezultati meritev v sušnem obdobju leta 2020

Merilna točka/meritev	pH	pretok	trdi delci	barva	vonj	temperatura	življenje
PRIPOMOČKI	pH lističi		cedilo			termometer	
Zagorje	/	/	/	/	/	/	/
Pivka - pred čistilno napravo	7	ne	malo	rumena	D3	7,5	neopazno
Pivka - pri čistilni napravi	6,5	ne	malo	rumena	D3	7,5	neopazno
Pivka - po čistilni napravi	6,5	ne	malo	rumena	D1	7,5	neopazno
Prestranek	/	/	/	/	/	/	/
Grobišče	7	da	malo	bistra	H1	8,2	neopazno
Postojna	8	da	veliko	zelena	B1	8,5	neopazno
Pritok Slavinšček	7	da	malo	bistra	A	8	neopazno

Tabela 2: Rezultati meritev po deževnem obdobju v letu 2020

Merilna točka/meritev	pH	pretok	trdi delci	barva	vonj	temperatura	življenje
PRIPOMOČKI	pH lističi		cedilo			termometer	
Zagorje	/	/	/	/	/	/	/
Klenik	7,5	ne	malo	rumeno rjava	D3	16,1	pijavke, ličinke mladoletnice, paglavci
Pivka - pred čistilno napravo	6,5	da	veliko	rumena	D2	13,4	neopazno
Pivka - pri čistilni napravi	6,5	da	veliko	rjava	D2	13,5	neopazno
Pivka - po čistilni napravi	6	da	veliko	rjava	D1	13,5	neopazno
Prestranek	7	da	malo	rumeno zelena	A	15,4	žabe, ribe
Grobišče	6,5	da	veliko	vojaško zelena	A	16	žabe
Postojna	6,5	da	veliko	brez barve	H3	8,5	žabe, ribe
Pritok Slavinšček	7,5	da	malo	bistra	H2	13,5	neopazno

V deževnem obdobju je bila struga reke pri izviri (Zagorje) in Prestranku izsušena in voda v zgornjem toku reke ni imela pretoka. Po deževnem obdobju je bil izvir (Zagorje) še vedno izsušen in prvi dve lokaciji nista bili pretočni. Razlika v pretoku vode med deževnim in sušnim obdobjem je pri kraških ponikalnicah zelo pogosta. To prikazuje tudi Slika 10. na strani 24.

Natančnosti pH meritev zaradi uporabe merilnih lističev ne moreva zagotoviti, vendar se vrednosti v obeh obdobjih gibajo v pričakovanih vrednostih za tekoče vodotoke.

Količina trdih delcev se sklada s pretočnostjo vodotoka (močnejši kot je tok, več in večji trdi delci se prenašajo po njem) kar lahko opazimo predvsem na merilnih mestih spodnjega toka (Prestranek, Grobišče, Postojna in pritek Slavinšček).

Voda je bila obarvana na vseh mestih, razen v pritoku Slavinšček, v zgornjem toku je odtenek vode navadno bolj rumeno-rjav, v spodnjem toku pa je pogostejša zelena obarvanost.

V zgornjem toku je pogostejši vonj po gnitju, v spodnjem pa je vonj nezavnen oziroma je prisoten milejši vonj po prsti. Vonj je bil močnejši v sušnem obdobju. Ključ za prepoznavanje oznak za vonj: glej stran 14.

Več življenja je bilo v strugi opaznega po obdobju deževja. Na eni od lokacij sva zasledili tudi ličinke madoletnice (glej Sliko 13. na strani 27), ki so bioindikator čiste vode.



Slika 12. Primerjava struge pri Žejskih mlinih pri Prestranku ob deževju in v sušnem obdobju (vir: Doroteja Vidmar Gajšek)

4.2 Rezultati in diskusija meritev leta 2021

Meritev sva se v letu 2021 lotili drugače. Odvzem vzorcev in meritve na terenu so potekale devetega februarja. Kljub obilnemu deževju in nizkim temperaturam ter tehničnim težavam so bili vzorci ustrezno odvzeti. Merilnim mestom sva zaradi boljše preglednosti določili številke, dodali sva tudi zemljepisno širino in dolžino, zaradi točnosti in možnosti ponovitve raziskav na tem območju.

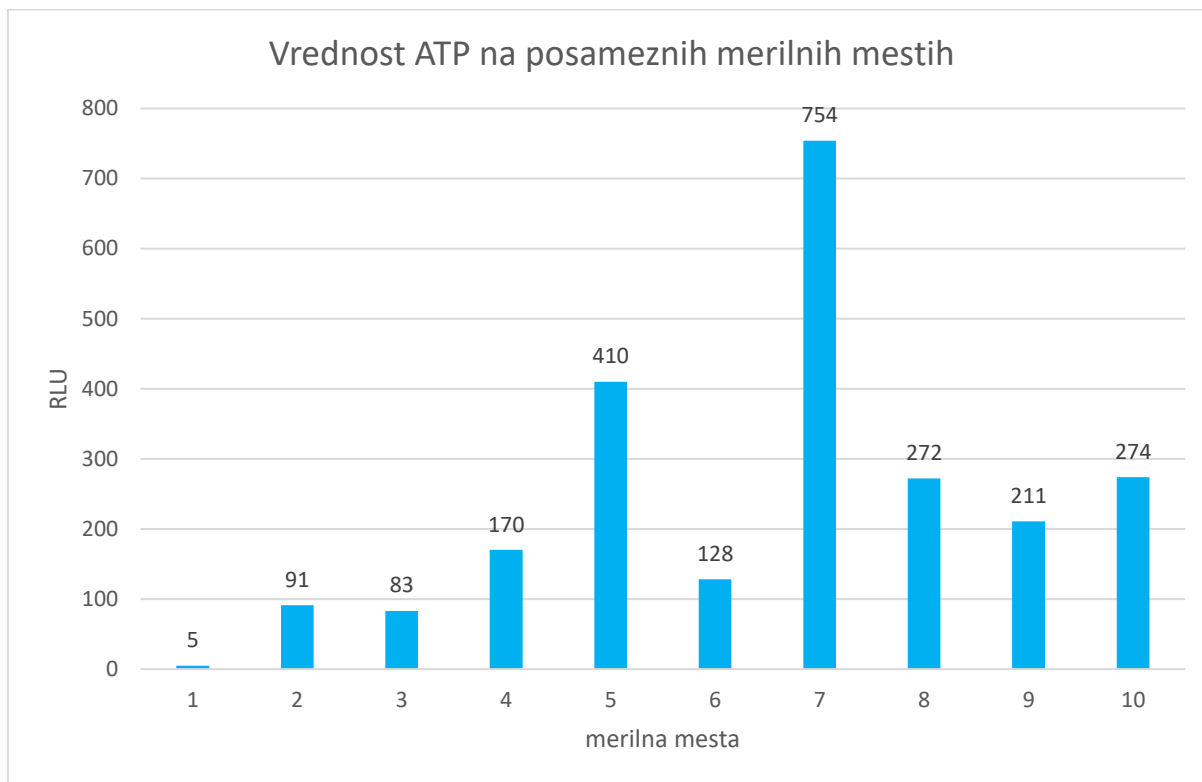
Tabela 3: Določena merilna mesta v letu 2021 in njihova točna lokacija

št. merilnega mesta	ime merilnega mesta	koordinate
1	izvir v Zagorju	45.638993, 14.228310
2	most pri Kleniku	45.677093, 14.206756
3	pred čistilno napravo Pivka	45.683350, 14.202568
4	po čistilni napravi v Pivki	45.684684, 14.204423
5	pritok Slavinšček (Koče)	45.719066, 14.184393
6	Prestranek (Žejski mlini)	45.724749, 14.196620
7	pritok Stržen (Rakitnik)	45.749677, 14.196440
8	Grobišče (most pri loviščih rib)	45.753705, 14.183909
9	pritok Nanoščica	45.773607, 14.185178
10	izliv v Postojnsko jamo	45.782385, 14.203379

Merilna mesta so prikazana tudi na zemljevidu (glej Prilogo B) (Naravovarstveni-atlas.si., 2021).

Nadaljnje analize vzorcev veljajo za vzorce, ki sva jih vzeli 9. februarja 2021 ob času obilnega deževja.

4.2.1 ATP analiza



Graf 1 Vrednost ATP-ja na posameznih merilnih mestih

Iz Grafa 1 lahko opazimo, da niti eden vzorec ni bil odlične kvalitete, glede na določene mejne vrednosti. Prvi trije vzorci spadajo v mejno območje voda z zadovoljivo kvaliteto. Vsi ostali vzorci krepko presegajo mejno vrednost 100 RLU, sedmi vzorec se najbolj približa meji 1000 RLU, kar je znak zelo velike onesnaženosti. Tabelo z določenimi mejnimi vrednostmi najdete na strani .

Z analizo ATP v vodi sva ugotovili, da ima voda ob izviru zelo malo znakov biološke aktivnosti, kar je pričakovano glede na to, da izvira iz podzemlja.

Na vzorčnem mestu 4 (ki se nahaja takoj po čistilni napravi v Pivki) se delež ATP-ja podvoji glede na točko 3 (tik pred čistilno napravo v Pivki). Sklepava, da se to zgodi zaradi pritoka odplak iz čistilne naprave v Pivki.

Vzorec zajet iz prvega pritoka – Koče (merilno mesto št. 5), nam kaže na možnost povečanja biološke aktivnosti. Sklepava, da bi to lahko bila posledica kmetijskih dejavnosti, ki potekajo v bližini (izlivanje gnojevke). To mesto zaznamuje tudi višja vsebnost kisika (za analizo kisika glej strani 28 in 29), kar bi lahko pomenilo prisotnost večjega števila organizmov, vendar zaradi močnega pretoka vode predvidevava, da organizmi nimajo tako dobrih pogojev za obstoj.

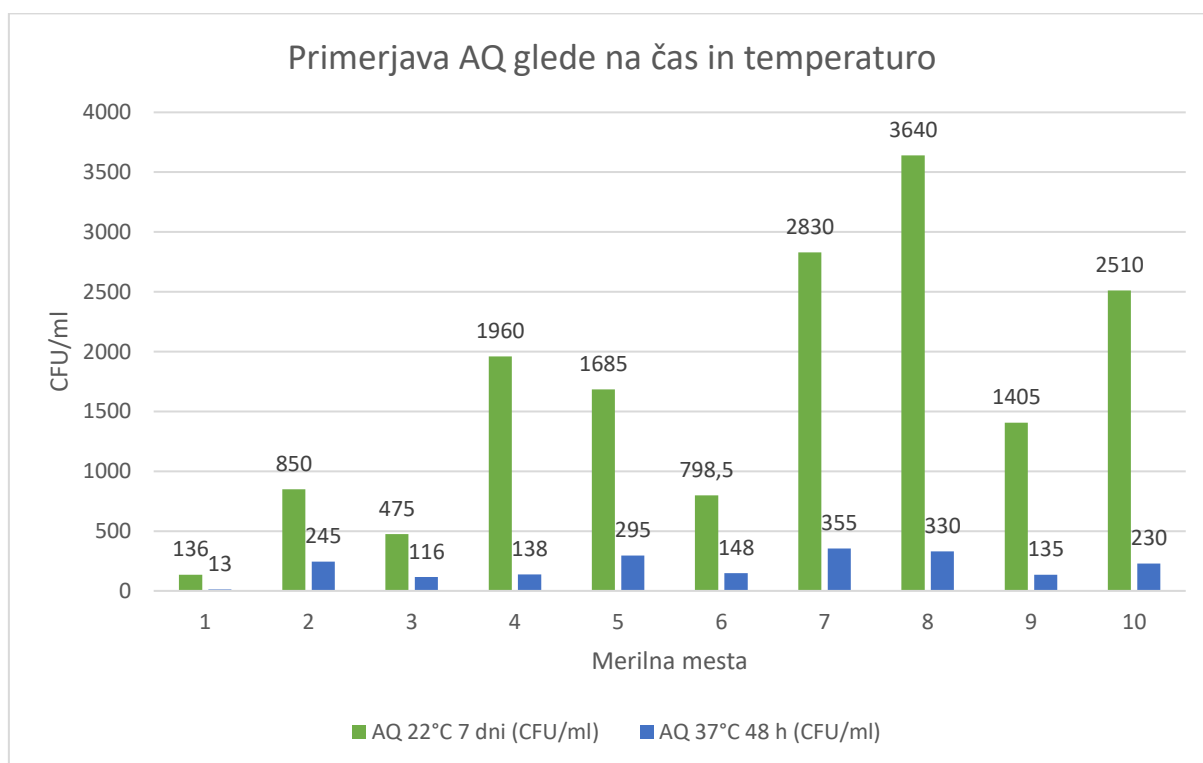
Voda zajeta na vzorčnem mestu 6 (Prestranek) ima manjšo količino ATP predvidoma zaradi širše struge in močnejšega pretoka. kot na mestu 4 in ker se prtok Koče (označen z merilnim mestom 5) pridruži kasneje.

Sedmo merilno mesto – prtok Stržen, ima visok delež ATP. Sklepava da do tega pride zaradi intenzivne kmetijske dejavnosti, ki poteka v bližini vodnega toka. Vrednost RLU je kar 754. Izstopa tudi pri večini drugih izmerjenih parametrov, ki sledijo.

Vrednost ATP ima večji pomen na točki 10 (ponor pri Postojnski jami), saj nam nakaže delež hranljivih snovi, ki se izlivajo v podzemlje in bodo jamskim organizmom omogočali življenje.

4.2.2 Celokupno število bakterijskih kolonij

Na spodnjem grafu je prikazana primerjava števila vseh heterotrofnih vodnih bakterijskih kolonij glede na čas in temperaturo inkubacije gojišč. Oznaka AQ je ime gojišča, na katerem testiramo celokupno število heterotrofnih bakterijskih kolonij.



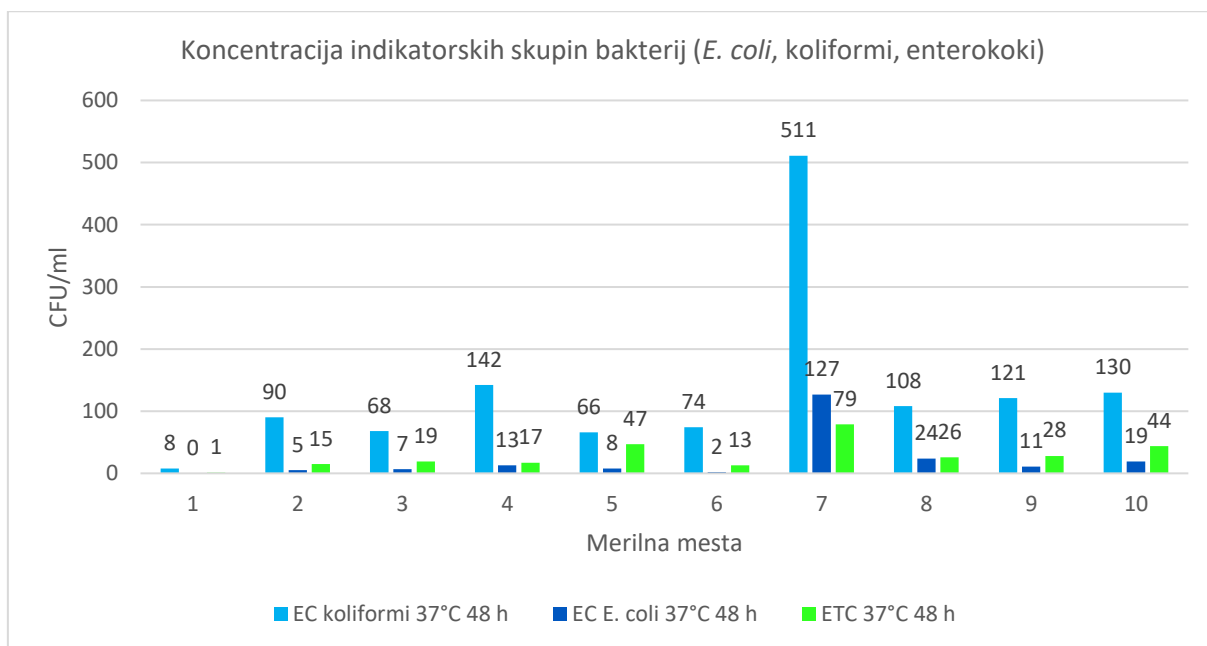
Graf 2: Primerjava celokupnega števila bakterijskih kolonij glede na čas in temperaturo inkubacije

Najmanj bakterijskih kolonij je pri izvira in na točki 6 (Prestranek). Na vseh merilnih mestih je več okolijskih bakterij, tukaj nekoliko izstopa merilno mesto 8 (Grobišče), na katerem sva tudi z drugimi analizami bakterij zaznali manj bakterij fekalnega izvora.

Predvsem pri okolijskih kolonijah (inkubiranih pri nižji temperaturi) je opazen nekoliko trend naraščanja števila celokupnih bakterijskih kolonij od izvira do izliva. Ta trend sva poskušali prikazati v razmerju z oddaljenostjo posamezne točke od izvira (glej priloge, Priloga D).

4.2.3 Bakterijski indikatorji fekalnega onesnaženja

Fekalno kontaminacijo nam na mikrobiološkem nivoju pokažejo bakterije iz skupine enterokokov in bakterije iz skupine koliformov. Med koliforme spada tudi vrsta *Echerichia coli*. Koliforme sva vzgojili na enem gojišču, kjer so se kolonije *E. coli* obarvale z drugo barvo.



Graf 3: Prikaz koncentracije indikatorskih skupin bakterij (*E. coli*, koliformi, enterokoki) ki nam pomenijo fekalno onesnaženje vodotokov.

Trend pri rezultatih bakterijskih indikatorjev fekalnega onesnaženja sovпада z rezultati ATP meritev. Opaznejše odstopanje je mogoče zaznati le pri vzorčnem mestu 5 (pritok Slavinšček-Koče), kjer je vrednost bakterij fekalnega onesnaženja nepričakovano majhna, glede na vrednost ATP.

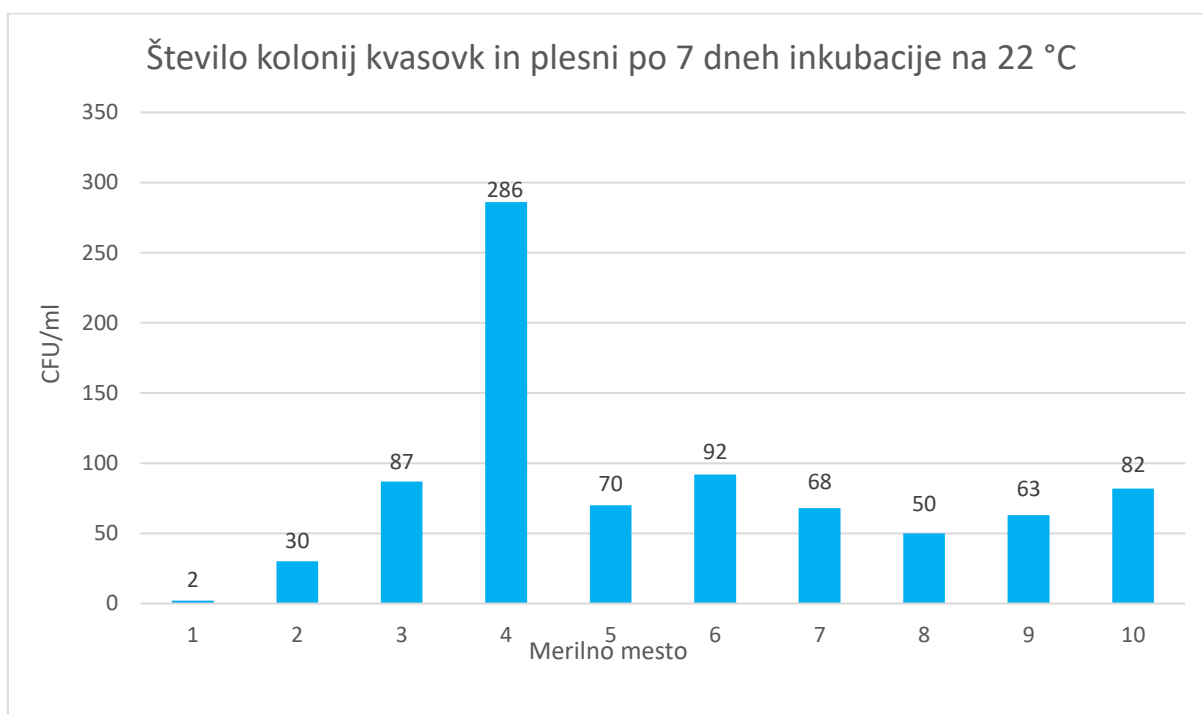
Enterokoki se pojavljajo v večjem številu kot *E. coli* na vseh vzorčnih mestih, razen pri vzorčnem mestu št. 7, kar nam pove, da je fekalno onesnaženje na tej točki nastalo nedavno (Ministerstvo za kmetijstvo in okolje, 2011).

Za koliforme in *E. coli* je mejna vrednost določena v Pravilniku o pitni vodi 0/100 mL, zato voda reke Pivke, ki sva jo zajeli z našimi vzorci, za pitje ni primerna.

4.2.4 Glive

Graf številka 4 prikazuje število glivnih kolonij, ki smo jih vzgojili iz vodnih vzorcev. Opazno je znatno povečanje količine kvasovk in plesni v vodi po čistilni napravi v Pivki, vendar se količina gliv ne poveča po čistilni napravi v Postojni (izliv čistilne naprave se izteka v pritok Stržen - merilno mesto 7). Za odkritje točnega razloga za ta pojav bi bile potrebne nadaljnje raziskave, vendar lahko

sklepamo, da se količina gliv lahko poveča zaradi postopkov, ki jih uporabljajo pri očiščevanju vode oziroma zaradi vodnega pulza.



Graf 4: Število kolonij kvasovk in plesni po 7 dneh inkubacije na 22 °C

4.2.5 Fizikalni parametri

Na terenu sva na vsaki lokaciji izmerili temperaturo, prevodnost, pH in koncentracijo kisika.

Tabela 4: Izmerjeni fizikalni parametri

Merilna mesta	temperatura (°C)	Prevodnost (μS)	pH	Koncentracija kisika (mg/L)
1	10,1	406	7,406	8,82
2	8,2	419	7,691	7,96
3	8,1	410	7,69	8,01
4	8,6	378	7,646	8,8
5	7,6	162,6	7,589	9,21
6	8,15	374	7,557	8,68
7	7,7	302	7,508	8,44
8	8,1	307	7,718	9,05
9	6,8	246	7,619	9,21
10	7,5	292	7,664	9,15

Voda je takoj po izviru nekoliko toplejša, kar je smiselno, saj se stalna temperatura podzemlja navadno giblje okoli 10 °C. Temperatura vode ob ponoru (merilno mesto št. 10) je nižja kot v izviru, kar lahko povežemo s tem, da imajo vsi trije pritoki nižjo temperaturo od glavnega toka. Prevodnost v sedmi točki se ne sklada s kemijskimi analizami, saj so te pokazale precej povišano vsebnost Na⁺ in Cl⁻ ionov, prevodnost pa je približno enaka kot na drugih lokacijah. Vsebnost kisika v vodi je visoka, najvišja je v pritoku Slavinšček (najverjetneje zaradi hitrosti toka in posledično višje stopnje oksigenacije) najnižja pa v Kleniku.

4.2.6 Ioni

Simbol IC pomeni koncentracijo posamezne kemijske snovi v vzorcu, simbol << pa nam pove, da ionski kromatograf ni zaznal vsebnosti posamezne snovi v vzorcu.

4.2.6.1 Kationi

Tabela 5: Vrednosti kationov na posameznih merilnih mestih

Merilna mesta	IC Kalcij (mg/L)	IC Magnezij (mg/L)	IC Natrij (mg/L)	IC Kalij (mg/L)	IC Amonij (mg/L)	IC Litij (mg/L)
1	83,64	1,47	2,37	1,46	<<	<<
2	87,65	4,69	1,98	1,62	0,2	<<
3	86,16	4,54	2,07	1,55	<<	<<
4	78,16	4,03	3,15	1,76	<<	<<
5	33,4	1,51	1,22	1,29	<<	<<
6	80,61	3,53	1,31	1,14	<<	<<
7	52,14	2,7	10,95	1,76	0,008	<<
8	62,64	3,29	2,98	1,49	<<	<<
9	47,32	2,34	4,92	1,38	<<	<<
10	56,95	3	5,33	1,59	<<	<<

Točki meritev 2 (Klenik) in 7 (pritok Stržen) sta bili pozitivni na test amonija, ki je indikator fekalnega onesnaženja. Na merilnem mestu 2 so razlog za to najverjetneje odpadne vode, ki se s cevjo stekajo v strugo (Slika 5., stran 11). V vzorcu 5 (pritok Slavinšček) je nekoliko manj kalcija in magnezija, kot v drugih delih toka, kar se sklada z manjšo trdoto vode na tem mestu, ki sva jo zasledili pri kemijski analizi z uporabo terenskega kovčka.

Na vseh vzorčnih mestih je vsebnost kalcija večja kot vsebnost magnezija in iz razmerij med Ca²⁺ in Mg²⁺ lahko določimo preko katere kamnine je tekla voda. Če je razmerje Ca²⁺ : Mg²⁺ večje od 6 nam to lahko pove, da je bila voda v stiku za apnenčasto podlago, če je pa vrednost med 1 in 1,5 pa v dolomitno podlago (Petrič, 2006). Torej je bila voda iz naših vzorcev v stiku z apnenčasto podlago.

4.2.6.2 Anioni

Tabela 6: Vrednosti anionov na posameznih merilnih mestih

Merilna mesta	IC Klorid (mg/L)	IC Nitrat (mg/L)	IC Sulfat (mg/L)	IC Fosfat (mg/L)	IC Nitrit (mg/L)	IC Fluorid (mg/L)	IC Bromid (mg/L)
1	5,7	3,26	3,66	<<	<<	0,018	<<
2	4,33	3,46	3,17	<<	<<	0,03	<<
3	4,48	3,31	3,21	<<	<<	0,031	<<
4	6,13	3,45	3,26	<<	<<	0,032	<<
5	2,39	1,66	3,58	<<	<<	0,034	<<
6	3,18	2,96	2,93	<<	<<	0,033	<<
7	19,89	2,32	4	0,397	<<	0,048	<<
8	5,58	2,52	3,25	<<	<<	0,033	<<
9	7,61	1,73	5,07	<<	<<	0,04	<<
10	9	2,36	4,12	<<	<<	0,038	<<

Višja koncentracija fosfatov v vzorcu je lahko vzrok za večje število bakterij, saj fosfati pospešujejo razmnoževanje bakterij, predvsem *Escherichie coli*. (Miettinen TI, idr., 1997). Večja količina fosfatov na tem mestu je najverjetneje razlog za večji delež *Escherichie coli* v vseh zaznanih koliformih (*Escherichia coli* spada med koliforme). Razmerje med koliformi in *E. coli* je namreč 127 : 511 kar pomeni kar 24,85 % *E. coli* in je več od drugih deležev. Na drugih vzorčnih mestih se odstotek *E. coli* namreč giblje med 0 % in 12,12 % razen na vzorčnem mestu 8, to pa najverjetneje zato, ker se pritok Stržen (označen s številko 7) izliva v glavni tok tik pred vzorčnim mestom 8 (Grobišče).

Fosfati so prisotni samo na mestu 7, kar je nekoliko nenavadno, saj smo pred izlivom v Postojnsko jamo (mesto 10) opazile penjenje, ki je pogosti pokazatelj prisotnosti fosfatov. Seveda obstajajo tudi drugi možni vzroki za pojav penjenja, kot na primer hitrejši pretok reke, ki je posledica vodnega pulza v dneh, ko sva opravljali meritve.

Mesto 7 (Rakitnik) ima večjo vsebnost natrija in klor. Lahko sklepamo, da je rezultat višje koncentracije natrija in klor posledica pojava soli v okolju (NaCl je gospodinjska sol). Najverjetneje na rezultat vpliva bližina naselja in gospodinjskih odpadkov, pojasnili pa bi jo lahko tudi z bližino cestišča, ki je v zimskih mesecih večkrat soljeno z namenom preprečevanja poledice.

V Pravilniku o pitni vodi, je kot indikator za pitno vodo navedena mejna vrednost za nitrate 50 mg/L, te vrednosti ne presega nobeden izmed vzorcev. Mejne vrednosti za nitrite (0,50 mg/L) tudi niso bile presežene.

4.3 Splošna diskusija celotnega stanja vodotoka in sklepi

Veliko člankov o stanju reke Pivke priča o tem, da reka ni v stanju, v kakršnem bi si ga želeli. Mnogi omenjajo izpuste možnih škodljivih snovi in poudarjajo, da je potrebno nekaj spremeniti, v nasprotnem primeru pa bomo izgubili te naravne lepote in povzročili izumrtje nekaterih živalskih vrst. Veliko onesnaženje ne bi povzročilo le izumiranja vodnih in obvodnih organizmov porečja Pivke, temveč tudi drugih organizmov, celo na drugih območjih, ki ne bi neposredno prišli v stik z virom onesnaženja, saj je znano, da se vode na krasu med seboj pretakajo, so povezane v podzemlju in imajo slabo možnost samoočiščevanja.



Slika 13. Divje odlagališče pri pritoku Nanoščica (vir: Doroteja Vidmar Gajšek)

Radi bi poudarili, da so sklepi v nadaljevanju predvsem ugotovitve do katerih sva prišli po enkratnih natančnejših meritvah, ki so bile izvedene v času deževja in povečanega izpiranja snovi v vodotok.

Sklepi:

- Rezultati meritev delno potrjujejo najino hipotezo o razporeditvi onesnaženja skozi rečni tok (priloženo v prilogah, priloga C). Kot pričakovano je onesnaženost večja ob kmetijskih površinah, vendar pa večjega vpliva industrijskih con na kvaliteto vode z našimi analizami nisva mogli potrditi.

Velik problem je obilno gnojenje z fekalnimi odpadki domačih žvali. Gnojnica se (še posebej v času obilnega deževja) izteka v vodotok in podtalnico. Fekalno kontaminacijo so potrdile naše analize bakterijskih kolonij *Escherichie coli*, koliformov in enterokokov, ter kemijska analiza vsebnosti amonija in fosfatov.

Onesnaženje fekalnega izvora je najbolj opazno pri merilnem mestu 7 (Rakitnik), kjer meritve (predvsem ATP-ja, celokupnega števila bakterijskih kolonij, *E. coli*, koliformov in enterokokov) nazorno potrjujejo kontaminacijo.

Opazen je tudi vpliv čistilne naprave Pivka na vodotok, predvsem zaradi znatnega povečanja količine gliv po izlitju odplak iz čistilne naprave v vodotok. Za natančnejšo razlago tega pojava bi bile potrebne nadaljnje meritve.

- Med opazovanjem terena in meritvami sva opazili veliko divjih odlagališč odpadkov, kot je na primer odlagališče gradbenega materiala pri pritoku Nanoščica (Slika 9). Ob prometnicah je veliko odvrženih odpadkov (odpadna embalaža, kmetijski odpadki). Problematika divjih odlagališč je pereča, saj so le-ta pogosto spregledan faktor kontaminacije. Odpadki namreč postopoma razpadajo in se razgrajujejo v okolje, kar ogroža lokalno floro in favno. Še posebej so problematični razni nevarni odpadki kot so gospodinjski aparati iz katerih iztekajo različne, okolju nevarne, kemikalije (na primer hladilni plini).
- V spodnji tabeli so predstavljene vrednosti nekaterih preiskovanih parametrov in barvno so označeni če ustrezajo določenim mejnim vrednostim, ki so navedene v poglavju raziskovalni parametri (glej stran 12).

Tabela 7: Ustreznost merilnih mest glede na mejne vrednosti za pitno vodo

	Analiza ATP	EC koliformi, 37 °C, 48h (CFU/ml)	EC <i>E. coli</i> 37 °C, 48h (CFU/ml)	IC Nitrat (mg/L)	IC Nitrit (mg/L)	IC Amonij (mg/L)
1	5	8	0	3,26	<<	<<
2	91	90	5	3,46	<<	0,2
3	83	68	7	3,31	<<	<<
4	170	142	13	3,45	<<	<<
5	410	66	8	1,66	<<	<<
6	128	74	2	2,96	<<	<<
7	754	511	127	2,32	<<	0,008
8	272	108	24	2,52	<<	<<
9	211	121	11	1,73	<<	<<
10	274	130	19	2,36	<<	<<

Zelena barva označuje vrednosti posameznih parametrov, ki ustrezajo mejnim vrednostim za pitno vodo, rumena barva pomeni pogojno ustreznost, z rdečo pa so zaznamovane vrednosti, ki niso zadovoljive. Iz te tabele je razvidno, da voda na nobenem merilnem mestu ni primerna za pitje.

Povzetki glavnih ugotovitev na posameznem merilnem mestu so za boljšo preglednost predstavljeni tudi v tabeli v prilogi F.

4.4 Vpliv onesnaženja na rečne in obrečne organizme

S spremljanjem organizmov v določenem okolju lahko marsikaj izvemo o njegovem stanju. Kraški relief in nenehno spreminjanje višine vodotoka je razlog za pojav nekaterih zanimivih živalskih in rastlinskih vrst. Ko se presihajoča jezera napolnijo lahko v Petelinjskem jezeru najdemo precejšnje število nižjih rakcev. Najbolj znan predstavnik škrgonožcev je 12-15 mm dolg rakec škrgonožec (*Chirocephalus croaticus*), ki je znan balkanski endemit. V Sloveniji je zavarovan saj ima status redke vrste in se uvršča na rdeči seznam. Do sedaj so bile odkrite tudi 3 vodne bolhe (*Daphnia obtusa*, *Biapertura affinis* in *Moina brachiata*) in nekateri ceponožni raki (T. Pipan, 2005).



Slika 13. Ličinka mladoletnice in pijavka v vodi pri Kleniku (vir Nika Kontelj)



Slika 14. Mrest pri Prestranku (vir Nika Kontelj)

Ker pa je reka večji del leta predvsem v zgornjem toku izsušena večje rečne živali niso pogoste. Nekaj rib, ki so primerne tudi za ribolov, se pojavlja v območju od sotočja z Nanoščico do Postojnske jame. To so predvsem veliki ciprinidi in roparice - zlasti ščuke (Pivka - Ribiška družina Postojna, 2020). V spodnjem toku lahko redko naletimo na primerke človeške ribice, ki jih poplave potisnejo iz podzemlja. V sušnem obdobju izsušene ostanke struge nekateri organizmi uporabljajo le za del življenjskega cikla. Pogoste so ličinke komarjev, paglavci, ličinke mladoletnice...

Pri našem raziskovanju smo opazile nekaj ličink mladoletnice (*Trichoptera*), ki je nočnemu metulju podobna žuželka (Slika 13.). Jajčeca odlaga v vodo, iz teh pa se kasneje izležejo ličinke, ki z okoliškim materialom oblikujejo drobne zaščitne cevke, tako da izgledajo kot majhni rakci. Pojavljale naj bi se samo v razmeroma čisti vodi, tako, da naju je najdišče presenetilo, saj je bila (vsaj na prvi pogled) najbolj onesnažena ravno točka, kjer sva jih opazili (merilno mesto pri Kleniku v raziskavah leta 2020). Na istem najdišču smo opazile tudi precejšnje število pijavk (*Hirudinea*), nekaj paglavcev ter navadnih tubifeksov (*Tubifex tubifex*). Na terenu smo opazile tudi nekaj odraslih žab, ki jim prija vlažna bivališča blizu vodotokov.

Obrečne rastline morajo biti posebej prilagojene na nenehno spreminjanje vodostaja, saj morajo preživeti sušna obdobja (poletje, zima) in velike poplave v času polnjenja presihajočih jezer. Ob visokem vodostaju se v globjih predelih pojavijo alge parožnice in planktonske alge (Vasilevska, 2007). Onesnaženost reke Pivke seveda ne vpliva samo na rečne in obrečne organizme v zunanjem okolju temveč kvaliteta vode vpliva tudi na občutljiv svet jamskih organizmov. Postojnska jama v katero reka ponikne, je znan dom številnih jamskih endemitov. Med najbolj znanimi so človeška ribica, hrošč drobnovratnik, rakec jamska kozica, jamski trdoživ...). Ker v jami ni vira sončne energije in primarnih

proizvajalcev (fotoavtotrofov), so ti jamski organizmi odvisni od hranilnih snovi iz zunanjega okolja, ki v jame pridejo najpogosteje z rečnim tokom.

Velika onesnaženost reke lahko torej prizadene jamske organizme na več načinov: zaradi direktnega vnosa toksičnih snovi v jamski svet, ki onesnaži podtalnico ali zaradi zmanjšane vnosa organskih snovi, ki ponika v jame. Zaradi onesnaženosti v reki živi manj organizmov kar pomeni posledično manj odmrlih organizmov, kot so na voljo kot vir energije v jamskem svetu.

6 ZAKLJUČEK

V raziskovalni nalogi sva preučili in predstavili onesnaženje reke Pivke. Ugotovili sva, da se je raven onesnaženosti reke skozi čas precej spreminjala. Nivo onesnaženosti se je povečal z napredkom gospodarstva in razvoja, v zadnjih časih pa se razmere izboljšujejo zaradi ozaveščanja ljudi o pomenu varovanja okolja. Analizirali sva trenutno stanje vodotoka na različnih merilnih točkah in izpostavili glavne razloge za onesnaženje. Ti so predvsem industrijski obrati, kmetijstvo in neodgovorno odlaganje odpadkov. Analizo vodnega toka sva izvajali z enkratnimi meritvami v času vodnega pulza in povečanega izpiranja snovi iz okolja v vodotok. Tako je v rezultatih analiz opazno fekalno onesnaženje, ki bi lahko bilo posledica kmetijskih dejavnosti (gnojenje površin z iztrebki domačih živali) ki jih je vodni pulz izpral v vodotok.

Leto 2020/2021 mogoče ni bil najprimernejši čas za izvajanje raziskovalne naloge. Veliko mesecev je šolanje potekalo izključno na daljavo. Prehodi med občinami in regijami so bili prepovedani in tako je bil dostop na najino raziskovalno področje zelo otežen saj sva doma iz različnih občin. Dostop do šole, knjižnic in Inštituta za raziskovanje krasa, kjer smo izvajale meritve je bil omejen, kar je otežilo in podaljšalo najino delo.

Zaradi vseh naštetih razlogov sva lahko izvedli le eno od številnih načrtovanih meritev, kar na žalost ni dovolj za natančnejše in tehtnejše zaključke. Naloga sledi in analizira trenutno stanje, ne omogoča pa primerjave vodotoka v različnih obdobjih, ki se lahko med letom v vodotoku pomembno razlikujejo. Zavedava se, da bi za tako analizo potrebovali večje število zaporednih meritev, ki bi jih statistično obdelali, ti pa bi nam dali bolj tehtne in relevantne rezultate. Vse to so možnosti, kako bi lahko najino nalogo v prihodnosti nadgradili in dodelali.

Kljub pandemiji in ostalim preprekam sva uspeli opraviti precejšen del analiz in napisati raziskovalno nalogo.

Namen raziskovalne naloge je bil dosežen. S popisom informacij in analizo stanja na primeru kraške reke Pivke bova vsaj nekaj ljudi obvestili in izobrazili o pomembnosti kraških vodotokov in vplivu onesnaženja na občutljivo kraško okolje. Upava, da se bo raziskovanje področja nadaljevalo.

Želiva si, da bo najina raziskava vsaj delno vplivala na stanje kraškega okolja, pa četudi samo s spodbujanjem posameznikov, naj ne odlagajo smeti v divja odlagališča, poskrbijo, da odgovorno kmetujejo in opozarjajo na kršitve večjih industrij. Meniva, da bi več lokalnih prebivalcev ravnalo bolj odgovorno, če bi bili izobraženi o načinu pretoka vode na kraškem terenu in bi se zavedali, kako onesnaženje vpliva na okolje in posledično tudi na njihovo lastno zdravje.

Upava tudi, da bova spodbudili nadaljnje raziskovanje kraškega sveta, saj je zelo zanimiv in vreden truda za ohranitev. Želiva si še nadaljnjih raziskav območja v različnih obdobjih, saj se stanje glede na količino vode v zaledju spreminja.

7 VIRI IN LITERATURA

- Anon., 2003. *Drinking Water Regulations* (in Swedish). SLVFS 2001: 30. National Food Administration, Stockholm, Sweden).
- Arso.gov.si. (2021). meteo.si - Uradna vremenska napoved za Slovenijo - Državna meteorološka služba RS - Vreme podrobneje. Dostopno na: <https://meteo.arso.gov.si/met/sl/app/webmet/#webmet==8Sdwx2bhR2cv0WZ0V2bvEGcw9ydIJWblR3LwVnaz9SYtVmYh9iclFGbt9SaulGdugXbsx3cs9mdl5Wah9lc3xXYyNGapZXZ8tHZv1WYp5mOnMHbvZXZulWYnwCchJXYtVGdIjnOn0UQQdSf> (sneto: 2.3.2021).
- AquaSnap TOTAL (2018). *Hygiena*. Dostopno na: <https://www.hygiena.com/food-safety-solutions/atp-monitoring/aquasnap-total/> (sneto: 17. 03. 2021)
- Baker Tony (2005). *Queensland Wetlands Programme WETLAND MANAGEMENT PROFILE KaRst wEtLands*. Dostopno na: <https://wetlandinfo.des.qld.gov.au/resources/static/pdf/resources/factsheets/profiles/p01783aa.pdf> (sneto: 12. 04. 2021)
- Beloin, C., Roux, A. and Ghigo, J.-M. . (2008). *Escherichia coli Biofilms*. Current Topics in Microbiology and Immunology
- Berthold Technologies GmbH & Co.KG (2020). *Berthold Technologies GmbH & Co.KG*. Dostopno: <https://www.berthold.com/en/bioanalytic/knowledge/glossary/atp-measurement/> (sneto: 11. 04. 2021)
- Bio-geochemical Methods. (2021). *Ion Chromatography*. Dostopno na: https://serc.carleton.edu/microbelife/research_methods/biogeochemical/ic.html (sneto: 03. 04. 2021)
- Bizjak (brez letnice). *Razsvetjava: Svetloba in barva*. Dostopno na: http://lrf.fe.uni-lj.si/e_razsvetjava/fe%2004.pdf (sneto: 13. 03. 2021)
- Black, A. P.; Babers, F. H. (1939). *Methyl nitrate*
- Božić Vlado (2012). *Čovjek i krš 2011: Man and karst*. Bijakovići-Sarajevo: Fakultet društvenih znanosti dr. Milenka Brkića, Sveučilište/Univerzitet »Hercegovina«, Centar za krš i speleologiju.
- Chapman, Hall (brez letnice). *Water quality monitoring: a practical guide to the design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programmes*. Dostopno na: https://www.researchgate.net/publication/253953121_Water_quality_monitoring_a_practical_guide_to_the_design_and_implementation_of_freshwater_quality_studies_and_monitoring_programmes (sneto: 19. 04. 2021)
- Dege, J. (2014). *Compact Dry EC (en) - Food & Feed Analysis*. *Food & Feed Analysis*. Dostopno na: <https://food.r-biopharm.com/products/compact-dry-ec/> (sneto: 3.4.2021).
- Filtri-za-vodo.si. (2021). *Filtri za vodo | Tehnofan.si*. Dostopno na: <https://www.filtri-za-vodo.si/> (sneto: 12. 06. 2020)
- Hageskal, G., Lima, N. and Skaar, I. (2009). *The study of fungi in drinking water*. *Mycological Research*, 113(2), pp.165–172.)
- Kraški vodovod Sežana d.o.o, (2020). *Kislost vode*. dostopno: <https://www.kraski-vodovod.si/?stran=voda-kislost> (sneto 17. 03. 2021)
- Kraski-vodovod.si (2021). *Opis indikatorskih elementov, ki jih najdemo v pitni vodi*. Dostopno: <https://www.kraski-vodovod.si/natisni.asp?stran=voda-indikatorski-parametri&id=&sort=&index#Amonij> (sneto 12. 03. 2021)
- Medlineplus.gov. (2018). *Methemoglobinemia: MedlinePlus Medical Encyclopedia*. Dostopno: <https://medlineplus.gov/ency/article/000562.htm>. (sneto 22. 03. 2021)
- Miettinen TI, Vartiainen T, Martikainen P (1997). *phosphorus and bacterial growth in drinking water*. *appl environ microbiol* 63(8): 3242-45. Dostopno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC168622/> (sneto: 16. 04. 2021)

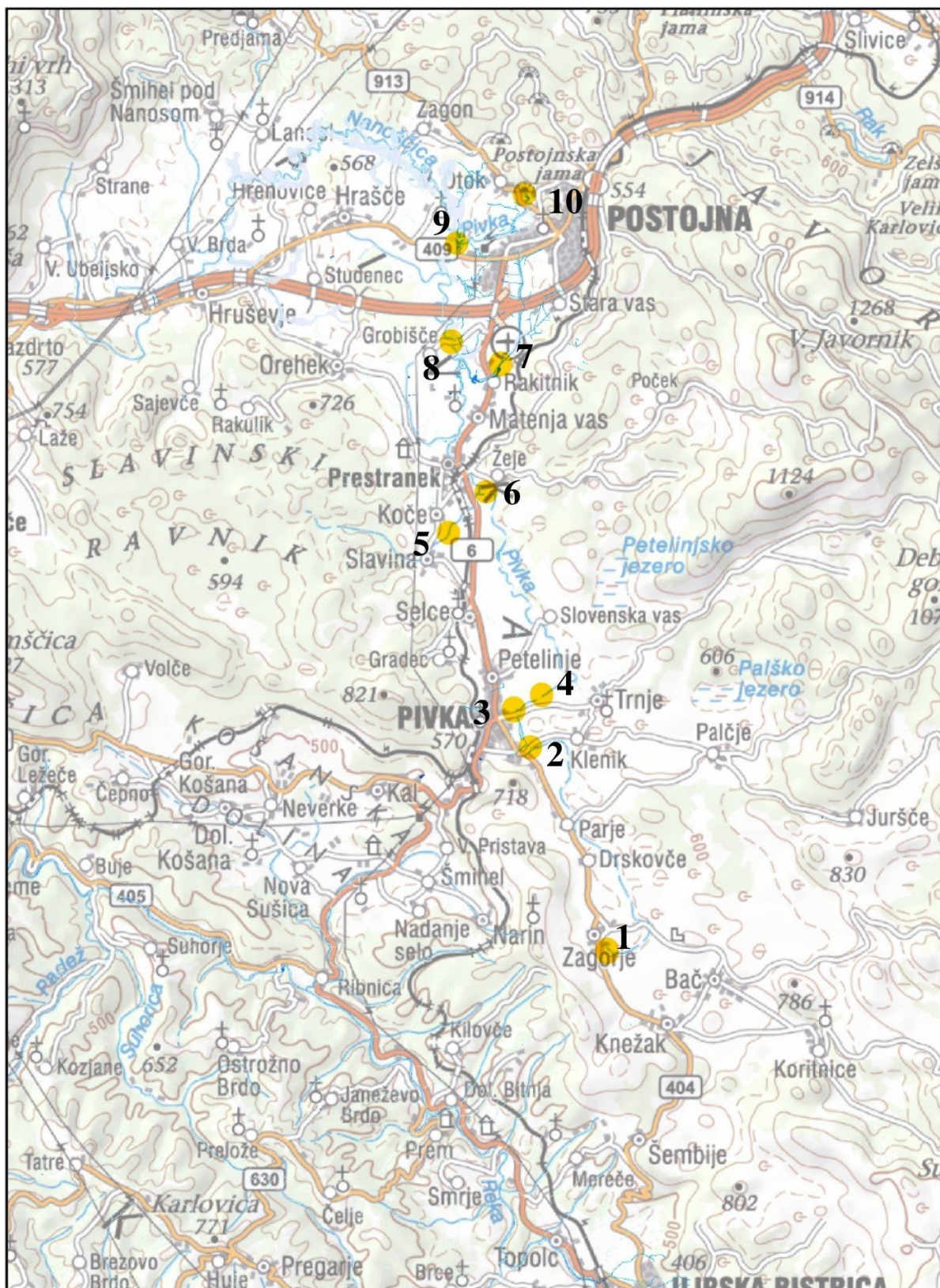
- Mikro-polo.si. (2015). Mikro+Polo d.o.o. - Vaš partner za laboratorij. Dostopno: https://www.mikro-polo.si/files/mpwww/userfiles/Navodila%20za%20uporabo/Dokument_S/SIGMA%20ALDRICH%20-%20FL-37557-1EA (sneto: 3.12.2020)
- Ministerstvo za kmetijstvo in okolje. (2011). *Ocena stanja rek v Sloveniji v letu 2011*
- Mulec idr. (2005). *Acta Carsologica Vol. 34 No. 3: Pivška presihajoča jezera*. Ljubljana: Slovenska akademija znanosti in umetnosti in Znanstvenoraziskovalni center SAZU
- Nacionalni inštitut za javno zdravje (brez letnice). *ESCHERICHIA COLI (E. coli) V ŽIVILIH* Dostopno: https://www.nijz.si/sites/www.nijz.si/files/uploaded/ecoli_05082015.pdf (sneto 13. 03. 2021)
- Naravoslovno tehniška fakulteta. (brez letnice). *Električna prevodnost, pH vrednost in trdota vode*. Dostopno: https://www.ntf.uni-lj.si/igt/wp-content/uploads/sites/8/2015/08/3_Prevodnost_pH_TrdotaVode.pdf (sneto: 05. 02. 2021)
- Naravovarstveni-atlas.si. (2021). *Naravovarstveni atlas*. Dostopno: <https://www.naravovarstveni-atlas.si/web/DefaultNvaPublic.aspx> (sneto: 10. 04. 2021)
- Nijz.si. (2015). *Enterohemoragična E.coli (EHEC) | www.nijz.si*. Dostopno: <https://www.nijz.si/sl/enterohemoragicna-ecoli-ehc> (sneto: 19. 04. 2021)
- Okoljsko procesne tehnologije. (2014). Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Laboratorij za toplotno tehniko, 8 str. Dostopno na: <http://lab.fs.uni-lj.si/lt/images/stories/file/2013-2014%20okpt%20lav4.pdf> (sneto: 09. 05. 2021)
- Petrič M. (2006). *Osnove krasoslovja II. Osnove hidrologije krasa*, univerza v Novi Gorici
- Petrič, Kogovšek (2005). *Acta Carsologica Vol. 34 No. 3: Pivška presihajoča jezera*. Ljubljana: Slovenska akademija znanosti in umetnosti in Znanstvenoraziskovalni center SAZU
- Pipan. (2005). *Favna presihajočih pivških jezer: Fauna of the pivka intermittent lakes*. Ljubljana: *Acta carsologica Vol. 34 No. 3: Pivška presihajoča jezera*. Ljubljana: Slovenska akademija znanosti in umetnosti in Znanstvenoraziskovalni center SAZU
- Pravilniku o pitni vodi (Ur.l. RS št. 19/04, 35/04, 26/06, 92/06 in 25/09), celoten pravilnik dostopen na: <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV3713b> (sneto: 18.04.2021)
- Ribisekarte.si. (2021). *Pivka - Ribiška družina Postojna* Dostopno: <https://www.ribisekarte.si/rd-postojna/pivka> (sneto: 12. 01. 2021)
- Šebela (2005). *Acta Carsologica Vol. 34 No. 3: Pivška presihajoča jezera*. Ljubljana: Slovenska akademija znanosti in umetnosti in Znanstvenoraziskovalni center SAZU
- Tarman (1992). *Biocenoza*
- Trček, P. (2016). *O smradu in onesnaženi vodi v Postojni veliko besed, a zadnje še ne* Dostopno na: <https://notranjskoprimorske.si/2016/06/o-smradu-in-onesnazeni-vodi-v-postojni-veliko-besed-a-zadnje-se-ne/> (sneto: 14. 12. 2020)
- UNESCO World Heritage Centre (2014). South China Karst. Dostopno na <https://whc.unesco.org/en/list/1248/> (sneto: 12. 04. 2021)
- Vasilevska (2007). *Kulturna krajina presihajočih Pivških jezer kot bodoči krajinski park*. Nova Gorica: Univerza v Novi Gorici, Fakulteta za znanosti o okolju

PRILOGE

PRILOGA A: Pravilnik o pitni vodi (Ur.l. RS št.:19/04 in 35/04), Priloga 1, del C

Parameter	Mejna vrednost parametra/specifikacija	Enota	Opombe
Aluminij	200	µg/l	
Amonij	0,50	mg/l	
Barva	Spremenljiva za potrošnike in brez neobičajnih sprememb		
Celotni organski ogljik (TOC)	Brez neobičajnih sprememb		Opomba 1
<i>Clostridium perfringens</i> (vključno s sporami)	0	Število/100 ml	Opomba 2
Električna prevodnost	2500	µS cm ⁻¹ pri 20°C	Opomba 3
Klorid	250	µg/l	Opomba 3
Koliformne bakterije	0	Število/100 ml	Opomba 4
Koncentracija vodikovih ionov (pH vrednost)	≥ 6,5 in ≤ 9,5	Enote pH	Opombi 3 in 5
mangan	50	µg/l	
Motnost	Spremenljiva za uporabnike in brez neobičajnih sprememb		Opomba 6
Natrij	200	mg/l	
Oksidativnost	5,0	mg O ₂ /l	Opomba 7
Okus	Spremenljiv za potrošnike in brez neobičajnih sprememb		
Sulfat	250	mg/l	Opomba 3
Število kolonij pri 22°C	Brez neobičajnih sprememb		
Število kolonij pri 37°C	Manj kot 100	Število/ml	
Vonj	Spremenljiv za potrošnike in brez neobičajnih sprememb		
Železo	200	µg/l	

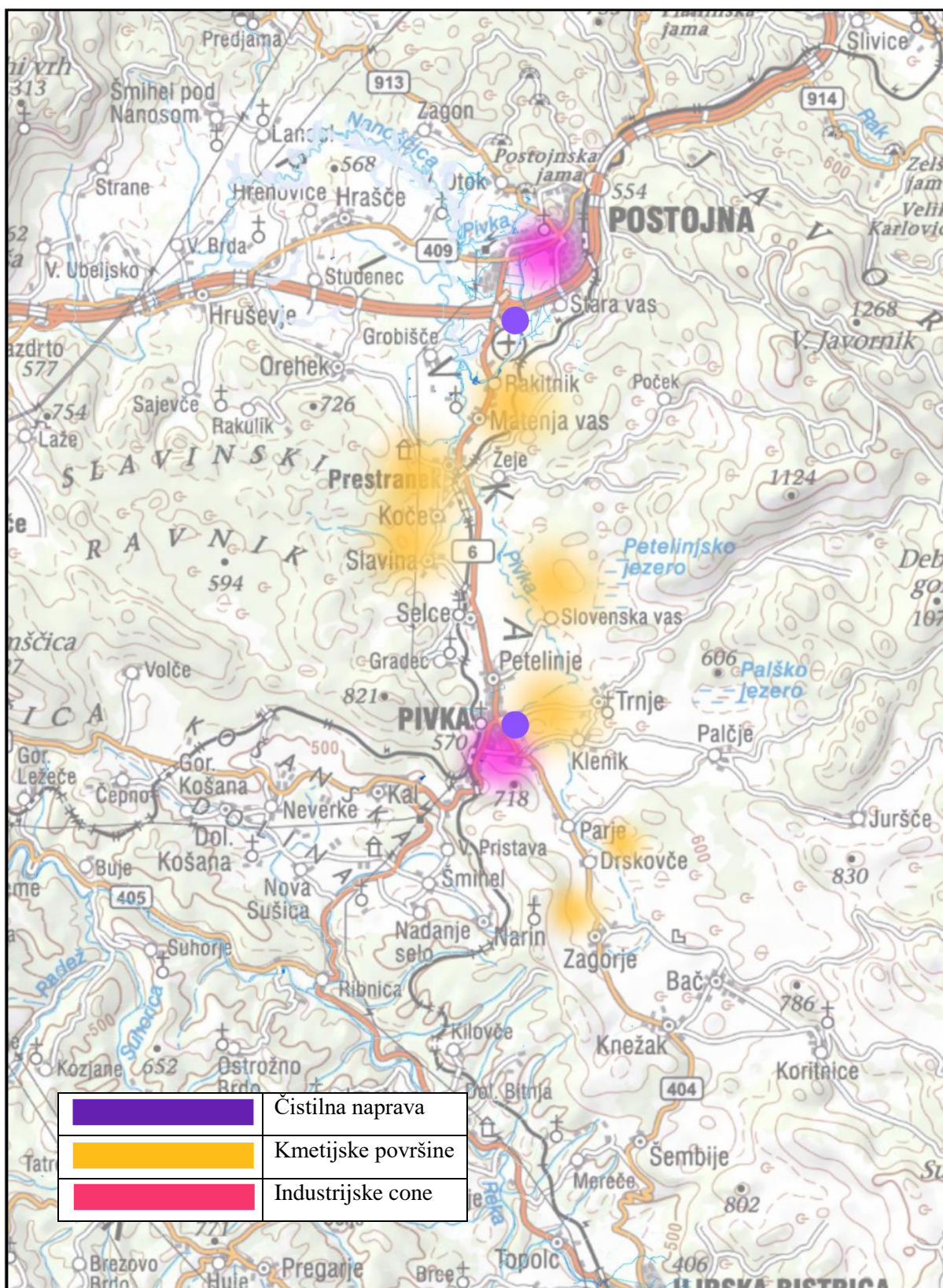
PRILOGA B: Zemljevid reke Pivke



3. 02. 2021 13:01:02

Merilo 1:100000

PRILOGA C: Zemljevid potencialnih virov onesnaženja skozi rečni tok

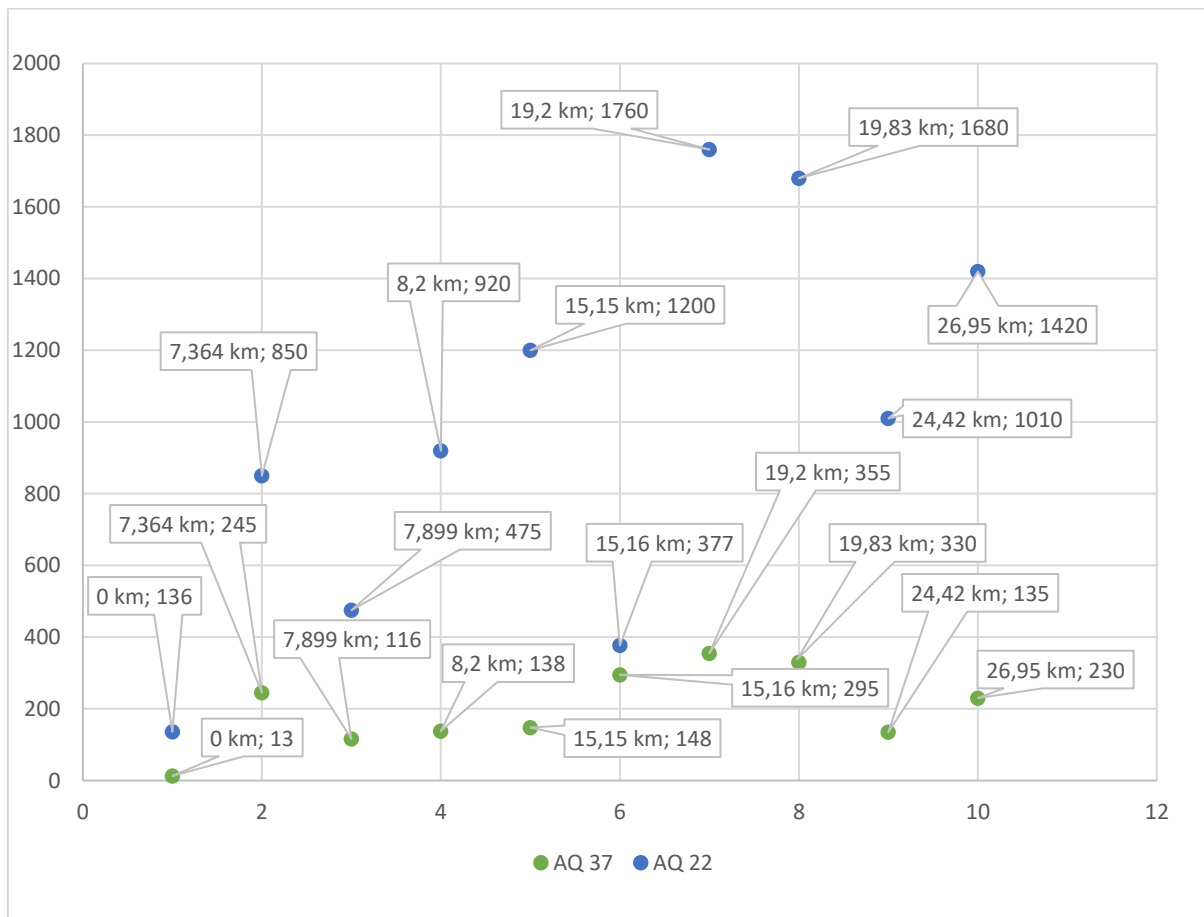


3. 02. 2021 13:01:02


Merilo 1:100000

PRILOGA D: Graf celokupnega števila bakterijskih kolonij po 48 urah inkubacije na 37 °C in po 7 dneh inkubacije na 22 °C

Zelene točke prikazujejo število kolonij v posameznem vzorcu po 48 urah na 37 °C, modre pa prikazujejo število kolonij v posameznem vzorcu po sedmih dneh inkubacije na 22 °C. Na grafu so pri vsakem vzorčnem mestu dve številki, prva prikazuje oddaljenost merilnega mesta od izvira v kilometrih, druga pa število vseh bakterijskih kolonij v vzorcu.



PRILOGA E: Količina padavin na dan vzorčenja (9. 2. 2021)

POSTOJNA lon=14.1973 lat=45.7722 viš=538m	 količina padavin [mm]
2021-02-09 07:00	2.5
2021-02-09 07:30	2.7
2021-02-09 08:00	2.5
2021-02-09 08:30	2.9
2021-02-09 09:00	4.4
2021-02-09 09:30	2.6
2021-02-09 10:00	1.1
2021-02-09 10:30	1.8
2021-02-09 11:00	0.9
2021-02-09 11:30	2.1
2021-02-09 12:00	1.3
2021-02-09 12:30	0.7
2021-02-09 13:00	0.1
2021-02-09 13:30	0.1
2021-02-09 14:00	0
2021-02-09 14:30	0
2021-02-09 15:00	0
2021-02-09 15:30	0
2021-02-09 16:00	0
2021-02-09 16:30	0
2021-02-09 17:00	0
2021-02-09 17:30	0
2021-02-09 18:00	0.4
2021-02-09 18:30	0.2
2021-02-09 19:00	0
2021-02-09 19:30	0
2021-02-09 20:00	0

Arso.gov.si., 2021

Priloga F: Povzetek ugotovitev na posameznem merilnem mestu

št. merilnega mesta	ime merilnega mesta	Ugotovitve
1	izvir v Zagorju	Voda ob izviru je najčistejša.
2	most pri Kleniku	pozitivno na amonij (fekalno onesnaženje).
3	pred čistilno napravo Pivka	
4	po čistilni napravi v Pivki	Nekolikšno povečanje večine opazovanih parametrov, izstopa veliko povečanje gliv.
5	pritok Slavinšček (Koče)	Vrednost bakterij fekalnega onesnaženja nepričakovano majhna glede na vrednost ATP, nekoliko večja vsebnost kisika, manjša trdota (manj kalcija in magnezija).
6	Prestranek (Žejski mlini)	Manjša vrednost ATP.
7	pritok Stržen (Rakitnik)	Opazno izstopa v meritvah koncentracije indikatorskih skupin bakterij fekalnega onesnaženja, večja vsebnost fosfatov, vsebnost amonija, večja vsebnost natrija in klora.
8	Grobišče (most pri loviščih rib)	Večji delež okolijskih bakterij.
9	pritok Nanoščica	Najnižja temperatura.
10	izliv v Postojnsko jamo	Temperatura ob ponoru je nižja od temperature pri izviru.