

**VISOKA ŠOLA ZA VARSTVO OKOLJA**

**DIPLOMSKO DELO**

**TERENSKE MERITVE STANDARDNIH KEMIJSKIH  
LASTNOSTI VODE V JAMI PEKEL IN NJENEM  
HIDROGEOLOŠKEM ZALEDJU**

**KATJA OCEPEK**

**VELENJE, 2021**



**VISOKA ŠOLA ZA VARSTVO OKOLJA**

**DIPLOMSKO DELO**

**TERENSKE MERITVE STANDARDNIH KEMIJSKIH  
LASTNOSTI VODE V JAMI PEKEL IN NJENEM  
HIDROGEOLOŠKEM ZALEDJU**

**KATJA OCEPEK**

**Varstvo okolja in ekotehnologije**

**Mentorica: doc. dr. Marta Svetina Veder**

**Somentorica: Alenka Jelen, mag.**

**VELENJE, 2021**



Številka: 726-21/2018-2  
Datum: 9. 10. 2018

Na podlagi Diplomskega reda izdajam naslednji

### SKLEP O DIPLOMSKEM DELU

Študentka Visoke šole za varstvo okolja **Katja Ocepek** lahko izdela diplomsko delo z naslovom v slovenskem jeziku:

**Terenske meritve standardnih kemijskih lastnosti v Jami Pekel in njenem hidrogeološkem zaledju**

Naslov diplomskega dela v angleškem jeziku:

**The field measurements of standard chemical properties in the Jama Pekel and its hydrogeological watershed**

Mentor: **doc. dr. Marta Svetina Veder**

Somentor: **Alenka Jelen, mag.**

Diplomsko delo mora biti izdelano v skladu z Diplomskim redom VŠVO.

Pouk o pravnem sredstvu: zoper ta sklep je dovoljena pritožba na Senat VŠVO v roku 8 delovnih dni od prejema sklepa.



Izr. prof. dr. Boštjan Pokorny  
dekan



Visoka šola za varstvo okolja

Irg mladosti 7 | 3320 Velenje

t: 03 898 64 10 | f: 03 89864 13 | e: info@vsvo.si

www.vsvo.si





## IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisana **Katja Ocepek**, vpisna številka **34150023**, študentka visokošolskega programa Varstvo okolja in ekotehnologije, sem avtorica diplomskega dela z naslovom **Terenske meritve standardnih kemijskih lastnosti vode v Jami Pekel in njenem hidrogeološkem zaledju**, ki sem ga izdelala pod mentorstvom doc. dr. Marte Svetina Veder in somentorstvom Alenke Jelen, mag.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo moje avtorsko delo, torej rezultat mojega lastnega raziskovalnega dela;
- oddano delo ni bilo predloženo za pridobitev drugih strokovnih nazivov v Sloveniji ali tujini;
- so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v diplomskem delu, navedena oz. citirana v skladu z navodili VŠVO;
- so vsa dela in mnenja drugih avtorjev navedena v seznamu virov, ki je sestavni element predloženega dela in je zapisan v skladu z navodili VŠVO;
- se zavedam, da je plagiatorstvo kaznivo dejanje;
- se zavedam posledic, ki jih dokazano plagiatorstvo lahko predstavlja za predloženo delo in moj status na VŠVO;
- je diplomsko delo jezikovno korektno in da je delo lektorirala mag. Nataša Koradžija, prof. slov.;
- dovoljujem objavo diplomskega dela v elektronski obliki na spletni strani VŠVO;
- sta tiskana in elektronska verzija oddanega dela identični.

Datum: \_\_\_\_ . \_\_\_\_ . \_\_\_\_

Podpis avtorice: \_\_\_\_\_





## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se mentorici doc. dr. Marti Svetina Veder in somentorici Alenki Jelen, mag., za strokovne nasvete, usmeritve in pomoč pri nastajanju diplomskega dela.

Zahvalila bi se tudi viš. pred. dr. Anji Bubik za usmeritve pri izvajanju kemijskih analiz vode na terenu, Turističnemu društvu Šempeter za voden ogled Jame Pekel in dostop do jame v času terenskega dela ter Jamarski zvezi Slovenije za posredovano gradivo.

Posebna zahvala gre moji družini, ki me je podpirala v času izobraževanja.



## IZVLEČEK

V prvem delu diplomske naloge sem se osredotočila na pomen vode na krasu, značilnosti kraških vodonosnikov in na onesnaževanje kraških voda. Predstavila sem osnovne fizikalno-kemijske lastnosti voda ter varovanje kraških vodnih virov skladno z zakonodajo. V drugem delu naloge sem se posvetila terenskemu delu, ki je zajemalo izvajanje fizikalno-kemijskih analiz vode na območju Ponikovskega krasa. Terenske analize vode so bile izvedene na izviru Ponikvice, pred požiralnikom v Lokah in v pritočnem delu Jame Pekel (rov s podpisi) skozi celo leto. Zajemale so meritve temperature vode, pH-vrednosti, vsebnosti nitratov, nitritov, amonija, fosfatov in sulfatov v vodi. Nad izvirov Ponikvice so namreč kmetijska območja in stanovanjski objekti, ki lahko z neočiščenimi komunalnimi vodami vplivajo na kakovost vode. Na ponornem območju potoka (pred požiralniki) so se spomladi pokazale povišane vrednosti onesnažil, ki izvirajo iz kmetijstva. Tukaj je bilo spomladi in poleti po obilnejših padavinah opaziti motno in rjavkasto vodo, ki se je penila in imela vonj po gnojnici. Ta voda v požiralnikih ponikne v podzemlje Jame Pekel, skupaj z njo pa tudi onesnažila, ki so prisotna v vodi. Na podlagi rezultatov osnovnih fizikalno-kemijskih lastnosti vode in terenskih opažanj sklepam, da je kraška voda obremenjena zaradi posledic človekovih dejavnosti na obravnavanem kraškem območju, predvsem zaradi kmetijstva in neurejenega odvajanja ter čiščenja komunalnih odpadnih voda.

**KLJUČNE BESEDE:** potok Ponikvica, Jama Pekel, Ponikovski kras, onesnaževanje vode, kmetijstvo, terenske analize



## ABSTRACT

In the first section of the *bachelor's* thesis, I focused on the importance of water in the karst, the characteristics of karst aquifers, and the pollution of karst waters. I presented basic physical-chemical characteristics of water and the protection of karst water resources in accordance with the legislation. In the second section of the *bachelor's* thesis, I focused on the fieldwork which included the performance of physical-chemical analysis of water in the area of Ponikva karst. Field sampling of water was carried out at the spring Ponikvica, in front of the ponor in Loke and the Pekel Cave (tunnel with signatures) throughout the year. It included measurements of water temperature, pH value, the content of nitrates, nitrites, ammonium, phosphates, and sulfates in the water. Above the spring Ponikvica, there are agricultural areas and residential buildings, which can affect the quality of water with untreated municipal water. In front of the ponor in Loke, elevated levels of pollutants originating from agriculture were shown. Here, cloudy and brownish water after heavy rainfall in the spring and the summer was observed. This water sinks into the underground of the Pekel Cave, along with the pollutants present in the water. Based on the results of basic physicochemical properties of water and field observations, I can conclude that karst water is polluted due to the consequences of human activities in the karst area, mainly due to agriculture and unregulated discharge and treatment of municipal wastewater.

**KEYWORDS:** spring Ponikvica, Pekel Cave, Ponikva karst, water pollution, agriculture, field measurements



## KAZALO VSEBINE

<b>1</b>	<b>UVOD</b> .....	<b>1</b>
1.1	Opis področja in opredelitev problema.....	1
1.2	Namen in cilji diplomske naloge.....	1
1.3	Hipoteze.....	2
<b>2</b>	<b>TEORETIČNA IZHODIŠČA</b> .....	<b>3</b>
2.1	Voda na krasu.....	3
2.1.1	Kraški vodonosniki.....	3
2.1.2	Zgradba kraških vodonosnikov.....	4
2.1.3	Onesnaževanje kraških voda.....	5
2.2	Načini ugotavljanja onesnaženosti voda.....	6
2.3	Osnovne fizikalno-kemijske lastnosti vode.....	7
2.3.1	Temperatura vode.....	7
2.3.2	pH-vrednost vode.....	8
2.3.3	Dušikove spojine.....	8
2.3.4	Fosforjeve spojine.....	9
2.3.5	Sulfati.....	9
2.4	Varovanje kraških vodnih virov.....	10
2.5	Dotična zakonodaja.....	10
2.5.1	Zakonodaja Evropske unije.....	10
2.5.2	Zakonodaja Republike Slovenije.....	10
<b>3</b>	<b>PONIKOVSKI KRAS</b> .....	<b>14</b>
3.1	Opis območja.....	14
3.2	Geologija območja.....	16
3.3	Hidrologija zaledja Ponikvice.....	16
3.4	Jama Pekel.....	18
<b>4</b>	<b>MATERIALI IN METODE DELA</b> .....	<b>20</b>
4.1	Določitev vzorčevalnih mest.....	20
4.2	Fizikalno-kemijske analize vode na terenu.....	23
4.3	Opis laboratorijskih pripomočkov.....	24
4.4	Natančnost meritev.....	26
4.5	Postopki vzorčenja.....	27
<b>5</b>	<b>REZULTATI</b> .....	<b>29</b>
5.1	Hidrološki podatki iz glavne meteorološke postaje Celje - Medlog.....	29
5.2	Opažanja na terenu.....	31
5.3	Rezultati terenskih analiz vode.....	34
5.3.1	Terenske analize vode v oktobru 2018.....	34
5.3.2	Terenske analize vode v decembru 2018.....	35
5.3.3	Terenske analize vode v marcu 2019.....	35
5.3.4	Terenske analize vode v juniju 2019.....	36
5.3.5	Terenske analize vode v septembru 2019.....	36
5.4	Statistična obdelava podatkov.....	37
<b>6</b>	<b>RAZPRAVA</b> .....	<b>46</b>
6.1	Temperatura zraka.....	46
6.2	Temperatura vode.....	47
6.3	pH-vrednost vode.....	48
6.4	Nitratni ioni.....	49
6.5	Nitritni ioni.....	50
6.6	Amonijevi ioni.....	51
6.7	Fosfatni ioni.....	52
6.8	Sulfatni ioni.....	53
<b>7</b>	<b>SKLEPNE UGOTOVITVE</b> .....	<b>55</b>
<b>8</b>	<b>POVZETEK</b> .....	<b>60</b>
<b>9</b>	<b>SUMMARY</b> .....	<b>61</b>





**10 VIRI IN LITERATURA ..... 62**

**KAZALO SLIK**

Slika 1: Zgradba kraškega vodonosnika .....	5
Slika 2: Zavarovano območje – Ponikovski kras.....	15
Slika 3: Geološka zgradba območja.....	16
Slika 4: LabQuest 2 .....	24
Slika 5: Prenosni spektrofotometer Hach DR/2000.....	26
Slika 6: Glavna meteorološka postaja Celje - Medlog.....	29
Slika 7: Pri izviri Ponikvice marca 2019 .....	31
Slika 8: Pred požiralnikom v Lokah marca 2019 in junija 2019.....	32
Slika 9: Jama Pekel septembra 2019.....	32
Slika 10: Jama Smetišnica .....	33
Slika 11: Boštenuhova jama.....	34
Slika 12: Statistično značilna povezanost med temperaturo zraka in koncentracijo sulfatnih ionov ne glede na obdobje in lokacijo meritev .....	39
Slika 13: Statistično značilna povezanost med temperaturo vode in pH-vrednostjo ne glede na obdobje in lokacijo meritev .....	39
Slika 14: Statistično značilna povezanost med temperaturo vode in koncentracijo sulfatnih ionov ne glede na obdobje in lokacijo meritev .....	40
Slika 15: Statistično značilna povezanost med koncentracijo fosfatnih ionov in koncentracijo sulfatnih ionov ne glede na obdobje in lokacijo meritev .....	40
Slika 16: Statistično značilna povezanost med temperaturo zraka in koncentracijo fosfatnih ionov na izviri Ponikvice.....	41
Slika 17: Statistično značilna povezanost med koncentracijo fosfatnih ionov in koncentracijo sulfatnih ionov na izviri Ponikvice .....	42
Slika 18: Statistično značilna povezanost med temperaturo zraka in koncentracijo sulfatnih ionov pred požiralnikom v Lokah.....	43
Slika 19: Statistično značilna povezanost med temperaturo vode in koncentracijo nitratnih ionov v Jami Pekel.....	44
Slika 20: Statistično značilna povezanost med pH-vrednostjo in koncentracijo sulfatnih ionov v Jami Pekel.....	44

**KAZALO PREGLEDNIC**

Preglednica 1: Izbrana vzorčevalna mesta .....	20
Preglednica 2: Prikaz skupne količine padavin 14 dni pred terenskimi analizami na meteorološki postaji Celje - Medlog.....	29
Preglednica 3: Terenske analize meseca oktobra 2018 .....	34
Preglednica 4: Terenske analize meseca decembra 2018 .....	35
Preglednica 5: Terenske analize meseca marca 2019 .....	36
Preglednica 6: Terenske analize meseca junija 2019.....	36
Preglednica 7: Terenske analize meseca septembra 2019 .....	37
Preglednica 8: Statistična porazdelitev podatkov.....	37
Preglednica 9: Korelacijska matrika povezanosti fizikalno-kemijskih parametrov ne glede na obdobje in lokacijo meritev.....	38
Preglednica 10: Korelacijska matrika povezanosti fizikalno-kemijskih parametrov na izviri Ponikvice.....	41
Preglednica 11: Korelacijska matrika povezanosti fizikalno-kemijskih parametrov pred požiralnikom v Lokah.....	42
Preglednica 12: Korelacijska matrika povezanosti fizikalno-kemijskih parametrov v Jami Pekel.....	43
Preglednica 13: Prikaz vseh statističnih povezav med spremenljivkami .....	45
Preglednica 14: Skupni prikaz rezultatov .....	56



## KAZALO GRAFOV

Graf 1: Skupna količina padavin 14 dni pred terenskimi analizami.....	30
Graf 2: Prikaz temperature zraka v času terenskih meritev .....	46
Graf 3: Prikaz temperature vode v času terenskih meritev .....	47
Graf 4: Prikaz pH-vrednosti vode v času terenskih meritev .....	48
Graf 5: Prikaz koncentracije nitratnih ionov v času terenskih meritev.....	50
Graf 6: Prikaz koncentracije nitritnih ionov v času terenskih meritev .....	51
Graf 7: Prikaz koncentracije amonijevih ionov v času terenskih meritev .....	52
Graf 8: Prikaz koncentracije fosfatnih ionov v času terenskih meritev .....	53
Graf 9: Prikaz koncentracije sulfatnih ionov v času terenskih meritev .....	54



## **OKRAJŠAVE IN SIMBOLI**

ARSO – Agencija Republike Slovenije za okolje

MKČN – male komunalne čistilne naprave

$\text{NO}_3^-$  – nitratni ioni

$\text{NO}_2^-$  – nitritni ioni

$\text{NH}_4^+$  – amonijevi ioni

$\text{PO}_4^{3-}$  – fosfatni ioni

$\text{SO}_4^{2-}$  – sulfatni ioni



# 1 UVOD

## 1.1 Opis področja in opredelitev problema

Kras je za ljudi pomemben z vidika oskrbe s pitno vodo, biotske raznolikosti in turizma. V svetu kraška območja predstavljajo približno 7–12 % površja, kraški vodonosniki pa so vir pitne vode za četrtno svetovnega prebivalstva (Ford in Williams 2007 v Petrič in sod. 2011, str. 8). V Sloveniji kraška območja prekrivajo 43 % ozemlja, z vodo iz kraških vodonosnikov pa se oskrbuje več kot 50 % prebivalcev Slovenije. Zavedati se moramo, da je kras zelo ranljivo okolje in da negativni antropogeni vplivi hitro porušijo naravno ravnovesje v njem. Še posebej je občutljiv kraški svet z vidika voda, ker je njegovo površje izredno prepustno, saj njegovo notranjost sestavljajo številni rovi, jame in drugi podzemni prehodi (Petrič in sod. 2011, str. 8).

Kras in kraške vode najpogosteje onesnažujejo naselja z neurejeno kanalizacijo in divjimi odlagališči, kmetijstvo z gnojenjem in uporabo fitofarmaceutskih sredstev, industrija z industrijskimi odpadnimi vodami ter promet z razlitji nevarnih snovi. V odpadnih vodah pogosto najdemo veliko koncentracijo škodljivih snovi npr. organske snovi, dušikove spojine, fosfate, kovine, bakterije in viruse. Te snovi za kraške vode pomenijo resno grožnjo, saj je na krasu zmanjšana sposobnost samoočiščenja (Petrič in sod. 2011, str. 14). Voda se hitro infiltrira v podzemlje skozi skromen varovalni pokrov in se z velikimi hitrostmi pretaka po kraških kanalih ter razpokah, s tem pa prenaša tudi onesnažila (Petrič in sod. 2011, str. 8).

V diplomski nalogi bom podrobneje preučila območje Ponikovskega krasa, na katerem leži Jama Pekel skupaj s svojim hidrogeološkim zaledjem. Ponikovski kras je bil leta 1998 v Odloku o razglasitvi naravnih znamenitosti v Občini Žalec (Uradni list RS, št. 77/98) razglašen za krajinski park, znotraj katerega so tudi naravni spomeniki: izvir Ponikvice (do požiralnikov), požiralniki v Lokah, Jama Pekel z dolino Peklenščice in Kamnita hiša oz. Bezgečeva jama.

Raziskala bom, kakšna je kakovost podzemne vode v potoku Ponikvica na območju Ponikovskega krasa. To želim ugotoviti s terenskim delom na treh vzorčnih mestih: na izviru Ponikvice, pred požiralnikom v Lokah in v pritočnem delu Jame Pekel. Z vzorčenjem vode na terenu bomo pridobili vzorce, ki bodo nakazali na kakovost vode v potoku Ponikvica. Na osnovi rezultatov terenskih analiz standardnih kemijskih lastnosti vode bom ocenila, ali so presežene mejne vrednosti parametrov, ki kažejo na onesnaženje kraške vode. Na podlagi tega bom ocenila morebitne antropogene vplive na vodotok Peklenščica v Jami Pekel. Predvidevam, da so viri tega onesnaženja lahko kmetijska dejavnost na območju, komunalne odplake, industrija, divja odlagališča, promet in druge človekove dejavnosti.

## 1.2 Namen in cilji diplomske naloge

Namen diplomske naloge je s terenskimi analizami vode oceniti vpliv različnih virov onesnaženja na vode v porečju potoka Peklenščica.

Cilj diplomske naloge je identificirati potencialne onesnaževalce potoka Ponikvica, ki bi vplivali na fizikalno-kemijske parametre (kmetijstvo, promet, industrija, divja odlagališča, neurejena kanalizacija). Cilj naloge je terensko vzorčenje skozi celo leto na treh vzorčnih mestih in določanje naslednjih fizikalno-kemijskih parametrov v potoku: temperatura vode, pH-vrednost, vsebnost nitratov, nitritov, amonija, fosfatov in sulfatov.

### **1.3 Hipoteze**

**Hipoteza 1:** Na ponornem območju potoka Ponikvica bodo spomladi višje vrednosti kemijskih lastnosti, ki so posledica kmetijske dejavnosti.

**Hipoteza 2:** Podzemna voda v Jamo Pekel s seboj v podzemni svet prinaša onesnažila, ki izvirajo iz zaledja Ponikvice.



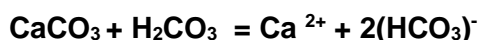
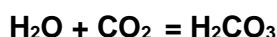
## 2 TEORETIČNA IZHODIŠČA

### 2.1 Voda na krasu

Kras je del zemeljske skorje (površje in podzemlje), ki se razvije zaradi kemičnega delovanja vode na razmeroma dobro topnih karbonatnih kamninah (predvsem na apnencu in dolomitu). Zanj so značilne posebne površinske in podzemeljske kraške oblike npr. kraški izviri, kraška polja, ponori, vrtače, uvale, kraške jame in brezna. Za kras je značilno nekontrolirano ponikanje površinskih voda in intenzivno podzemno pretakanje vode. Površinski tokovi vode so redki in v stiku s prepustnimi karbonatnimi kamninami običajno hitro poniknejo v podzemlje (Zupan Hajna in Otoničar 2008, str. 12).

Osnovni proces na krasu je korozija. Gre za izjedanje oz. raztapljanje kamnin kot posledica kemičnega preperevanja (Gregorač 1995, str. 151). Ko karbonatne kamnine preidejo iz svojega naravnega okolja v drugo okolje, ki je povečini podvrženo vplivu padavinske vode, se začne proces zakrasevanja. Voda se v ozračju in v tleh obogati z ogljikovim dioksidom in tvori šibko ogljikovo kislino. Voda, ki vsebuje šibko ogljikovo kislino, pronica v tla skozi odprtine, razpoke in prelome karbonatnih kamnin ter jih pri tem raztaplja. Pri tem nastajajo kalcijevi in hidrogenkarbonatni ioni (Zupan Hajna in Otoničar 2008, str. 12). Ko voda s kalcijevimi in hidrogenkarbonatnimi ioni vstopi v jamski prostor, se raztopina zaradi spremembe v parcialnem tlaku CO<sub>2</sub> prezrača in kot posledica se iz vode izloča kalcijev karbonat (Zupan Hajna 2017, str. 8).

#### **Kemijska reakcija procesa zakrasevanja:**



Geografska širina, relief, temperatura zraka, količina padavin, vsebnost ogljikovega dioksida v vodi, pokritost območja s prstjo in lastnosti karbonatnih kamnin pomembno vplivajo na intenzivnost raztapljanja karbonatnega površja. Večjo intenzivnost raztapljanja na določenem območju omogočajo: večja količina padavin, višje temperature zraka, višje koncentracije CO<sub>2</sub> v vodi, skromnejša pokritost s prstjo in velika razpokanost karbonatnih kamnin (Zupan Hajna 2006, str. 192–193).

#### **2.1.1 Kraški vodonosniki**

Kraški vodonosnik je območje karbonatnih kamnin, ki je bilo izpostavljeno procesu zakrasevanja. Sestavljen je iz številnih kraških razpok in kanalov različnih velikosti, znotraj katerih je shranjena podzemna voda (Ford in Williams 2007 v Kogovšek in sod. 2008, str. 59). Kraški vodonosniki obsegajo območja od več 10 do več 100 km<sup>2</sup>. Zaradi razpoklinskih in ponikalnih značilnosti površja so ti vodonosniki izredno ranljivi za onesnaženje (Kogovšek in sod. 2008, str. 59).

Ranljivost kraških vodonosnikov je velika možnost za njihovo hitro onesnaženje. Povezana je z naravno značilnostjo mrežne povezave sistemov podzemne vode na krasu, ki je odvisna od naravnih geoloških, hidroloških, hidrogeoloških, podnebnih in vegetacijskih značilnosti območja. Ranljivost kraških vodonosnikov ni odvisna od lastnosti onesnaževal (Vrba in Zaporozec 1994 v Petrič in sod. 2011, str. 11–12). Napajanje kraških vodonosnikov z infiltracijo padavin in površinskih tokov skozi nezasičeno cono ter tok in prenos snovi v zasičeni coni sta osnovna procesa, ki vplivata na njihovo ranljivost (Petrič in sod. 2011, str. 11–12).

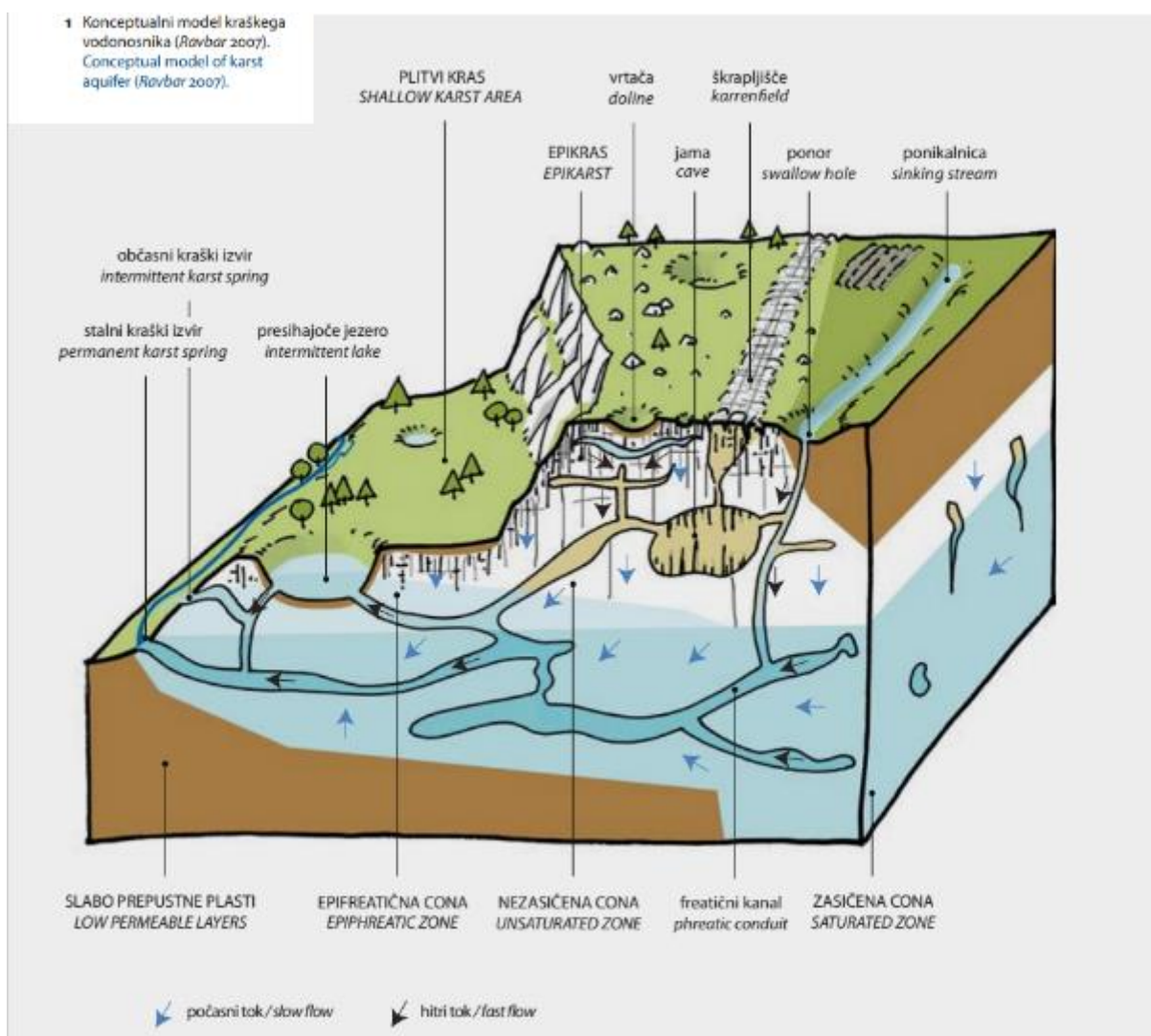
Razpokanost karbonatnih kamnin omogoča padavinski vodi hitro infiltracijo v podzemlje skozi bolj ali manj golo površje tal. Podzemno vodo napajajo tudi ponikalnice iz površja. Voda se skozi podzemlje hitro pretaka po kraških kanalih v različne smeri, lahko pa se tudi dalj časa zadrži v slabše prepustnih delih vodonosnika. Z vodo se v podzemlje širi tudi morebitno onesnaževanje, ki je nevidno našim očem in lahko resno ogrozi kakovost kraških vodnih virov. Na krasu procesi samoočiščevanja vode niso dovolj učinkoviti ravno zaradi hitre infiltracije vode v podzemlje, zaradi zmanjšane filtracije ter velikih hitrosti, s katerimi se voda pretaka v podzemlju. Na smer vode ter na prenos onesnažil pomembno vplivajo tudi hidrološke razmere. Od hidroloških razmer je odvisno, če bo voda z onesnažili v kraškem podzemlju tekla hitro po dobro prepustnih drenažnih poteh ali pa se bo uskladiščila v slabše prepustnih delih nezasičene cone (Kogovšek in sod. 2008, str. 59–60).

### 2.1.2 Zgradba kraških vodonosnikov

Kraški vodonosniki so sestavljeni iz nenasičene (vadozne) cone, epikraške cone, poplavne (epifreatične) cone ter zasičene (freatične) cone. Zgornji del kraškega vodonosnika se imenuje **nezasičena ali vadozna cona**. Gre za suh del vodonosnika, ki je lahko debel tudi do več 100 metrov. Zanj je značilno, da pore niso zapolnjene z vodo ali pa so z njo zapolnjene le občasno. Tu se voda hitro pretaka skozi glavne drenažne poti, skozi slabše prepustno osnovo pa se le počasi preceja. Zgornji del nezasičene cone predstavlja prst, pod njo pa leži **epikraška cona**. Za epikraško cono je značilno, da je zaradi večje agresivnosti vode, tektonskih procesov, temperaturnih razlik in drugih dejavnikov močnejše razpokana (Kogovšek in sod. 2008, str. 59).

Epikraška cona je lahko različnih debelin in je tudi različno zakrasela. Njena razpokanost in zakraselost se zmanjšuje z globino. Od teh lastnosti je odvisna tudi hitrost, s katero voda vertikalno pronica skozi vodonosnik. Po glavnih drenažnih poteh se bo voda pretakala zelo hitro, medtem ko bo v slabše prepustnih delih njeno pronicanje ovirano (Petrič in sod. 2011, str. 10). Od povezanosti in velikosti por, razpok in kanalov v epikraški coni je odvisno, kakšno bo skladiščenje in koncentracija toka. Pomembna je tudi stopnja zapoljenosti kraškega sistema z vodo pred padavinami (Klimchouk 2000 v Petrič in sod. 2011, str. 11).

Območje med nezasičeno in zasičeno cono se imenuje **poplavna cona ali epifreatična cona**. Poplavno cono določa gladina podzemne vode, pod katero so z vodo zasičene pore. Spodnji, vodni del vodonosnika se imenuje **zasičena ali freatična cona**. V tem delu vodonosnika so vse pore stalno zapolnjene z vodo. Voda se pretaka po razpokah, kanalih in porozni osnovi proti kraškim izvirov (Kogovšek in sod. 2008, str. 59).



Slika 1: Zgradba kraškega vodonosnika (Vir: Ravbar 2007 v Petrič in sod. 2011, str. 10)

### 2.1.3 Onesnaževanje kraških voda

Ljudje s svojimi posegi v okolje negativno vplivajo na kras in s tem na kraške vode, ki so za onesnaževanje še posebej občutljive. Dobra prepustnost kraških kamnin in njihova pretrtost omogoči padavinam in drugim škodljivim tekočinam, da neposredno s površja odtečejo globlje v kras (Kogovšek 1996, str. 172). Najpogostejši onesnaževalci kraških voda so naselja, kmetijstvo, industrija in promet. Onesnaževanje krasa je lahko točkovno, linijsko (prometnice) ali razpršeno (De Ketelaere in sod. 2004 v Petrič in sod. 2011, str. 14). Točkovne vire onesnaženja lažje nadzorujemo, saj onesnažila v vodo vstopajo iz določene točke npr. iz iztoka vode iz kanalizacije. Pri razpršenih virih onesnaženja je to bolj problematično, saj so onesnažila razpršena na večjih površinah in v vodo vstopajo na več točkah hkrati npr. spiranje gnojil iz kmetijskih površin (Roš in Panjan 2012, str. 33).

V naseljih je pogosto problem neurejena kanalizacija in s tem neočiščene komunalne odpadne vode. Odpadne vode, ki pritekajo v kras s površja, so običajno obremenjene z organskimi snovmi, nitrati, nitriti, amonijem, fosfati, kovinami, virusi in bakterijami ter detergenti (Kogovšek in sod. 2008 v Petrič in sod. 2011, str. 14). Komunalne odpadne vode nastajajo v gospodinjstvih pri kuhanju, pranju, umivanju in drugih gospodinjstvenih opravilih. Sem prištevamo tudi odpadne vode iz objektov v javni rabi, odpadno vodo iz proizvodnih in storitvenih dejavnosti (po nastanku in sestavi podobna vodi iz gospodinjstev) ter sanitarne vode iz

tehnoloških obratov. V takšnih vodah so med drugim prisotne maščobe, olja, škrob, fekalije, mila, detergenti, ostanki čistil (Roš in Panjan 2012, str. 31).

Poleg neočiščenih komunalnih voda predstavljajo za kraške vode problem tudi neurejena odlagališča odpadkov, ki jih najdemo v gozdovih, kraških jamah in brezni v bližini naselij. Med odpadki najpogosteje najdemo gospodinjske odpadke, gradbeni material pa tudi nevarne odpadke. Iz njih padavine spirajo škodljive snovi, ki na krasu hitro poniknejo v kraško podzemlje (Kogovšek in sod. 2008 v Petrič in sod. 2011, str. 14–15). Zlasti problematično je odlaganje odpadkov v brezna, saj se snovi konzervirajo in sproti dolgotrajno spirajo v kras. Takšne točke onesnaženja tudi težko odkrijemo, a jih lahko nadzorujemo ter jih ustrezno saniramo (Knez in sod. 2008, str. 40).

Kmetijstvo je razpršeno onesnaženje in je problematično z vidika nepravilne uporabe naravnih in umetnih gnojil (čezmerno gnojenje in neustrezen čas gnojenja) ter zaradi nepravilne uporabe fitofarmaceutskih sredstev. Ob padavinah se iz kmetijskih zemljišč gnojila in fitofarmaceutska sredstva spirajo skozi tla v podzemlje ali v bližnje vodotoke. To ima za posledico zvišanje koncentracije nitratov, fosfatov in drugih kemičnih snovi v vodah. Problem za kras predstavljajo tudi kmetije, ki nimajo urejenih gnojilšč in gnojnih jam, kamor bi se izcedne vode in gnojnica zbirale, pač pa se v primeru padavin iztekajo kar neposredno v tla (Petrič in sod. 2011, str. 16).

Industrija ogroža kraške vode predvsem z neočiščenimi industrijskimi vodami, ki nastanejo v industrijskih in obrtnih dejavnostih pri hlajenju tehnoloških procesov, raztapljanju produktov, proizvodnji novih izdelkov. V takšnih vodah so med drugim prisotna naslednja onesnažila: odpadna toplota, razne kemikalije, sledovi produktov in čistilnih sredstev (Roš in Panjan 2012, str. 32). Problematično je tudi neprimerno skladiščenje nevarnih snovi in odlaganje trdnih odpadkov. Industrijski obrati pa posredno onesnažujejo kraške vode tudi z onesnaževanjem zraka (Petrič in sod. 2011, str. 16).

Kakovost kraških vodnih virov ogroža tudi padavinska onesnažena voda, ki se steka iz cestišč in drugih utrjenih površin, posredno (preko kanalizacije) ali pa neposredno v vode in tla. Pogosto so v padavinski odpadni vodi prisotne suspendirane snovi, mineralne snovi, težke kovine, olja in maščobe ter soli (Roš in Panjan 2012, str. 33). Promet predstavlja nevarnost za kraške vode tudi v primeru razlitij nevarnih snovi (Petrič in sod. 2011, str. 16). Določen delež k onesnaževanju prispevajo tudi gradnje (npr. izkopi, naftovod), turizem (odpadki, turistična infrastruktura, lomljenje jamskega inventarja, jamarstvo) ter vojaška dejavnost (npr. vojaški poligoni in rezervoarji) (Knez in sod. 2008, str. 40).

## **2.2 Načini ugotavljanja onesnaženosti voda**

Kakovost voda se določa na podlagi fizikalno-kemijskih, bioloških in bakterioloških analiz. S kemijskimi analizami pridobimo informacijo o trenutnem stanju vode v času zajetega vzorca. Kemijske analize se dopolnjujejo z biološkimi analizami, le-te pa nam pokažejo, kakšno je posledično stanje biološke slike vode. Za učinkovit monitoring voda je potrebno natančno vzorčenje izbranih parametrov z ustreznimi fizikalno-kemijskimi analizami, saj le tako pridobimo vpogled v celotno sliko dogajanja. Še posebej moramo biti pozorni na nihanja parametrov skozi čas, saj bi njihovo občasno povečanje lahko nakazovalo na onesnaževanje vodnih virov v njihovem zaledju. Ob zajetju vzorca vode za analize moramo upoštevati tudi trenutne hidrološke razmere. V obdobju intenzivnejših padavin se namreč lahko kakovost vodnih virov zelo hitro spreminja, zlasti pri kraških izvirih (Kogovšek in Pipan 2008, str. 69).

Monitoring stanja voda v Sloveniji urejata Pravilnik o monitoringu stanja površinskih voda (Uradni list RS, št. 10/09, 81/11 in 73/16) in Pravilnik o monitoringu podzemnih voda (Uradni list RS, št. 31/09). V Uredbi o stanju površinskih voda (Uradni list RS, št. 14/09, 98/10, 96/13

in 24/16) in v Uredbi o stanju podzemnih voda (Uradni list RS, št. 25/09, 68/12 in 66/16) so določena merila ter način ocenjevanja stanja voda.

Monitoring stanja površinskih voda je namenjen ocenjevanju kemijskega in ekološkega stanja voda. Glede na namen pa se deli na nadzorni, operativni in preiskovalni. V nadzorni monitoring so vključeni splošni fizikalno-kemijski parametri; parametri kemijskega stanja, ki se odvajajo v vode na povodju ali porečju, biološki in hidromorfološki elementi kakovosti ekološkega stanja ter posebna onesnaževala, ki se v pomembnih količinah odvajajo v vode na povodju ali porečju. Pri operativnem monitoringu se pri odvajanju v vodno telo spremljajo kemijski parametri, splošni fizikalno-kemijski parametri, posebna onesnaževala in druge snovi v pomembnih količinah; metrike za vrednotenje najbolj občutljivega biološkega elementa oz. elementov kakovosti in parametri za vrednotenje najbolj občutljivega hidromorfološkega elementa kakovosti. V preiskovalni monitoring so vključeni tisti parametri in metrike, na podlagi katerih se ugotavljajo razlogi za nedoseganje dobrega ekološkega stanja, vzroki za nedoseganje ciljev in velikost ter vplivi naključnega onesnaževanja (Uradni list RS, št. 10/09, 81/11 in 73/16).

V monitoring stanja podzemnih voda je vključen monitoring kemijskega stanja in monitoring količinskega stanja. Monitoring kemijskega stanja se deli na nadzorni in operativni. Izvaja se za fizikalno-kemijske parametre (pH-vrednost, raztopljen kisik, električna prevodnost, amonij), parametre kemijskega stanja (določene s predpisom) in druge parametre, ki lahko vplivajo na spremembe kakovosti podzemne vode. Pri monitoringu količinskega stanja se ugotavlja režim gladine podzemne vode na podlagi pretokov izvirov in rek, sprememb smeri in hitrosti toka podzemne vode, temperature vode, gladine površinske vode; količine padavin, infiltracije in izhlapevanja, količine odvzete vode in količine odvzete vode za umetno napajanje in dreniranje vodonosnikov, specifične električne prevodnosti in drugih parametrov za ugotavljanje vdorov v podzemno vodo (Uradni list RS, št. 31/09).

## **2.3 Osnovne fizikalno-kemijske lastnosti vode**

### **2.3.1 Temperatura vode**

Temperatura vode ima neposreden vpliv na fizikalne, kemijske in biotske procese, ki potekajo v vodnih telesih (Urbančič in Toman 2003, str. 23). Od temperature vode je odvisen potek in hitrost kemijskih reakcij v vodi, življenje v vodi, raztopljenost plinov, biološki procesi ter primernost vode za uporabo (Roš in Panjan 2012, str. 42). Na spremembe temperature v vodnih telesih vplivajo podnebne spremembe, odtoki in dotoki vode s površja ter mešanje s talno vodo. Najpomembneje na spremembo temperature vode vpliva neposredna absorpcija sončevega sevanja, omeniti pa velja tudi oddajanje toplote iz usedlin ter zraka. Pri višjih temperaturah vode je hitrejši potek kemijskih reakcij, izhlapevanje in razkroj organskih snovi v vodi. Z višjo temperaturo vode se zmanjša topnost določenih plinov npr. kisika, ogljikovega dioksida v vodi. Ob izvirih na površju je temperatura talne vode stalna in približno enaka povprečni letni zračni temperaturi kraja. V površinskih netermalnih vodah Slovenije se temperatura giblje med 0 °C in 30 °C, odvisna pa je od sezonskih nihanj. Na temperaturo vode lahko vplivajo tudi izpusti industrijskih odpadnih voda. Takrat govorimo o toplotnem onesnaževanju vode (Urbančič in Toman 2003, str. 23–24). V prilogi 2 Uredbe o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo (Uradni list RS, št. 64/12, 64/14 in 98/15) je določena mejna vrednost za temperaturo odpadne vode 30 °C pri odvajanju neposredno ali posredno v vode.

### 2.3.2 pH-vrednost vode

Kislost vode oziroma pH-vrednost vode je definirana kot negativni desetiški logaritem ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) ionov. Izrazimo jo s  $\text{pH} = -\log_{10} (\text{H}_3\text{O}^+)$ . Uporablja se za določevanje kislosti in bazičnosti raztopin. Voda s pH-vrednostjo 7 je nevtralna, pod to mejo je kislina in nad to mejo bazična (Roš in Panjan 2012, str. 42). S pH-vrednostjo vode so povezani številni kemijski in biotski procesi v vodi. pH-vrednost vode je odvisna pretežno od ravnotežja med ogljikovim dioksidom ( $\text{CO}_2$ ), hidrogenkarbonati ( $\text{HCO}_3^-$ ) in karbonatnimi ioni ( $\text{CO}_3^{2-}$ ). Industrijske odpadne vode in onesnaževanje zraka s kislimi snovmi (npr. z emisijami  $\text{SO}_2$ ) lahko vplivajo na naravno karbonatno ravnotežje (Urbančič in Toman 2003, str. 32). Na pH-vrednost vode prav tako vplivajo geologija tal, tip kamnin in prsti. Naravno bazične so tiste vode, ki tečejo po apnenčastih in dolomitnih tleh. Naravno kisle so tiste vode, ki tečejo po magmatskih kamninah in preko nekaterih sedimentnih kamnin (glinenca, peščenjaka in skrilavca) (Vovk Korže in Bricelj 2004, str. 47). Pri večini naravnih voda se pH-vrednost giblje med 6-8,5 (Urbančič in Toman 2003, str. 33). V prilogi 1 Pravilnika o pitni vodi (Uradni list RS, št. 19/04, 35/04, 26/06, 92/06, 25/09, 74/15 in 51/17) je določena pH-vrednost za pitno vodo  $\geq 6,5$  in  $\leq 9,5$  z opombama 3 in 5, da pitna voda ne sme biti agresivna in da je pri vodi za pakiranje najnižja dovoljena vrednost 4,5. Pri naravno bogati ali umetno obogateni vodi s  $\text{CO}_2$ , ki je namenjena pakiranju, je spodnja vrednost lahko tudi nižja. V prilogi 2 Uredbe o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo (Uradni list RS, št. 64/12, 64/14 in 98/15) je določena mejna pH-vrednost 6,5–9 pri odvajanju neposredno ali posredno v vode.

### 2.3.3 Dušikove spojine

Atmosferski dušik, natrijev nitrat in dušikove spojine v rastlinah ter živalih predstavljajo snovni vir dušika. Dušik je v okolju v različnih oksidacijskih stanjih, v odpadnih vodah najpogosteje v obliki amonijaka ( $\text{NH}_3$ ), amonija ( $\text{NH}_4^+$ ), nitritov ( $\text{NO}_2^-$ ), nitratov ( $\text{NO}_3^-$ ) in dušikovega plina ( $\text{N}_2$ ) (Roš in Panjan 2012, str. 43).

Amonijak ( $\text{NH}_3$ ) je zelo dobro topen v vodi in skupaj z vodo tvori amonijev ion ( $\text{NH}_4^+$ ). Amonij v vodi je lahko posledica onesnaževanja iz kmetijske dejavnosti, industrije in gospodinjstev (odpadne komunalne vode). V podzemni in površinski vodi so njegove koncentracije navadno pod 0,20 mg/l. V podzemni vodi pa lahko koncentracije pri anaerobnih pogojih dosežejo več kot 3,0 mg/l. Visoke koncentracije v pitni vodi, ki nimajo geogenega porekla, lahko nakazujejo na sveže fekalno onesnaženje (NIJZ<sub>1</sub> 2014). V prilogi 1 Pravilnika o pitni vodi (Uradni list RS, št. 19/04, 35/04, 26/06, 92/06, 25/09, 74/15 in 51/17) je določena mejna vrednost za amonij 0, 50 mg/l. V prilogi 2 Uredbe o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo (Uradni list RS, št. 64/12, 64/14 in 98/15) je določena mejna vrednost za odvajanje amonijevega dušika neposredno ali posredno v vode 10 mg/l z opombo (t) – opomba se nanaša na izračun mejne vrednosti parametra onesnaženosti.

Nitrati ( $\text{NO}_3^-$ ) in nitriti ( $\text{NO}_2^-$ ) nastajajo naravno in so del dušikovega kroga, v vodi so dobro topni. Ioni  $\text{NO}_2^-$  so vmesni člen pri razgradnji organskih dušikovih spojin pod aerobnimi pogoji, ioni  $\text{NO}_3^-$  pa so končni produkt razgradnje organskih dušikovih spojin (NIJZ<sub>2</sub> 2014). Ioni  $\text{NO}_3^-$  naravno vstopijo v površinske vode s spiranjem površin, z razkrojem organskih snovi ter z raztapljanjem vulkanskih kamnin. Običajno vrednosti  $\text{NO}_3^-$  v neobremenjenih vodah ne presežejo 1,0 mg/l. Antropogeni viri  $\text{NO}_3^-$  izhajajo zaradi spiranja gnojnih kmetijskih površin, komunalnih in iz industrijskih odpadnih voda. Pri spiranju gnojil iz kmetijskih površin koncentracije tega iona navadno ne presežejo 10 mg/l, skupaj z odpadnimi vodami pa se vrednosti  $\text{NO}_3^-$  lahko zvišajo na 25 mg/l (Urbančič in Toman 2003, str. 37). V podzemnih vodah so lahko koncentracije nitratov naravnega izvora in so odvisne od geološke sestave vodonosnikov. Naravno ozadje nitratov znaša v Sloveniji manj kot 10 mg/l  $\text{NO}_3^-$ . Na vsebnost nitratov v podzemnih vodah pa vpliva tudi kmetijstvo (neustrezno skladiščenje živinskih gnojil in prekomerno gnojenje) ter neurejeno odvajanje komunalnih odpadnih voda (ARSO 2020).

V sveže onesnaženih vodah sta prisotna predvsem organski dušik in amonij, medtem ko višja vsebnost nitratov nakazuje na starejše onesnaženje (Vovk Korže in Bricelj 2004, str. 43). V prilogi 1 Pravilnika o pitni vodi (Uradni list RS, št. 19/04, 35/04, 26/06, 92/06, 25/09, 74/15 in 51/17) je določena mejna vrednost za nitrite v pitni vodi 0, 50 mg/l, za nitrate pa 50 mg/l z opombo 4, da je pogoj za mejno vrednost  $[\text{nitrat}]/50 + [\text{nitrit}]/3 \leq 1$ , pri čemer je vrednost za nitrat in nitrit, v oglatih oklepajih, izražena v mg/l. Pri izstopu iz naprave za pripravo vode, mora biti v vodi dosežena vrednost 0,10 mg/l za nitrite. V prilogi 2 Uredbe o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo (Uradni list RS, št. 64/12, 64/14 in 98/15) je določena mejna vrednost za odvajanje nitritnega dušika neposredno ali posredno v vode 1,0 mg/l z opombo (t). Za nitrate je v Prilogi 2 Uredbe o stanju podzemnih voda (Uradni list RS, št. 25/09, 68/12 in 66/16) določen standard kakovosti 50 mg/l.

### 2.3.4 Fosforjeve spojine

Fosfor (P) je poleg dušika osnovni element, ki omogoča rast rastlinam, živalim in mikroorganizmom. V naravi je lahko v obliki organsko vezanega fosforja, polifosfatov in ortofosfatov. Fosfor samo v obliki ortofosfatov ( $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  in  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) omogoča biološko rast (Roš in Panjan 2012, str. 44). Z razgradnjo organskih snovi in preperevanjem kamnin fosfor naravno vstopi v okolje. Običajno v vodi ni prisoten v višjih koncentracijah, saj ga iz nje privzemajo primarni proizvajalci, višje vrednosti pa bi lahko kazale na prisotnost onesnažil. Koncentracije  $\text{PO}_4^{3-}$  v neobremenjenih vodah niso višje od 0,1 mg/l; višje koncentracije (0,25 mg/l) pa so posledica spiranja umetnih in naravnih gnojil iz kmetijskih površin, komunalnih odpadnih voda (pralni praški, detergenti, čistila) in industrijskih odpadnih voda (Urbančič in Toman 2003, str. 39–40). V komunalnih odpadnih vodah se koncentracije fosforja gibljejo med 4-16 mg/l (Roš in Panjan 2012, str. 44). Visoke koncentracije  $\text{PO}_4^{3-}$  v vodi zaradi človekovih dejavnosti pospešijo produktivnost alg in s tem vodijo do eutrofikacije površinskih voda (Urbančič in Toman 2003, str. 39–40). Mejne vrednosti za fosfate v prilogi 1 Pravilnika o pitni vodi (Uradni list RS, št. 19/04, 35/04, 26/06, 92/06, 25/09, 74/15, 51/17) niso opredeljene, prav tako tudi ne v prilogi 2 Uredbe o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo (Uradni list RS 64/12, 64/14, 98/15). V tej uredbi pa je navedena mejna vrednost za celotni fosfor pri odvajanju neposredno ali posredno v vode, ki znaša 2 mg/l oz. 1 mg/l z opombo (j) – nanaša se na uporabo te mejne vrednosti pri odvajanju odpadne vode v vode na prispevnih območjih občutljivih območij.

### 2.3.5 Sulfati

Žveplo (S) se sprošča pri razgradnji proteinov (Roš in Panjan 2012, str. 44). Naravni vir sulfatov ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) v okolju so številni minerali, vključno z baritom, epsomitom in sadro (Greenwood in Earnshaw 1984 v World Health Organization 2004). Antropogeni viri izhajajo iz industrijske dejavnosti npr. pri izgorevanju fosilnih goriv, proizvodnji kemikalij, barvil, stekla, tekstila. Sulfati se uporabljajo tudi pri pripravi pitne vode (aluminijev ali železov sulfat) ter v kmetijstvu (bakrov sulfat). Posledično pridejo v okolje z odpadnimi vodami, odpadki ter onesnaževanjem zraka kot kisli dež (NIJZ<sub>1</sub> 2014). Ion  $\text{SO}_2$  se v ozračju namreč poveže z vodo, ki skupaj z njim tvori žveplovo VI kislino ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Kisel dež lahko vpliva na vsebnost sulfatov v površinskih vodah (Delisle in Schmidt 1997 v World Health Organization 2004). V okolju so sulfati zelo stabilni, njihova topnost v vodi je odvisna od spremljajočih kationov. Skozi prst se znatno ne absorbirajo in se skozi prenašajo v nespremenjeni obliki (NIJZ<sub>1</sub> 2014). Natrijev, kalijev in magnezijev sulfat je v vodi dobro topen, medtem ko so manj topni kalcijevi, barijevi sulfati ter sulfati težkih kovin (Delisle in Schmidt 1997 v World Health Organization 2004). Ion  $\text{SO}_4^{2-}$  se pri anaerobnih pogojih reducira v sulfid, skupaj z vodikom pa tvorita vodikov sulfid ( $\text{H}_2\text{S}$ ), ki je strupen (Roš in Panjan 2012, str. 44). Mejna vrednost za sulfate v pitni vodi je določena v prilogi 1 Pravilnika o pitni vodi (Uradni list RS, št. 19/04, 35/04, 26/06, 92/06, 25/09, 74/15, 51/17) in znaša 250 mg/l; z opombo 3, da voda ne sme biti agresivna.

## 2.4 Varovanje kraških vodnih virov

Varovanje kraških vodnih virov mora biti osnovano na dobrem poznavanju značilnosti krasa. V okviru tega je npr. treba določiti obseg in način napajanja kraških vodonosnikov, opredeliti značilnosti pretakanja in uskladiščevanja podzemne vode, poznati značilnosti izvirov ali vodnih tokov na površju. Pomembno je, da se izvaja stalno spremljanje kakovosti voda, saj človekove dejavnosti v veliki meri vplivajo na kraške vode. Izraba kraških vodnih virov mora biti razumna in prilagojena potrebam po vodi ter možnostim izrabe kraških vodonosnikov. Pri varovanju vodnih virov so strokovne podlage temelj za določitev načina zaščite vodnih virov in sprejetje ustreznih ukrepov za njihovo varstvo. Zakonodaja mora sprejeti ustrezne pravne okvire za izvajanje zaščite, pri čemer se mora zagotoviti učinkovit nadzor nad predvidenimi ukrepi glede njihovega uresničevanja. Pomembno je tudi ozaveščati prebivalce o pomenu kraških voda in njihovi ranljivosti za onesnaženje (Petrič in sod. 2011, str. 126–127).

Eden izmed načinov za varovanje kraških vodnih virov je tudi izvajanje sledilnih poskusov na krasu. Sledilni poskusi se v kraški hidrologiji uporabljajo z namenom proučevanja značilnosti pretoka vode (hitrosti in smeri pretakanja vode) in prenosa snovi. Z njimi lahko določimo tudi obseg zaledja kraških izvirov in rešujemo specifične probleme npr. iskanje virov onesnaženja. Pred izvedbo sledilnega poskusa je pomembna predhodna raziskava območja, pri kateri moramo upoštevati njegove hidrološke, geološke, hidrogeološke, geomorfološke ter speleološke značilnosti (Kogovšek in Petrič 2008, str. 64).

Sledila delimo na umetna sledila, naravna sledila ter pulze. Med umetna sledila prištevamo bakterije, bakteriofage, barvila, fluorescenčna mikrozrna, radioaktivne snovi, soli, spore in drugo. Ko umetna sledila na določeni točki vnesemo v vodonosne sisteme, moramo nato na različnih točkah spremljati, kje se bodo ponovno pojavila. Med naravna sledila prištevamo ione v raztopini, izotope ter mikroorganizme. Pri njih je treba spremljati, kako se prenašajo snovi, ki se v okolju naravno pojavljajo. Pod pulze prištevamo naravne pulze pretoka, raztopin in sedimenta ter umetno vzbujene pulze. Kažejo se kot značilna sprememba količine in kakovosti voda, pri sledenju se opazuje njeno širjenje skozi sistem (Käss 2004, Ford in Williams 2007 v Kogovšek in Petrič 2008, str. 64). Najpogosteje se sledila injicirajo v vodni tok na površju, ki ponikne v kraško jamo ali pa v razpoke na površju. Nato se izvede vzorčenje vode, njegovo pogostost in trajanje pa moramo prilagajati rezultatom analiz pojavljanja sledil ter razporeditvi in intenzivnosti padavin (Kogovšek in Petrič 2008, str. 64).

## 2.5 Dotična zakonodaja

### 2.5.1 Zakonodaja Evropske unije

Osnovni dokument na področju voda v Evropski skupnosti je Direktiva Evropskega parlamenta in Sveta 2000/60/ES z dne 23. oktobra 2000 o določitvi okvira za ukrepe Skupnosti na področju vodne politike. Njen namen je določitev okvira za varovanje površinskih celinskih voda, somornic, obalnega morja in podzemne vode. S tem okvirom se preprečuje nadaljnje slabšanje stanja vodnih ekosistemov in se spodbuja trajnostna raba vode. Cilj je doseči večje varstvo in izboljšanje vodnega okolja, s katerim se zagotovi zmanjšanje onesnaževanja podzemnih voda in prepreči njihovo nadaljnje onesnaževanje (Uradni list L 327, 22/12/2000 str. 0001–0073).

### 2.5.2 Zakonodaja Republike Slovenije

Zakon o vodah predstavlja temeljno pravno podlago na področju voda. S tem predpisom je urejeno upravljanje z morjem, celinskimi in podzemnimi vodami ter z vodnimi in priobalnimi zemljišči. Upravljanje se navezuje na varstvo in urejanje voda ter odločanje o rabi voda. Cilj upravljanja je zagotoviti dobro stanje voda in z vodami povezanih ekosistemov, zagotoviti varstvo pred škodljivim delovanjem vode, ohraniti in uravnati vodne količine ter spodbujati trajnostno rabo vode. V predpisu je govora tudi o vzpostavitvi vodovarstvenih območij za vodna



telesa, ki se uporabljajo za odvzem ali za javno oskrbo s pitno vodo. Na vodovarstvenih območjih se lahko omejijo oz. prepovedo dejavnosti, s katerimi bi lahko ogrozili stanje vodnega vira. Priloga Zakona o vodah vsebuje seznam voda, ki so uvrščene v 1. red (Uradni list RS, št. 67/02, 2/04 – ZZdl-A, 41/04 – ZVO-1, 57/08, 57/12, 100/13, 40/14, 56/15 in 65/20).

V Uredbi o stanju površinskih voda so določena merila, s katerimi se ugotavlja stanje površinskih voda. Določeni so okoljski standardi kakovosti za ugotavljanje kemijskega in ekološkega stanja površinskih voda, merila za ugotavljanje ekološkega stanja površinskih voda in vrste monitoringa stanja površinskih voda. Okoljski standard kakovosti je definiran kot koncentracija posameznega onesnaževala oz. skupine onesnaževal v vodi, sedimentu ali organizmih, ki ne sme biti presežena zaradi varstva zdravja ljudi in okolja. Kemijsko stanje površinskih voda je lahko dobro ali slabo. Površinske vode se razvrstijo v razrede ekološkega stanja (zelo dobro, dobro, zmerno, slabo in zelo slabo ekološko stanje) ali v razrede ekološkega potenciala (največji, dober, zmeren, slab in zelo slab ekološki potencial). Določene so dodatne zahteve za površinske vode, ki so namenjene odvzemu za oskrbo s pitno vodo ter za površinske vode na posebnih varstvenih območjih. Uredba vsebuje enajst prilog, od katerih je devet prilog, vezanih na ugotavljanje kemijskega in ekološkega stanja površinskih voda, deseta priloga podaja vrednosti naravnih ozadij za kovine in njihove spojine, enajsta priloga pa se navezuje na nadzorni seznam snovi za spremljanje na ravni EU (Uradni list RS, št. 14/09, 98/10, 96/13 in 24/16).

V Uredbi o stanju podzemnih voda je standard kakovosti podzemne vode definiran kot standard kakovosti okolja, izražen kot koncentracija posameznega onesnaževala, skupine onesnaževal v podzemni vodi ali kazalec onesnaženosti v podzemni vodi, ki se zaradi varovanja zdravja ljudi in varstva okolja ne sme preseči. V tem predpisu se ugotavlja stanje podzemnih voda na podlagi rezultatov monitoringa kemijskega in količinskega stanja voda. Določena so merila in način za ugotavljanje kemijskega stanja ter pogoji za dobro kemijsko stanje. Določena so tudi merila in način za ugotavljanje količinskega stanja, parametri količinskega stanja ter pogoji za dobro količinsko stanje. Govora je tudi o čezmerni obremenjenosti podzemnih voda, monitoringu podzemnih voda in vsebini načrta upravljanja voda. Uredba ima pet prilog, v katerih so podrobneje opredeljeni: vrednosti praga, standardi kakovosti in vrednosti praga za določene parametre, ugotavljanje kemijskega stanja podzemne vode, postopek za ugotavljanje pomembnih in stalno naraščajočih trendov onesnaženja ter določanje izhodiščnih točk za njihovo obračanje in vodnobilančni preizkus za ugotavljanje količinskega stanja podzemnih voda (Uradni list RS, št. 25/09, 68/12 in 66/16).

V Uredbi o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo so navedene mejne vrednosti emisij snovi in toplote, ki nastanejo pri odvajanju komunalne, industrijske in padavinske odpadne vode ter njihovih mešanic v vode ter javno kanalizacijo. Določeni so tudi ukrepi za zmanjševanje in preprečevanje emisij snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda. V tem predpisu je govora o pridobitvi okoljevarstvenega dovoljenja ter njegovi vsebini. Omenjen je obratovalni monitoring odpadnih voda (prve in trajne meritve). Nadzor nad izvajanjem tega predpisa izvaja inšpekcija, ki je pristojna za varstvo okolja. Določeni so prekrški, ki se kaznujejo z globami. Uredba ima šest prilog, v katerih so navedeni: seznam onesnaževal, mejne vrednosti parametrov onesnaženosti, mejne vrednosti letnih količin onesnaževal v odpadni vodi, strokovna ocena o skladnosti naprave s predpisi; zahteve za dokumentacijo, ki so priložene vlogi za pridobitev okoljevarstvenega dovoljenja in dejavnosti, pri katerih nastaja biološko razgradljiva industrijska odpadna voda (Uradni list RS, št. 64/12, 64/14 in 98/15).

V Uredbi o varstvu voda pred onesnaževanjem z nitrati iz kmetijskih virov so določene mejne vrednosti vnosa dušika iz kmetijskih virov v tla ali na tla in ukrepi za zmanjševanje ter preprečevanje onesnaževanja voda zaradi nitratov iz kmetijskih virov. V predpisu so navedene časovne prepovedi gnojenja za tekoča organska gnojila (od 15. novembra do 1. marca), za

gnojenje s hlevskim gnojem, kompostom ali digestatom z več kot 20 % suhe snovi (od 1. decembra do 15. februarja) in za gnojenje z mineralnimi gnojili, ki vsebujejo dušik (od 15. oktobra do 1. marca). Nadalje se prepoveduje gnojenje z organskimi in mineralnimi gnojili na območjih s poplavljenimi tlemi, nasičenimi tlemi z vodo, na tleh s snežno odejo in na zamrznjenih tleh. Prepovedano je tudi vnašati gnojila v tla ali na tla na nerodovitnih območjih, vodnih območjih in na kmetijskih zemljiščih, ki so v zaraščanju. Podane so smernice glede skladiščenja živinskih gnojil in urejenosti skladišč, da z njimi preprečimo nenadzorovano iztekanje snovi in s tem ne onesnažujemo tal ter vode. Uredba ima tri priloge, v katerih so navedene mejne vrednosti letnih količin dušika v živinskih gnojilih glede na rejne živali, seznam katastrskih občin s submediteranskim podnebjem in obrazec za oddajo in prejem živinskih gnojil, digestata ali komposta (Uradni list RS, št. 113/09, 5/13, 22/15 in 12/17).

V Pravilniku o kriterijih za določitev vodovarstvenega območja so predpisani načini določitve vodovarstvenih območij. Posebej se omenjajo medzrnski, razpoklinski in kraški vodonosniki. Vodovarstvena območja se lahko delijo na notranja območja (širše, ožje in najožje območje). Velikost notranjih območij se določi na podlagi zadrževalnega časa onesnaževala, razredčenja onesnaževala od mesta vnosa do zajetja ali časa za ukrepanje. Pravilnik omenja posebne značilnosti pretakanja vode v kraških vodonosnikih. Meja vodovarstvenega območja za kraške vodonosnike je na širšem območju enaka zunanji meji napajalnega območja, na ožjem območju je enaka meji zaokroženega zakraselega območja (čas dotoka v zajetje je večji od 12 ur), na najožjem območju pa meji zaokroženega zakraselega območja (čas dotoka je manjši od 12 ur). Na osnovi podatkov o hitrosti in smeri toka podzemne vode, piezometrične gladine podzemne vode, razredčenja dejanskih in morebitnih onesnaževal, velikosti napajalnega območja in njegove zakraselosti ter geološko-kemijskih lastnosti odpadne vode se določajo meje notranjih območij za kraški vodonosnik. Pravilnik vsebuje tri priloge, v katerih so predpisane prepovedi, omejitve in zaščitni ukrepi za posege v okolje; dopustne vrednosti relativne občutljivosti, vsebina strokovne podlage za pripravo akta o zavarovanju in smernice za grafični prikaz vodovarstvenih območij (Uradni list RS, št. 64/04, 5/06, 58/11 in 15/16).

V Pravilniku o monitoringu podzemnih voda je določen način in obseg monitoringa podzemnih voda. Določene so vrste monitoringa podzemnih voda. V sklopu monitoringa kemijskega stanja (nadzorni in operativni) je podrobneje opisana izbira merilnih mest, izvedba in pogostost izvajanja meritev, parametri meritev ter pogoji za izvajalce monitoringa kemijskega stanja. V sklopu monitoringa količinskega stanja je določen način in pogostost izvajanja monitoringa, parametri meritev ter pogoji za izvajalce monitoringa količinskega stanja. Govora je tudi o vsebini programa monitoringa podzemnih voda, o pripravi poročila kemijskega in količinskega stanja podzemnih voda ter o prikazu stanja podzemnih voda (Uradni list RS, št. 31/09).

V Pravilniku o monitoringu stanja površinskih voda je določen način in obseg monitoringa površinskih voda. V predpisu je govora o mreži mest vzorčenja in njeni vzpostavitvi, o vrstah monitoringa površinskih voda in o monitoringu snovi iz nadzornega seznama. Podrobneje je predstavljeno izvajanje monitoringa kemijskega stanja in izvajanje monitoringa ekološkega stanja. Omenjen je tudi monitoring vodnih teles površinskih voda na območjih s posebnimi zahtevami (za oskrbo s pitno vodo in na posebnih vodovarstvenih območjih), program in vsebina monitoringa. Pravilnik vsebuje eno prilogo, ki je vezana na pogostost izvajanja monitoringa (Uradni list RS, št. 10/09, 81/11 in 73/16).

V Pravilniku o pitni vodi so določene zahteve za pitno vodo, ki jih mora izpolnjevati, da se zagotovi varovanje zdravja ljudi pred škodljivimi učinki zaradi njenega onesnaženja. S tem predpisom so določeni pogoji za zdravstveno ustreznost pitne vode. Nadalje je določeno, da mora imeti sistem za oskrbo s pitno vodo upravljavca, ki skrbi za njeno skladnost in zdravstveno ustreznost. Upravljavec mora izvajati notranji nadzor na podlagi HACCP-sistema. Potrebno je spremljanje pitne vode oz. njene skladnosti glede na zahteve tega pravilnika. V predpisu so navedene smernice glede laboratorijskega preskušanja, sledi ugotavljanje vzrokov za neskladnost vode in ustrezni ukrepi za njihovo odpravljanje. Govora je o zagotavljanju kakovosti priprave vode, opreme in materialov ter o obveščanju uporabnikov o rezultatih laboratorijskih preskusov. Pravilnik vsebuje tri priloge, v katerih so predpisane mejne vrednosti parametrov za pitno vodo (mikrobiološki parametri, kemijski parametri in indikatorski parametri), določene smernice za monitoring pitne vode in opredeljene analizne metode za preskušanje pitne vode (Uradni list RS, št. 19/04, 35/04, 26/06, 92/06, 25/09, 74/15 in 51/17).

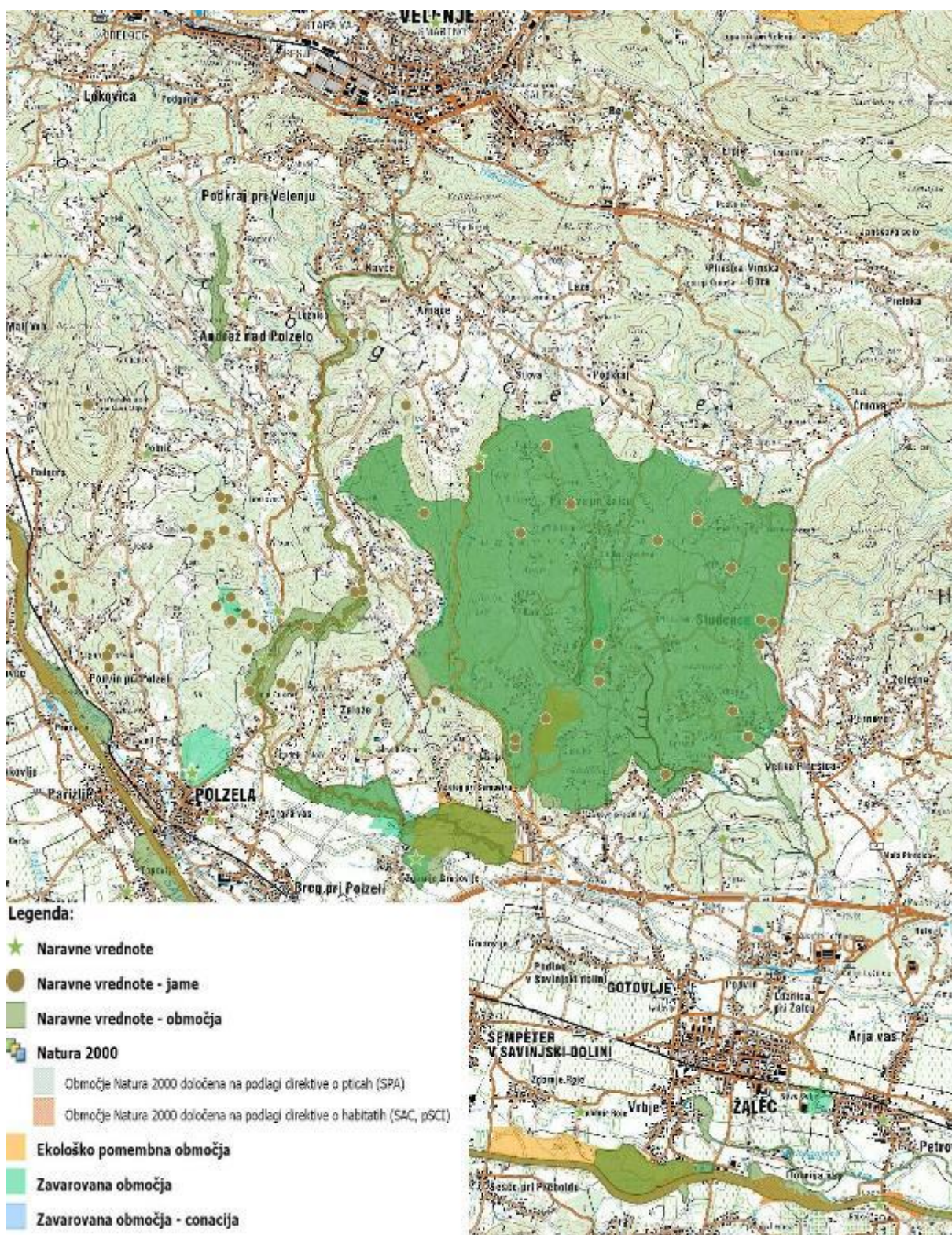
## 3 PONIKOVSKI KRAS

### 3.1 Opis območja

Ponikovska planota je zakraselo območje v osrednjem delu Ložniškega gričevja, med prebojnima dolinama Trnave in Pirešice (Natek 1993 v Pokorn in Uršič 2015, str. 22). Na severu sega planota v Podkrajsko podolje, na jugu pa je omejena z dolinama Globoškega grabna in Vršce. Relief je prepreden s suhimi dolinami z vmesnimi nizkimi zaobljenimi slemeni, pravega planotastega sveta je malo. Na planoti segajo najvišji vrhovi preko 500 m (Natek 1983 v Hribernik in Bračič 2010, str. 39). Območje ima vse značilnosti plitkega krasa, saj je tukaj svet le malo dvignjen nad erozijsko osnovo, ki jo predstavlja reka Savinja (Šerko 1946 v Novak 1977, str. 23). Prav tako gre za osameli kras, ki se nahaja sredi nekraške pokrajine, med rečnim reliefom Savinje ter njenimi pritoki (Fabekovič in sod. 2015, str. 159).

Ponikovski kras je bil leta 1998 razglašen za krajinski park z Odlokom o razglasitvi naravnih znamenitosti v Občini Žalec. Gre za območje s poudarjenim kvalitetnim in dolgotrajnim prepletom človeka z naravo. Zanj je značilna velika ekološka, biotska in krajinska vrednost. Znotraj krajinskega parka Ponikovski kras so bili razglašeni naslednji naravni spomeniki: izvir Ponikvice (do požiralnikov) je bil razglašen za površinski hidrološki naravni spomenik, požiralniki v Lokah za površinski hidrološko-geomorfološki naravni spomenik, Jama Pekel z dolino Peklenščice za podzemeljski geomorfološko-hidrološki naravni spomenik in Kamnita hiša oz. Bezgečeva jama za podzemeljski geomorfološko-hidrološki naravni spomenik (Uradni list RS, št. 77/98).

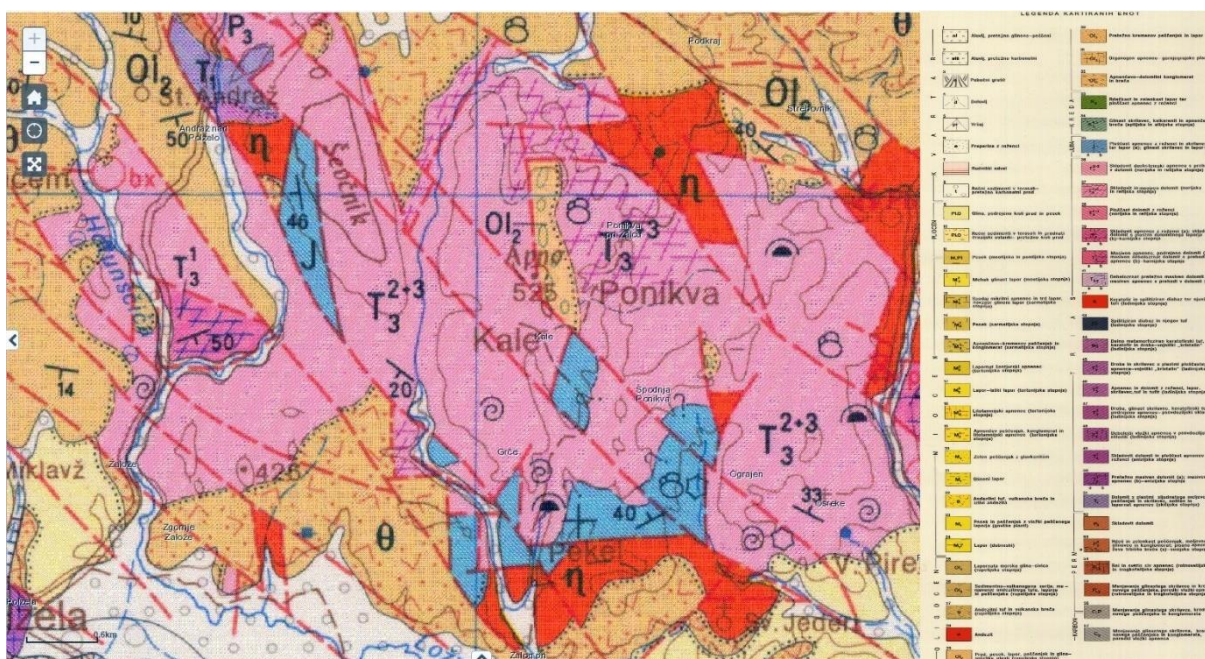
Krajinski park Ponikovski kras obsega Ponikovsko planoto z obrobjem in Sevčnik (Hribernik in Bračič 2010, str. 39). Zavarovano območje obsega okoli 40 km<sup>2</sup> in se nahaja na nadmorski višini med 470 m in 560 m. Na območju so se razvili kraški pojavi, ki so enaki tistim na matičnem Krasu, le da so razviti v manjšem obsegu in manjših dimenzijah (npr. vrtače, kraški izviri, požiralniki, kraške jame in brezna). Za planoto je značilna podzemna drenaža, ki je odvisna od razporeditve prepustnih in neprepustnih kamnin na površju ter v podzemlju. Po tesnih dolinah, s katerimi je razrezana planota, tečejo potoki Ponikvica, Peklenščica, Kalski potok in drugi v smeri sever-jug. Za jame na tem območju je značilno, da so večinoma vodoravne, imajo ozke vodne tesni, večje ali manjše sifone, ozke razpoke, so vodnega nastanka in sestavljene iz več etaž (Tomažič 2005).



Slika 2: Zavarovano območje – Ponikovski kras (Vir: Prirejeno po: iObčina Zalec, 2019)

### 3.2 Geologija območja

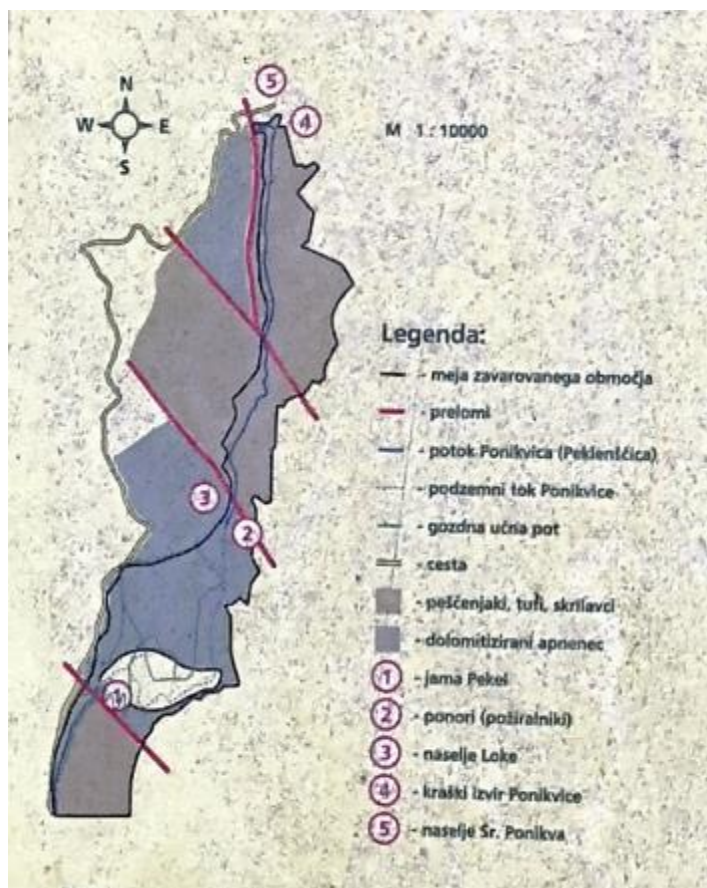
Pretežni del Ponikovske planote je sestavljen iz triasnega skladovitega dachsteinskega apnenca, ki prehaja v dolomit. V območju naselja Ponikva pri Žalcu je razvit skladovit in masiven dolomit, zahodno od njega pa je pas apnenčevo-dolomitnega konglomerata in breč iz oligocena. Severovzhodno od zaselka Spodnja Ponikva je manjše območje apnenčevo-kremenovega peščenjaka in konglomerata iz miocena. Med prelomoma in na južnem obrobju Ponikovske planote (v okolici Jame Pekel) je razvit ploščat apnenec z rožencem, skrilavec in lapor iz jure. Na širšem delu planote so prisotni keratofir, spilitiziran diabaz in njuni tufi. Sever in severovzhod Ponikovske planote sestavljata lapornata morska glina – sivica ter apnenčevo-dolomitni konglomerat in breča. Na jugu in jugozahodu planote je razvit andezitni tuf in vulkanska breča (Buser 1977).



Slika 3: Geološka zgradba območja (Vir: Prirejeno po: Buser, 1977)

### 3.3 Hidrologija zaledja Ponikvice

Potok Ponikvica izvira v osrednjem delu Ponikovske planote v zaselku Srednja Ponikva. Že iz njenega imena lahko sklepamo, da gre za ponikalnico, ki nekaj časa teče po zakraselem površju in potem ponikne v podzemlje. Izvir se nahaja pod hribom, na prelomu med terciarnimi peščenjaki, laporji, tufi, tufiti ter zgornjetriasnim apnencem. Zraven izvira je urejeno perišče, ki se je nekoč uporabljalo za pranje oblačil. Potok Ponikvica teče po zgornjetriasnem apnencu in na svoji poti prečka dva preloma, nato pa v požiralnikih ponikne v podzemlje Jame Pekel, kamor se stekajo tudi druge vode iz njenega območja (Zavod za varstvo naravne in kulturne dediščine Celje, Zavod za gozdove – krajevna enota Žalec, Občina Žalec, MOP – Uprava RS za varstvo narave 1999). Potok ima ob močnejših in dolgotrajnejših padavinah še en izvir, nekaj metrov višje od prvega. Le-ta je aktiven kakšen dan ali dva, nato pa presahne (Tomažič 2005). Potok ponikuje v treh požiralnikih, ki se nahajajo ob desni strani ceste na travniku, jugovzhodno od zaselka Loke (Hribernik in Bračič 2010, str. 40). Prvi požiralnik je največji in edini stalno aktiven, medtem ko je drugi požiralnik manjši in aktiven le ob dolgotrajnejših in intenzivnejših padavinah. Tretji požiralnik se nahaja ob robu gozda (Tomažič 2005). Potok Ponikvica, ki skupaj z drugimi podzemeljski pritoki priteče v Jamo Pekel, iz nje izvira pod imenom Peklenščica (Hribernik in Bračič 2010, str. 40).



Slika 4: Hidrologija zaledja Ponikvice (Vir: Zavod za varstvo naravne in kulturne dediščine Celje, Zavod za gozdove – Krajevna enota Žalec, Občina Žalec, MOP – Uprava RS za varstvo narave, 1999)

V sklopu hidrogeoloških opazovanj v Jami Pekel (Novak 1977, str. 26) je navedeno, da so bile izvedene nesistematične meritve pretoka Peklenščice, ki so pokazale, da se njen pretok pod jamo giblje med 10 in 20 l/s; ob visokih vodah pa tudi več. Merili so še temperaturo vode, ki se je gibala med 7 °C pozimi in 12 °C poleti, kar nakazuje na odvisnost vode od zunanjih sprememb. Omenjena je tudi celokupna trdota vode (okoli 12, 5 °dH), ki se bistveno ne spreminja ter zaznavanje dokaj visoke koncentracije sulfatnih ionov v vodi v deževnih obdobjih oz. v času odjuge. To so pripisali neposrednemu onesnaževanju z naravnimi organskimi snovmi.

Na območju Ponikovskega krasa so v preteklosti izvedli tudi sledenja podzemeljskemu toku vode. Izvedli so tri sledilne poskuse, pri katerih so uporabili sledilo uranin. Prvi sledilni poskus so izvedli leta 1974, ko so uranin injicirali v požiralnik v Vrtačah pod Lokami, po okoli štirih urah pa se je sledilo pojavilo v glavnem rovu Jame Pekel. Drugi sledilni poskus je bil izveden 2. 5. 1976, ko so uranin injicirali v potok, ki je ponikal v rupe pod Kalami. Sledilo se je pojavilo v stranskem rovu Jame Pekel po približno desetih urah. Zadnji sledilni poskus je bil izveden 16. 5. 1976, ko so sledilo injicirali v vodo, ki je poniknila v požiralnik pri Miklavžu. Sledilo se je pojavilo v glavnem rovu Jame Pekel po približno dvaindvajsetih urah. Hitrost potovanja sledila od točke injiciranja do pojavitve v jami je bila različna, saj so sledilne poskuse izvajali ob različnih vodostajih, večinoma ob upadajočih vodah. Ugotovljeno je bilo, da se vode iz območja potoka Ponikvica stekajo neposredno v vodo Jame Pekel. Ker vode v osrednjem delu planote gravitirajo v podzemlje Jame Pekel, obstaja velika verjetnost, da ta voda s seboj v jamo prinaša tudi onesnažila, ki so posledica človekovih dejavnosti v zaledju jame na Ponikovski planoti (Novak 1977, str. 28–29).

Neurejeno čiščenje in odvajanje komunalnih odpadnih voda še vredno predstavlja problem za kraške vode na Ponikovskem krasu, saj le-ta nima urejenega javnega kanalizacijskega sistema. Za obravnavano območje so predvidene individualne male komunalne čistilne naprave (MKČN) in nepretočne greznice. Občina Žalec nakup in vgradnjo MKČN sofinancira od leta 2015 (JKP Žalec d. o. o., osebna komunikacija, 2. 6. 2020). Že leta 2014 je Občina Žalec sprejela Pravilnik o sofinanciranju malih komunalnih čistilnih naprav v Občini Žalec (Uradni list RS, št. 51/2014), s katerim je zagotovila sredstva za nakup in vgradnjo MKČN do velikosti 50 populacijskih ekvivalentov. Do sofinanciranja so upravičeni lastniki obstoječih stanovanjskih objektov s stalnim prebivališčem v Občini Žalec, kjer z Operativnim programom odvajanja in čiščenja komunalne odpadne vode v Občini Žalec ni predvidena izgradnja kanalizacijskega omrežja. Sofinanciranje se izvede na podlagi 7. člena tega pravilnika, in sicer tako, da se enkrat letno objavi javni poziv za sofinanciranje MKČN, v katerem so določeni podrobnejši pogoji in postopki za pridobitev javnih sredstev. Leta 2019 je bil naknadno sprejet Pravilnik o dopolnitvi Pravilnika o sofinanciranju malih komunalnih čistilnih naprav v Občini Žalec (Uradni list RS, št. 43/2019), v katerem so v 4. členu dodali tudi odstavek o sofinanciranju MKČN na območju Krajinskega parka Ponikovski kras.

### 3.4 Jama Pekel

Jama Pekel se nahaja na južnem robu Ponikovske planote, na začetku 200 m dolge zatrepne doline (Natek 1993 v Pokorn in Uršič 2015, str. 22). Leži približno 4 kilometre severno od Šempetra v Savinjski dolini in je stara več kot tri milijone let. Svoje ime je dobila zaradi tega, ker je pozimi zunanja temperatura zraka višja kot v jami, zato se iz njenega vhoda včasih kadi. Pri vhodu vanjo lahko z malce domišljije opazimo podobo peklenščka, ki je vklesan v skalo. Jama Pekel je edina turistična jama na območju Ponikovskega krasa, prav tako pa je tudi največja za turiste urejena kraška jama na Štajerskem. Za turistični ogled je urejenih 1159 m jame, upravlja pa jo Turistično društvo Šempeter (Turistično društvo Šempeter 2008). Jama Pekel z dolino Peklenščice spada pod ekološko pomembno območje (EPO) 94300 Ložnica s Trnavo (Naravovarstveni atlas 2019). Okoli jame je mimo mešanih gozdov in travnikov speljana gozdna in ekološka učna pot Pekel, ki je dolga 1980 m. Gozdno gospodarstvo Celje jo je uredilo že leta 1984, danes pa jo upravljajo gozdarji Celjskega gozdarskega društva in Zavoda za gozdove Krajevne enote Žalec. Na učni poti je postavljenih deset informativnih tabel v slovenskem in angleškem jeziku. Na poučen in zanimiv način so predstavljeni kras in kraški pojavi, gozd, narava in ekologija (Petrič 2019).

Viri o Jami Pekel segajo že v sredino 19. stoletja. Jamo je imel v letih med 1860 in 1870 v najemu zdravnik dr. Trpaver iz Žalca, ki je v njej napeljal lesene poti in jo usposobil za obisk (Turistično društvo Šempeter 1976). Leta 1866 je jamo raziskoval profesor Reibenschuh iz Gradca (Turistično društvo Šempeter 1974). Za jamo se je v letih 1890 do 1905 zanimal tudi žalski občinski tajnik Ivan Kač, ki je v njej popravil propadajoče poti (Štorman 1991, str. 115). Od takrat pa vse do leta 1969 je bila jama prepuščena sama sebi, leta 1969 pa je Turistično društvo Šempeter v Savinjski dolini pristopilo k raziskavi jame (Turistično društvo Šempeter 1974). Leta 1969/1970 so jamo začeli raziskovati člani jamarskega kluba Ljubljana-Matica in jamarskega kluba Črni galeb iz Prebolda. Pri tem so odkrili prehod v zgornjo etažo, ki je kapniško izredno bogata (Štorman 1991, str. 115). Pri raziskovanju jame se je tega leta v zgornji etaži smrtno ponesrečil ljubljanski jamar Anton Suwa (Turistično društvo Šempeter 1976). Leta 1970 so jamarji iz Prebolda v jami postavili prve mostičke in uredili 130 m poti. Pobudo za nadaljnji razvoj jame je prevzelo Turistično društvo Šempeter v Savinjski dolini (Štorman 1991, str. 115). V letu 1973 so za turistični ogled odprli vhodni del jame v dolžini 180 m, naslednje leto so odprli tudi 30 m dolgi Tihi rov, leta 1976 pa so za obiskovalce odprli tudi umetni izhod iz jame, ki se nahaja približno 42 m višje od spodnjega (Turistično društvo Šempeter 1976).



Jama je sestavljena iz zgornje suhe in spodnje vodne etaže. Zgornja etaža je starejšega nastanka kot spodnja etaža, saj je tu najprej tekla voda, ki si je svojo pot utrla skozi razpoke v kamnini v globlje predele, kjer teče še danes. Ta del jame je kapniško izredno bogat, tukaj najdemo stalagmite, stalaktite, ponvice, jezerce, naravni most ... Iz jame pridemo na površje iz umetno narejenega izhoda. (Turistično društvo Šempeter 2008). V vodnem delu jame teče potok Peklenščica skozi številne brzice in tolmane, opaziti je zasignane stene in raznolike kapniške oblike (Tomažič 2005). Pot je v vodnem delu jame speljana ob potoku skozi prostorne dvorane in ozke soteske vse do konca jame, ki jo zapira sifon, skozi katerega priteče približno 4-metrski podzemni slap. Skozi slap priteče potok Ponikvica, ki je poniknila v požiralnikih v Lokah in se v jami združi z drugimi vodotoki. Od rastlinskih vrst lahko v jami na stenah, stropu in ob vodi opazimo alge, mahove in lišaje. Od živalskih vrst so v jami prisotni netopirji, raki, hroščki, pajki, polžki (Turistično društvo Šempeter 2008).

Zapisnik o stanju Jame Pekel iz leta 2011 kaže, da je jama poškodovana. V zapisniku je bilo označeno tudi, da je bila onesnažena in nato očiščena. Onesnažen oz. poškodovan je turistični del jame, kjer so opazili poškodovane sigove tvorbe, posege v sedimente in živo skalo. V jami so našli posamezne kose odpadkov (posledica turističnega obiska), ki so jih pobrali. Med drugimi opažanji je navedeno, da je v jami izrazit pojav lampenflore ob svetilih. V njej so tudi betonski posegi, električna razsvetljava, vrata, ograje in umetni rov (Hribernik 2011).



Slika 5: Vhod v jamo (Foto: K. Ocepek, 2019)

Kot vemo, potekajo v kraških jamah številni fizikalno-kemijski procesi. Zlasti v turističnih jamah lahko te procese in naravno stanje jame hitro spremeni obisk turistov in z njimi povezana izgradnja turistične infrastrukture, zato bi bilo tam smiselno zasnovati spremljanje fizikalno-kemijskih parametrov, ki so bistveni za določeno jamo. Pozornost je treba nameniti spremljanju parametrov jamske klime in jamske hidrologije. Bistveno je, da se v okviru jamske klime spremlja temperaturo zraka, vlago, hitrost in smer gibanja zraka, delež  $\text{CO}_2$  in radona ter njegovih produktov. V okviru jamske hidrologije je treba spremljati fizikalne parametre monitoringa vodotokov (temperaturo vode, višino vode oz. pretok ter specifično električno prevodnost). Spremljati je treba tudi kemijske parametre vodotokov (pH-vrednost, alkalnost, katione in anione). Osredotočiti se moramo zlasti na tiste snovi, ki nakazujejo na onesnaženost voda: nitrati, fosfati, sulfati in kloridi (Gabrovšek in Mulec 2008, str. 286–290).

## 4 MATERIALI IN METODE DE LA

Diplomska naloga je sestavljena iz teoretičnega in praktičnega dela. Pri pisanju teoretičnega dela diplomske naloge sem uporabila deskriptivno metodo, pregledala sem obstoječe vire in literaturo, kar mi je omogočilo lažje razumevanje raziskovalnega problema. S spletnega arhiva Agencije Republike Slovenije za okolje sem pridobila hidrološke podatke za glavno meteorološko postajo Celje - Medlog za obdobje 14 dni pred terenskimi analizami.

Praktični del naloge je vključeval terensko delo. Na terenu sem si ogledala Jamo Pekel z njenim hidrogeološkim zaledjem, poseben poudarek je bil na morebitnih posledicah človekovih dejavnosti na potok Ponikvico. Na terenu sem določevala fizikalno-kemijske parametre vode na treh vzorčevalnih mestih: na izviru Ponikvice, pred požiralnikom v Lokah in v Jami Pekel. Za terensko delo sem uporabila prenosni kovček EcoLabBox, Vernier vmesnik (LabQuest 2) in prenosni spektrofotometer Hach DR/2000, ki sem si jih izposodila v laboratoriju Visoke šole za varstvo okolja v Velenju.

V vodi sem s hitrimi testi iz kovčka EcoLabBox določala nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ), amonij ( $\text{NH}_4^+$ ) in fosfate ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). Pri delu sem uporabljala navodila iz priročnika Handbook EcoLabBox. Temperaturo zraka, temperaturo vode in pH-vrednost vode sem izmerila z Vernier vmesnikom (LabQuestom 2). Pri delu z Vernier vmesnikom sem upoštevala navodila za uporabo temperaturnega senzorja (Stainless Steel Temperature Probe User Manual) in navodila za uporabo pH senzorja (Tris-Compatible Flat pH Sensor User Manual). Vsebnost sulfatov ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) sem določala s prenosnim spektrofotometrom Hach DR/2000. Ravnala sem se po metodi za merjenje sulfatov iz priročnika za uporabo prenosnega spektrofotometra Hach DR/2000 (DR 2000 Spectrophotometer Procedures Manual, O-Z).

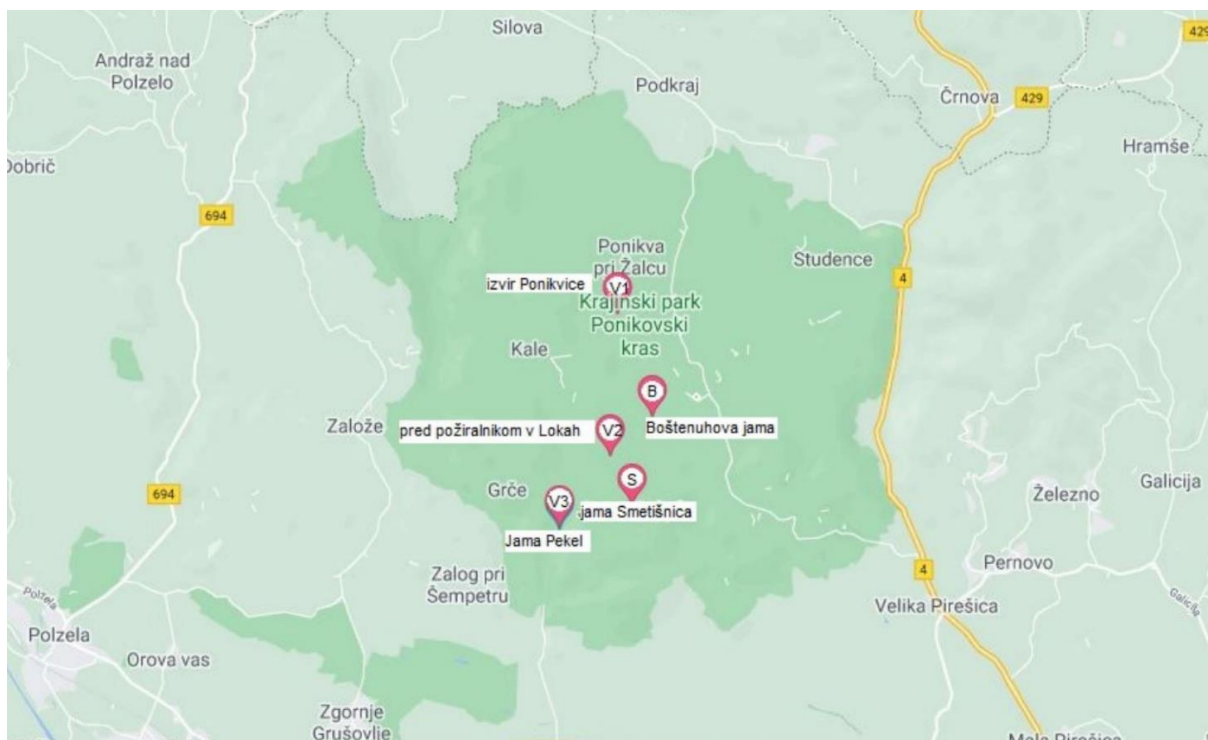
### 4.1 Določitev vzorčevalnih mest

Pri določitvi vzorčevalnih mest sem upoštevala dejavnosti v hidrogeološkem zaledju Jame Pekel in potencialne vire onesnaženja na območju. Določila sem tri vzorčevalna mesta: izvir Ponikvice, pred požiralnikom v Lokah in rov s podpisi v Jami Pekel. Pri izvihu Ponikvice in pri požiralnikih v Lokah je šlo za površinski vodni tok, v Jami Pekel pa za podzemeljski vodni tok. V preglednici spodaj so prikazane št. vzorčevalnega mesta, ime vzorčevalnega mesta, koordinate in nadmorska višina.

Preglednica 1: Izbrana vzorčevalna mesta (Vir: Atlas Okolja, 2019)

Št. vzorčevalnega mesta	Oznaka vzorčevalnega mesta	Ime vzorčevalnega mesta	Koordinata GKX	Koordinata GKY	Nadmorska višina (m)
1	V1	Izvir Ponikvice	129251	511135	378,9
2	V2	Pred požiralnikom v Lokah	127955	511082	354,2
3	V3	Jama Pekel (rov s podpisi)	127355	510635	306,8

Na spodnjem zemljevidu je označena lokacija vzorčevalnih mest. Z oznako V1 je označen izvir Ponikvice, ki leži v osrednjem delu Ponikovske planote, v zaselku Srednja Ponikva na nadmorski višini 378,9 m in je približno dva kilometra oddaljen od Jame Pekel. Z oznako V2 je označeno drugo vzorčevalno mesto, območje pred požiralnikom v Lokah, ki leži na nadmorski višini 354,2 m in je približno 750 m oddaljeno od Jame Pekel. Z oznako V3 je označena Jama Pekel, ki se nahaja približno štiri kilometre severneje od Šempetra v Savinjski dolini, na nadmorski višini 306,8 m. Na sliki sta označeni tudi Boštenuhova jama in jama Smetišnica, ki sem ju dodatno obravnavala kot potencialni onesnaževalki.



Slika 6: Lokacija vzorčevalnih mest na zemljevidu (Vir: Prirejeno po: Google Zemljevidi, 2019)

Legenda:

V1 – izvir Ponikvice

V2 – pred požiralnikom v Lokah

V3 – Jama Pekel (rov s podpisi)

B – Boštenuhova jama

S – jama Smetišnica

#### **Vzorčevalno mesto št. 1 – izvir Ponikvice**

Izvir potoka se nahaja pod hribom v zaselku Srednja Ponikva. Zraven njega je urejeno nekdanje perišče. Ob močnejših padavinah ima potok še en izvir, ki je nekaj metrov oddaljen od prvega in se z njim tudi združi. Mesto sem izbrala, saj so nad njim kmetijska območja, problematične pa bi lahko bile tudi neočiščene komunalne odpadne vode. V neposredni bližini izvira je nekaj kmetij s sadovnjaki in travniki. Potok Ponikvica teče vse do požiralnikov v Lokah, tam pa ponikne v podzemlje.



Slika 7: Izvir Ponikvice (Foto: K. Ocepek, 2019)

#### **Vzorčevalno mesto št. 2 – Pred požiralnikom v Lokah**

Trije požiralniki potoka Ponikvice se nahajajo pod zaselkom Loke, ob desni strani ceste na večjem travniku. Prvi požiralnik, pred katerim sem vzorčila vodo, je največji in tudi edini stalno aktiven. To vzorčevalno mesto sem izbrala, saj me je zanimalo, če bo na ponornem območju potoka v spomladanskem času voda vsebovala povišane vrednosti onesnažil, ki izvirajo iz kmetijske dejavnosti.



Slika 8: Pred požiralnikom v Lokah (Foto: K. Ocepek, 2019)

### Vzorčevalno mesto št. 3 – Jama Pekel (rov s podpisi)

V Jamo Pekel priteče potok Ponikvica skupaj z drugimi vodami skozi približno štiri metre visok podzemni slap v vodnem delu jame. Rov s podpisi je od slapa oddaljen približno 200 m. Ime je dobil po podpisih, ki so se na steni jame ohranili vse do danes. Mesto sem izbrala, saj se tam voda nekaj časa zadržuje, s tem pa tudi morebitna onesnaževala, ki so v njej prisotna in izvirajo iz zaledja Jame Pekel. Ko potok zapusti Jamo Pekel, se iz Ponikvice preimenuje v Peklenščico.



Slika 9: Rov s podpisi (Jama Pekel) (Foto: K. Ocepek, 2019)

#### 4.2 Fizikalno-kemijske analize vode na terenu

Analize vode so bile izvedene v času od 6. 10. 2018 do 21. 9. 2019, in sicer petkrat. Datumi vzorčevanj so bili: 6. 10. 2018, 24. 12. 2018, 30. 3. 2019 in 24. 6. 2019. Dodaten vzorec za primerjavo sem odvzela še 21. 9. 2019. Želela sem namreč pridobiti vzorce ob različnih vremenskih razmerah, različnih letnih časih ter sezonski dejavnosti v kmetijstvu (gnojenje). Vzorce vode sem zajela s 100 ml plastično čašo, priloženo v prenosnem kovčku EcoLabBox. V najkrajšem možnem času sem nato izmerila temperaturo vode in pH-vrednost vode ter ostale kemijske vrednosti. Po izvedenih analizah sem kivete z vzorci izpraznila v plastenke za shranjevanje odvečnih snovi in jih vrnila v laboratorij Visoke šole za varstvo okolja. Na vzorčevalnih mestih sem si zapisala še čas zajetja vzorcev, vremenske razmere in druga opažanja na terenu (morebitno onesnaženje vode).

### 4.3 Opis laboratorijskih pripomočkov

#### Vernier vmesnik (LabQuest 2)

Vernier vmesnik (LabQuest 2) je samostojni vmesnik za zbiranje podatkov s pomočjo senzorjev. Vgrajeno ima grafično in analizo aplikacijo. Vmesnik omogoča enostavno in hitro zbiranje podatkov, njihovo analiziranje in izmenjavo podatkov iz poskusov. Vgrajen ima GPS, mikrofona, merilnik pospeška, senzor za temperaturo in svetlobo, štoparico, periodni sistem, snemalnik zvoka in znanstveni kalkulator. Primeren je za meritve na terenu kot tudi za delo v učilnicah. Na zgornjem levem robu vmesnika sta poleg gumba za vklop dva priključka za digitalne senzore (DIG 1 in DIG 2), na levem robu vmesnika pa so trije priključki za analogne senzore (CH1, CH2, CH3) npr. za temperaturo, pH-vrednost, merjenje CO<sub>2</sub>. Programska oprema za zbiranje podatkov in analizo vključuje aplikacijo LabQuest, ki se samodejno zažene, ko vklopimo vmesnik (ali pa nanjo kliknemo na začetnem zaslonu). Aplikacija ima pet različnih zaslonov: merilnik, graf, tabela, laboratorijska navodila in beležke. Ko na vmesnik priključimo digitalne ali analogne senzore in nastavimo želene lastnosti za zbiranje podatkov (način merjenja, št. vzorcev, trajanje), nam prikaže izmerjeno vrednost (Vernier Software & Technology 2020). Z Vernier vmesnikom, na katerega sem priključila analogna senzora za temperaturo in pH-vrednost, sem na terenu merila temperaturo zraka, temperaturo vode in pH-vrednost vode.



Slika 4: LabQuest 2 (Foto: K. Ocepek, 2019)

#### Prenosni kovček EcoLabBox

Prenosni kovček EcoLabBox je prenosni laboratorij, s katerim lahko na terenu na podlagi enostavnih poskusov ugotovimo kakovost vode ali tal. Z reagenti v kovčku lahko zaznamo in merimo najpomembnejše snovi, ki vplivajo na okolje. Kovček je opremljen s priložnikom za uporabo, v katerem je podrobneje opisanih 21 poskusov, ki jih je z njim mogoče opraviti. V njem najdemo ekstrakcijski pufer, stojalo za lijak, lijak, filtrni papir, 250 ml plastenko s širokim vratom, 100 ml plastenko s širokim vratom, plastično čašo, povečevalno steklo, semena kreše, brizgalko, pinceto, pipete, merilne žličke, barvno lestvico. Notri so reagenti za merjenje pH-vrednosti, nitratov, nitritov, amonija, fosfatov in skupne trdote ter 6 kivet z barvno oznako. Poleg tega v njem najdemo še A4 nepremočljivo podlago iz polipropilena ter list z opozorili o nevarnosti reagentov v kovčku EcoLabBox (Proske 2017, str. 8).

Z reagenti iz kovčka EcoLabBox sem v vzorcih vode merila vsebnost nitratov, nitritov, amonija in fosfatov. Določevala sem jih s priloženo barvno lestvico iz kovčka EcoLabBox. Vzorcju vode v kivetu sem po navodilih proizvajalca dodala specifične reagente in počakala, da je potekla kemijska reakcija. Osnovo predstavljajo kolorimetrične reakcije, kjer je intenziteta barve sorazmerna s koncentracijo iskanega analita v raztopini.



Slika 11: Prenosni kovček EcoLabBox (Foto: K. Ocepek, 2019)

### **Prenosni spektrofotometer Hach DR/2000**

Prenosni spektrofotometer Hach DR/2000 se uporablja za identifikacijo in detekcijo organskih ter anorganskih spojin. Gre za enožarkovni spektrofotometer, kjer sta pri merjenju zahtevana dva postopka. Nespecifičnemu ozadju, ki bi lahko motilo meritev izbranega iona, se izognemo z merjenjem absorbance referenčnega vzorca oz. ozadja (uporabimo destilirano vodo), ki jo spektrofotometer izniči. Šele nato izmerimo absorbanco pravemu vzorcju. Kolorimetrična meritev omogoča merjenje absorbance valovnih dolžin vidne svetlobe oz. merjenje obarvanih raztopin. Spektrofotometer ima že v svojih metodah vključen čas za razvoj barve in ustrezne valovne dolžine. Prednastavljen je za več kot 120 kolorimetričnih meritev. Primeren je za izvajanje meritev v laboratoriju in na terenu. Rezultati meritev se lahko prikažejo v odstotkih prepustnosti, vrednosti absorbance ali koncentracije (Hach Company 1988, 1989, 1990). S prenosnim spektrofotometrom Hach DR/2000 sem v vzorcih vode merila koncentracijo sulfatnih ionov. Sulfatne ione v vzorcju vode sem določevala s pomočjo kolorimetričnih meritev z uporabo reagenta v prašku SulfaVer 4 Sulfate Reagent Powder Pillow. Pri merjenju sem potrebovala tudi naslednje laboratorijske pripomočke: škarje, polnilno pipeto (25 ml) in gumijasti nastavek, parafilm, kiveto, stekleno čašo za vzorec (100 ml), puhalko z destilirano vodo.



Slika 5: Prenosni spektrofotometer Hach DR/2000 (Foto: K. Ocepek, 2019)

#### 4.4 Natančnost meritev

Do napak pri natančnosti meritev z Vernier vmesnikom lahko pride zaradi neupoštevanja navodil za uporabo, ki so navedeni v priročniku za merjenje s temperaturnim senzorjem (Vernier Software & Technology<sub>2</sub> 2019) in pH-senzorjem (Vernier Software & Technology<sub>3</sub> 2019). Pozorni moramo biti na ustrezno shranjevanje naprave in senzorjev, da se ne poškodujejo. Pri rokovanju s senzorji pazimo na to, da ne zvijamo kabla pri temperaturnem senzorju, ne zmočimo ročaja senzorjev (ni vodoodporen) in odčitamo vrednosti šele, ko se stabilizirajo. Po končanih meritvah senzorje vedno dobro speremo z destilirano vodo in jih primerno shranimo. K natančnosti meritev lahko v manjši meri pripomore tudi sama natančnost senzorjev; temperaturnega senzorja, ki je  $\pm 0,2$  °C pri 0 °C in  $\pm 0,5$  °C pri 100 °C ter pH-senzorja, ki znaša  $\pm 0,2$  pH-enoti.

Z reagenti iz EcoLabBoxa lahko s priloženo barvno lestvico zgolj ocenimo približne vrednosti določenih parametrov, kar pomeni, da je to prav gotovo najmanj zanesljiva metoda, saj gre za napravo, ki omogoča zgolj identifikacijo in ne natančne rezultate. Na barvni lestvici primerjamo obarvani vzorec z obarvanimi polji. Pri oceni barve je možna tudi subjektivna napaka preiskuševalca, poleg tega se večina izmerjenih vrednosti nahaja med obarvanimi polji. Do napak lahko pride tudi pri odmerjanju volumna vzorca, delu z reagenti (neustrezno število kapljic, uporaba neustreznega reagenta, neraztopljen reagent) in neustreznem reakcijskem času za razvoj barve. Pomembno je tudi, da so kivete za vzorce po vsaki meritvi očiščene (Proske 2017, str. 65–66).

Pri merjenju s prenosnim spektrofotometrom Hach DR/2000 lahko pride do napak pri izvedbi meritev zaradi napačnega odmerjanja volumna vzorca, nečistoče kivete (nikoli ne prijemamo stranic kivete in jo po vsaki uporabi temeljito očistimo), nepazljivi izbiri metode za merjenje in neustrezno nastavljeni valovni dolžini ( $\pm 2$  nm od 400 do 700 nm in  $\pm 3$  nm od 700 do 900 nm), pri izbiri reagenta, nepravilno nastavljenega reakcijskega časa za potek kemijske reakcije. Paziti moramo, da ne pride do interakcij drugih kemikalij z vzorcem in na ustrezno shranjevanje naprave (Hach Company 1988, 1989, 1990).



## 4.5 Postopki vzorčenja

### Merjenje temperature vode

Najprej vključimo vmesnik LabQuest 2 s pritiskom na gumb, ki se nahaja na zgornjem levem robu ter priključimo analogni senzor za temperaturo. Vmesnik samodejno zazna vrsto sensorja. Konico sensorja namestimo neposredno v vodno telo ali v lonček z vzorcem vode iz vodnega telesa. Konico potopimo približno 10 cm globoko in držimo, dokler se temperatura ne stabilizira. Pazimo, da ne zmočimo ročaja, saj ni vodoodporen. Ko se vrednost na zaslonu stabilizira, odčitamo temperaturo (Vernier Software &Technology<sub>1</sub> 2019). Senzor po vsaki uporabi temeljito speremo z destilirano vodo, ga osušimo in ustrezno shranimo. Umerjanje sensorja večinoma ni potrebno, saj je senzor tovarniško umerjen (Vernier Software &Technology<sub>2</sub> 2019).

### Merjenje pH-vrednosti vode

Najprej vključimo vmesnik LabQuest 2 in priključimo analogni senzor za pH-vrednost. Vmesnik samodejno zazna vrsto sensorja. pH senzor odstranimo iz posodice za shranjevanje in ga speremo z destilirano ali deionizirano vodo. Konico sensorja potopimo 3-4 cm globoko v vodno telo ali v lonček z vzorcem vode iz vodnega telesa. Počakamo, da se pH-vrednost stabilizira in jo nato odčitamo. Pazimo, da ne zmočimo ročaja, saj ni vodoodporen. Senzor po vsaki uporabi speremo z destilirano vodo, ga osušimo in ga shranimo v posodico, v kateri je raztopina za daljše shranjevanje; pufer s pH 4/KCl (Vernier Software &Technology<sub>1</sub> 2019). Za številne poskuse umerjanje pH-senzorja ni potrebno, saj je že tovarniško umerjen (Vernier Software &Technology<sub>3</sub> 2019).

### Merjenje NO<sub>3</sub><sup>-</sup>

Vzamemo kiveto z rumeno oznako in jo napolnimo s 5 mililitri vzorca vode, uporabimo brizgalko. Dodamo 5 kapljic reagenta (1) NO<sub>3</sub>, zapremo kiveto in pretresemo. Nato dodamo 1 žličko reagenta (2) NO<sub>3</sub>, zapremo in stresamo 1 minuto. Počakamo 5 minut, odstranimo pokrovček s kivete in na barvni lestvici odčitamo vrednost nitratov v vzorcu (Proske 2017, str. 70–71).

### Merjenje NO<sub>2</sub><sup>-</sup>

Vzamemo kiveto z rdečo oznako in jo napolnimo z vzorcem vode do oznake. Dodamo 4 kapljice reagenta (1) NO<sub>2</sub>, zapremo kiveto in pretresemo. Nato dodamo 1 žličko reagenta (2) NO<sub>2</sub>, zapremo in stresamo, dokler se prašek ne raztopi. Počakamo 10 minut, odstranimo pokrovček s kivete in na barvni lestvici odčitamo vrednost nitritov v vzorcu (Proske 2017, str. 74).

### Merjenje NH<sub>4</sub><sup>+</sup>

Vzamemo kiveto z zeleno oznako in jo napolnimo z vzorcem vode do oznake. Dodamo 10 kapljic reagenta (1) NH<sub>4</sub>, zapremo kiveto in pretresemo. Nato dodamo 1 žličko reagenta (2) NH<sub>4</sub>, zapremo in stresamo, dokler se prašek ne raztopi. Počakamo 5 minut. Nato dodamo 4 kapljice reagenta (3) NH<sub>4</sub>, zapremo in pretresemo. Počakamo 7 minut, odstranimo pokrovček s kivete in na barvni lestvici odčitamo vrednost amonija v vzorcu (Proske 2017, str. 72).

### **Merjenje $\text{PO}_4^{3-}$**

Vzamemo kiveto z modro oznako in jo napolnimo z vzorcem vode do oznake. Dodamo 6 kapljic reagenta (1)  $\text{PO}_4$ , zapremo in pretresemo. Nato dodamo 6 kapljic reagenta (2)  $\text{PO}_4$ , zapremo in pretresemo. Počakamo 10 minut, odstranimo pokrovček s kivete in na barvni lestvici odčitamo vrednost fosfatov v vzorcu (Proske 2017, str. 73).

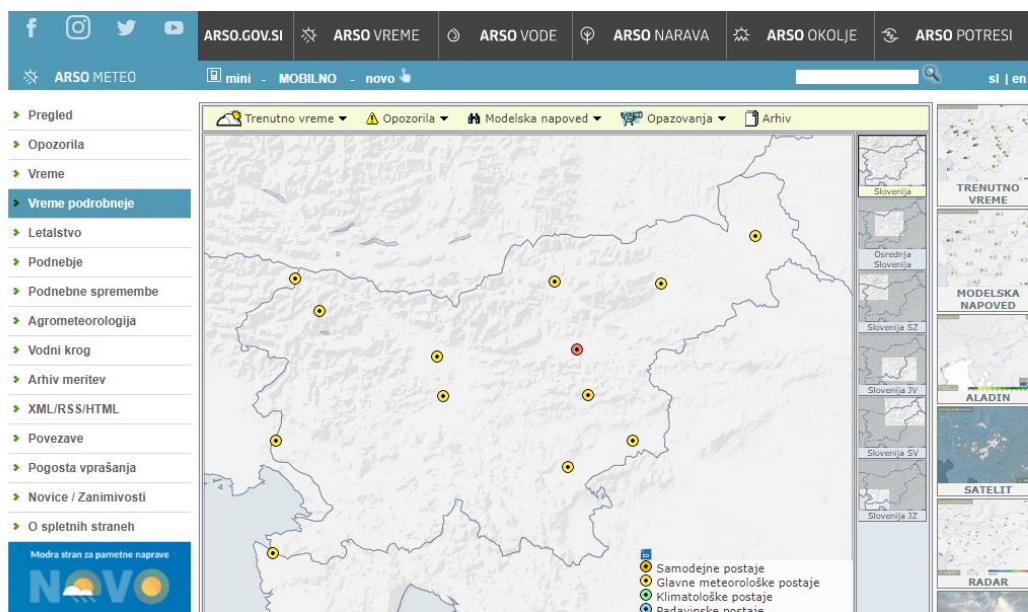
### **Merjenje $\text{SO}_4^{2-}$**

Vključimo prenosni spektrofotometer Hach DR/2000 in vnesemo številko programa za sulfat (680). Pritisnemo READ/ENTER, na zaslonu se izpiše DIAL nm to 450. Nastavimo valovno dolžino na 450 nm in pritisnemo READ/ENTER. Na zaslonu se izpiše mg/l  $\text{SO}_4^{2-}$ . Vzamemo 100 ml stekleno čašo in vanjo s polnilno pipeto odpipetiramo 25 ml vzorca vode. Dodamo reagent za sulfate SulfaVer 4 Sulfate Reagent Powder Pillow in premešamo, da se raztopi. Na spektrofotometru pritisnemo SHIFT TIMER (SHIFT + 7) in potekati začne petminutna reakcija. Med tem časom pripravimo referenčni vzorec (ozadje). V kiveto odpipetiramo 25 ml destilirane vode. Ko reakcija poteče, v spektrofotometer najprej vstavimo referenčni vzorec in pritisnemo ZERO. Na zaslonu se izpiše WAIT in nato 0 mg/l  $\text{SO}_4^{2-}$ . Potem v spektrofotometer vstavimo pripravljen vzorec in pritisnemo READ/ENTER. Na zaslonu se izpiše WAIT in rezultat v mg/l  $\text{SO}_4^{2-}$  (DR 2000 Spectrophotometer Procedures Manual, O-Z 1989).

## 5 REZULTATI

### 5.1 Hidrološki podatki iz glavne meteorološke postaje Celje - Medlog

Na spodnji sliki je z rdečo barvo označena lokacija glavne meteorološke postaje Celje - Medlog, iz katere sem pridobila hidrološke podatke za obdobje 14 dni pred terenskimi analizami vode.



Slika 6: Glavna meteorološka postaja Celje - Medlog (Vir: ARSO, 2019)

V preglednici 2 je prikazana skupna količina padavin za obdobje 14 dni pred izvedenimi terenskimi analizami vode. Hidrološke razmere pred vzorčenjem namreč pomembno vplivajo na prenos in hitrost potovanja onesažil iz kraškega površja, na razredčevanje onesaževal in njihovo uskladiščenje v manj prepustnih delih vodonosnika.

Preglednica 2: Prikaz skupne količine padavin 14 dni pred terenskimi analizami na meteorološki postaji Celje - Medlog (Vir: ARSO, 2019)

Časovno obdobje	Količina padavin (mm)
22. 9. 2018–5. 10. 2018	55
10. 12. 2018–23. 12. 2018	0,9
16. 3. 2019–29. 3. 2019	40,1
10. 6. 2019–23. 6. 2019	55,7
7. 9. 2019–20. 9. 2019	44,8

**1. vzorčenje (6. 10. 2018):** V obdobju med 22. 9. 2018 in 5. 10. 2018 so na glavni meteorološki postaji Celje - Medlog zabeležili 55 mm padavin. Največ padavin so zabeležili 24. 9. 2018, in sicer 37,5 mm. Šlo je za močnejše padavine, nevihto. Sledil je teden brez padavin, nato je štiri dni pred vzorčenjem padlo 11,3 mm padavin. Na dan vzorčenja, 6. 10. 2018, je prevladovalo suho in sončno vreme, glavna meteorološka postaja za ta dan ni beležila padavin (ARSO 2019).

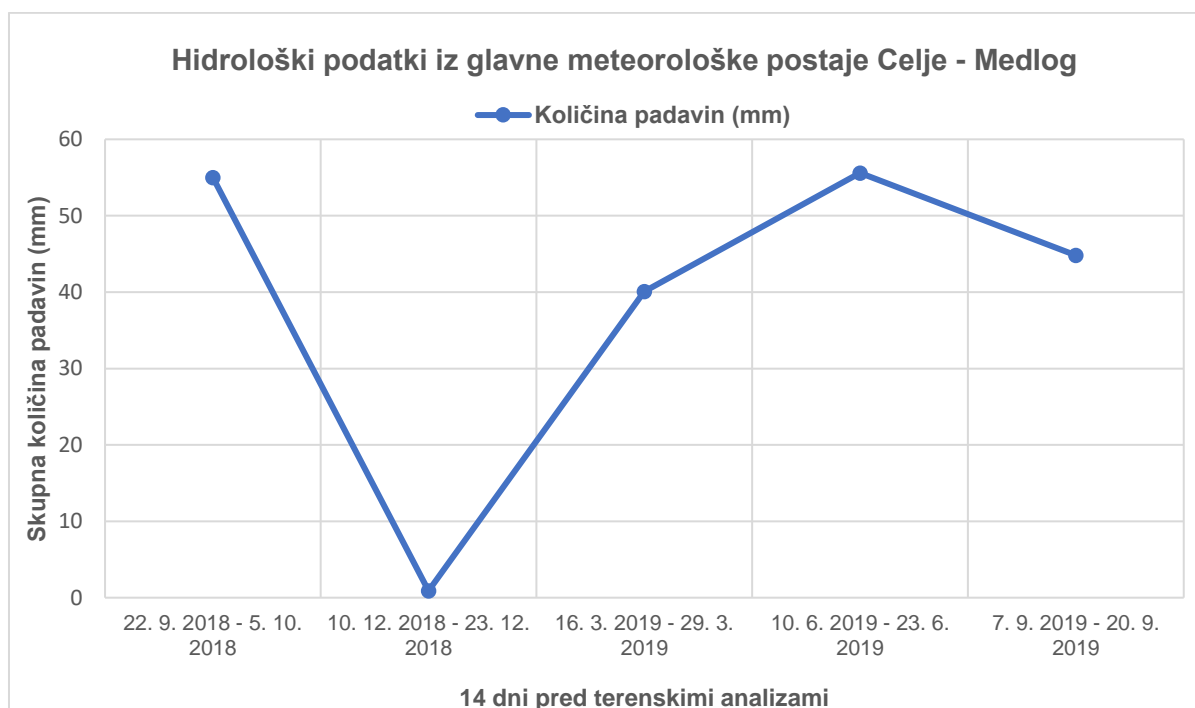
**2. vzorčenje (24. 12. 2018):** V obdobju med 10. 12. 2018 in 23. 12. 2018 so na glavni meteorološki postaji Celje - Medlog zabeležili 0,9 mm padavin. Največ padavin so zabeležili 15. 12. 2018, in sicer 0,5 mm. Osem dni pred vzorčenjem ni bilo padavin. Na dan vzorčenja,

24. 12. 2018, je prevladovalo suho, mrzlo in delno oblačno vreme. Zjutraj je na prvem vzorčnem mestu sicer prineslo kratko lokalno ploho, ki pa je glavna meteorološka postaja zaradi oddaljenosti ni zaznala (ARSO 2019).

**3. vzorčenje (30. 3. 2019):** V obdobju med 16. 3. 2019 in 29. 3. 2019 so na glavni meteorološki postaji Celje - Medlog zabeležili 40,1 mm padavin. Največ padavin je padlo 26. 3. 2019, in sicer 21 mm. Šlo je za intenzivnejše padavine, po katerih so sledili trije dnevi brez padavin. Na dan vzorčenja, 30. 3. 2019, je bilo sončno in jasno, pihal je rahel veter. Glavna meteorološka postaja za ta dan ni beležila padavin (ARSO 2019).

**4. vzorčenje (24. 6. 2019):** V obdobju med 10. 6. 2019 in 23. 6. 2019 so na glavni meteorološki postaji Celje - Medlog zabeležili 55,7 mm padavin. Največ padavin je padlo 23. 6. 2019, in sicer 48,2 mm. Šlo je za močnejše nalive in nevihte. 24. 6. 2019 je v času vzorčenja prevladovalo jasno, sončno vreme. Zaradi močnejših padavin dan poprej je bilo prvo vzorčno mesto poplavljen, prav tako je močno narasel tudi potok pred požiralniki. Tega dne je glavna meteorološka postaja beležila 29,9 mm padavin – verjetno je šlo za popoldanske ali večerne plohe in nevihte (ARSO 2019).

**5. vzorčenje (21. 9. 2019):** V obdobju med 7. 9. 2019 in 20. 9. 2019 so na glavni meteorološki postaji Celje - Medlog zabeležili 44,8 mm padavin. Največ padavin je padlo 8. 9. 2019, in sicer 17,8 mm. Šlo je za močnejše padavine, nevihto. Med 11. 9. 2019 in 17. 9. 2019 postaja ni beležila padavin. 18. 9. 2019 in 20. 9. 2019 je skupaj padlo 1,7 mm padavin. Na dan vzorčenja, 21. 9. 2019, je prevladovalo mrzlo, suho in sončno vreme. Glavna meteorološka postaja za ta dan ni beležila padavin (ARSO 2019).



Graf 1: Skupna količina padavin 14 dni pred terenskimi analizami (Vir: K. Ocepek, 2019)

Graf prikazuje skupno količino padavin, ki so jo zabeležili na glavni meteorološki postaji Celje - Medlog 14 dni pred izvedbo vzorčenj. Največ padavin je padlo meseca junija, in sicer 55,7 mm padavin. Tega meseca so bile padavine najobilnejše, vmes so bili tudi močnejši nalivi in nevihte; kar se je v času vzorčenja odražalo tudi na vzorčnih mestih. Najmanj padavin je zapadlo v mesecu decembru, ki je bil na splošno zelo suh mesec. Takrat je bilo le 0,9 mm padavin.

## 5.2 Opažanja na terenu

### Izvir Ponikvice

Marca 2019 je bilo na izviru potoka opaziti povečano rast alg v vodi, ki so se širile od vzorčevalnega mesta in perišča po strugi potoka navzdol. Najbolj obsežna plast alg je prekrivala perišče. Povečana razrast alg je lahko posledica gnojenja kmetijskih površin nad izviro in spiranja hranil v vodo. Neposredno nad izviro je bila v času terenskega dela večja njiva s koruzo. Junija 2019 je bilo vzorčevalno mesto poplavljeno zaradi obilnih padavin, potok Ponikvica je imel takrat še en izvir nekaj metrov višje. Voda na vzorčevalnem mestu je bila motna, plasti alg ni bilo videti. V septembru 2019 se je plast alg ponovno začela pojavljati in se širiti po strugi potoka navzdol.



Slika 7: Pri izviru Ponikvice marca 2019 (Foto: K. Ocepek, 2019)

### Pred požiralnikom v Lokah

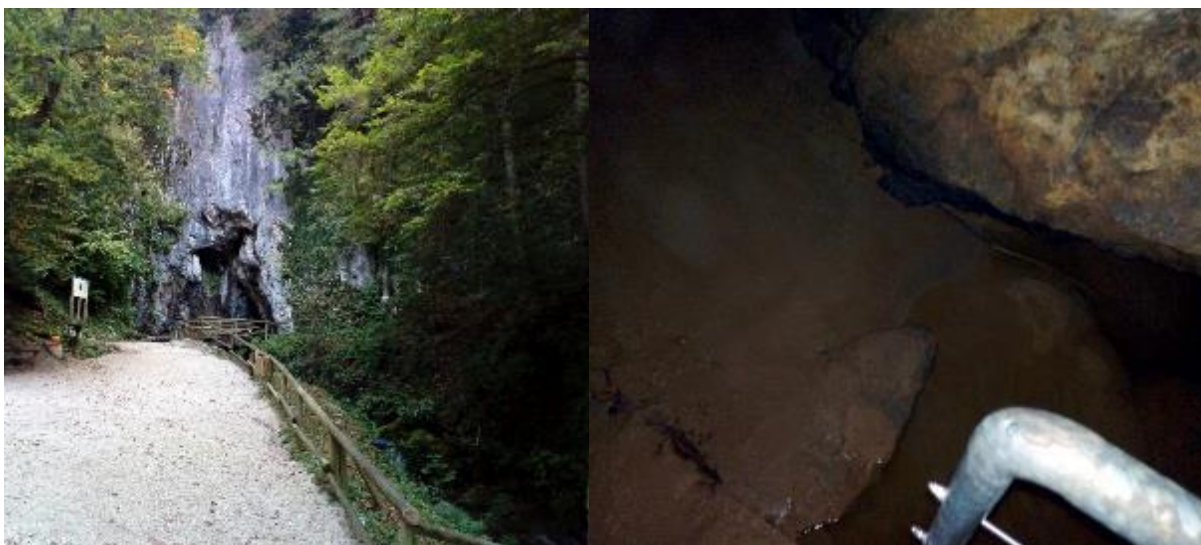
Marca 2019 je bila voda na vzorčevalnem mestu motna, rjavkasta in se je penila. Imela je vonj po gnojnici. Nekaj metrov pred vzorčevalnim mestom je ob in v potoku ležalo nekaj vejčja. Na desni strani potoka ob strugi navzgor je bilo odloženih nekaj kupov gradbenega materiala, ki so raztreseni ležali tudi v samem potoku. Opazila sem tudi, da je v potok speljana cev, iz katere vanj priteka odpadna voda. Junija 2019 je bilo vzorčevalno mesto poplavljeno, saj je potok zaradi obilnih padavin močno narasel, voda je bila motna, tla so bila namočena. Zaradi obilnih padavin je voda ponikala tudi v drugem požiralniku, pred njim pa je zastajala zaradi vejčja v potoku, bila je rjavkaste barve in se je penila. Zaznati je bilo tudi vonj po gnojnici.



Slika 8: Pred požiralnikom v Lokah marca 2019 in junija 2019 (Foto: K. Ocepek, 2019)

### **Jama Pekel**

V času vzorčenja na vzorčevalnem mestu v jami ni bilo zaznati spremembe barve vode, intenzivnega vonja po gnojnici, penaste vode ali drugih nečistoč v vodi. Omeniti velja zgolj malce motno vodo junija 2019.



Slika 9: Jama Pekel septembra 2019 (Foto: K. Ocepek, 2019)

V bližini vzorčevalnih mest se nahajata kraški jami Smetišnica in Boštenuhova jama. Zanimalo me je njuno stanje danes, saj sta bili v preteklosti onesnaženi in bi njuna onesnaženost lahko pripomogla k obremenitvi podzemnega toka vode na obravnavanem območju, zato sem odšla na teren in ju poiskala.

### **Jama Smetišnica**

Jama Smetišnica leži jugovzhodno od požiralnikov v Lokah (GKY = 511270, GKX = 127492), na nadmorski višini 379,6 m. Gre za poševno in stopnjasto brezno, ki ga najdemo na robu gozda, v bližini območja poselitve. Že po imenu kraške jame bi lahko sklepali, da gre za onesnaženo jamo, v kateri je polno odpadkov. V preteklosti je to držalo, v jami je bilo veliko

plastike, pločevine, gospodinjskih odpadkov ter kosti (Hribernik in Bračič 2010, str. 44). Jamo so očistili in poleg nje postavili opozorilno tablo: »Prepovedano odlagati odpadke! V skladu s 13, 18, 23, 45 členom zakona o varstvu podzemnih jam.« Vendar pa je bilo v njeni bližnji okolici 25. 4. 2021 opaziti veliko odloženega gradbenega materiala, med drugim tudi salonitnih plošč in asfalta. Vidni so bili tudi ostanki od kurjenja smeti, plastike. Poleg tega se v bližini nahaja tudi občasen potok, ki je morda tudi eden izmed pritokov v Jamo Pekel.



Slika 10: Jama Smetišnica (Foto: K. Ocepek, 2019)

### **Boštenuhova jama**

Boštenuhova jama se nahaja v naselju Ponikva pri Žalcu, tik za nekdanjo sušilnico hmelja (GKY = 511444, GKX = 128312), na nadmorski višini 385,8 m. Gre za vodoravno jamo, ki je lahko dostopna. Na tleh jame ležijo posamezni kosi odpadkov, vidimo lahko poškodovano jamsko okrasje in podpise na steni jame. Nad jamo se nahaja stanovanjski objekt, na nasprotnem bregu čez cesto pa je večja kmetija. Problem bi morebiti lahko bil v neurejenem odvajanju komunalne vode iz stanovanjskega objekta ter pri izcednih vodah iz gnojišča kmetije.



Slika 11: Boštenuhova jama (Foto: K. Ocepek, 2019)

### 5.3 Rezultati terenskih analiz vode

#### 5.3.1 Terenske analize vode v oktobru 2018

Rezultati terenskih analiz vode 1. vzorčevanja (6. 10. 2018) kažejo, da so bile takrat najnižje izmerjene vrednosti temperature zraka (3,5 °C), pH-vrednosti vode (7,01), koncentracije nitratov (1 mg/l), koncentracije fosfatov (0,1 mg/l) in koncentracije sulfatov (1 mg/l) izmerjene na izviru Ponikvice. Najnižje izmerjene vrednosti temperature vode (7,5 °C) so bile izmerjene pred požiralnikom v Lokah, koncentracije fosfatov (0,1 mg/l) pa so bile tukaj enake kot na izviru Ponikvice. Najvišje izmerjene koncentracije nitratov (5 mg/l) so bile izmerjene pred požiralnikom v Lokah. Najvišje izmerjene vrednosti temperature vode (9,4 °C), pH-vrednosti vode (8,19), koncentracije fosfatov (0,2 mg/l) in koncentracije sulfatov (7 mg/l) so bile izmerjene v Jami Pekel (rov s podpisi). Na tem vzorčevalnem mestu je bila tudi najvišja temperatura zraka (povprečna temperatura zraka je 10 °C). Koncentracija nitritov in amonija se na vzorčevalnih mestih ni spreminjala ( $\geq 0,02$  mg/l za nitrite in  $\geq 0,05$  mg/l za amonij).

Preglednica 3: Terenske analize meseca oktobra 2018 (Vir: K. Ocepek, 2019)

Datum: 6. 10. 2018	Temp. zraka (°C)	Temp. vode (°C)	pH- vrednost vode	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	PO <sub>4</sub> <sup>3+</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)
Izvir Ponikvice	3,5	8,9	7,01	1	$\geq$ 0,02	$\geq$ 0,05	0,1	1
Pred požiralnikom v Lokah	7,2	7,5	8,10	5	$\geq$ 0,02	$\geq$ 0,05	0,1	6
Jama Pekel (rov s podpisi)	10*	9,4	8,19	2	$\geq$ 0,02	$\geq$ 0,05	0,2	7

\* V kraških jamah so skozi celo leto relativno konstantne temperature zraka, z manjšimi odstopanji, zato je pri rezultatih temperature zraka v Jami Pekel navedena zgolj povprečna temperatura zraka, ki znaša



10 °C. Temperatura zraka je posredovana s strani upravljavca jame, Turističnega društva Šempeter (2019).

### 5.3.2 Terenske analize vode v decembru 2018

Rezultati terenskih analiz vode 2. vzorčevanja (24. 12. 2018) kažejo, da so bile takrat najvišje izmerjene vrednosti temperature vode (8,9 °C), koncentracije nitratov (5 mg/l) in koncentracije sulfatov (5 mg/l) izmerjene na izviru Ponikvice. Na tem vzorčevalnem mestu so bile izmerjene najnižje pH-vrednosti vode (7,30). Najnižje izmerjene vrednosti temperature zraka (3,8 °C), temperature vode (3,4 °C) in koncentracije sulfatov (3 mg/l) so bile izmerjene pred požiralnikom v Lokah. Najvišje izmerjene pH-vrednosti vode (8,7) so bile izmerjene v Jami Pekel, koncentracije sulfatov (5 mg/l) pa so bile tukaj enake kot na izviru Ponikvice. V Jami Pekel je bila tudi najvišja temperatura zraka (povprečna temperatura zraka je 10 °C). Koncentracija nitritov, amonija in fosfatov se na vzorčevalnih mestih ni spreminjala ( $\geq 0,02$  mg/l za nitrite,  $\geq 0,05$  mg/l za amonij in 0,1 mg/l za fosfate).

Preglednica 4: Terenske analize meseca decembra 2018 (Vir: K. Ocepek, 2019)

Datum: 24. 12. 2018	Temp. zraka (°C)	Temp. vode (°C)	pH- vrednost vode	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	PO <sub>4</sub> <sup>3+</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)
Izvir Ponikvice	4,1	8,9	7,30	5	$\geq$ 0,02	$\geq$ 0,05	0,1	5
Pred požiralnikom v Lokah	3,8	3,4	8,42	3	$\geq$ 0,02	$\geq$ 0,05	0,1	3
Jama Pekel (rov s podpisi)	10*	6,9	8,7	1	$\geq$ 0,02	$\geq$ 0,05	0,1	5

### 5.3.3 Terenske analize vode v marcu 2019

Rezultati terenskih analiz vode 3. vzorčevanja (30. 3. 2019) kažejo, da so bile takrat najnižje izmerjene pH-vrednosti vode (6,83), koncentracije nitratov (1 mg/l), koncentracije fosfatov (0,2 mg/l) in koncentracije sulfatov (9 mg/l) izmerjene na izviru Ponikvice. Najvišje izmerjene vrednosti temperature zraka (17,3 °C), pH-vrednosti vode (6,85), koncentracije nitratov (5 mg/l) in koncentracije fosfatov (0,5 mg/l) so bile izmerjene pred požiralnikom v Lokah. Na tem vzorčevalnem mestu so bile izmerjene najnižje vrednosti temperature vode (8,9 °C). Najvišje izmerjene vrednosti temperature vode (11,1 °C) in koncentracije sulfatov (16 mg/l) so bile izmerjene v Jami Pekel (rov s podpisi), koncentracije nitratov (5 mg/l) pa so bile tukaj enake kot pred požiralnikom v Lokah. V Jami Pekel je bila tudi najvišja temperatura zraka (povprečna temperatura zraka je 10 °C). Najnižje izmerjene pH-vrednosti vode (6,83) so bile na tem vzorčevalnem mestu enake kot na izviru Ponikvice. Koncentracija nitritov in amonija se na vzorčevalnih mestih ni spreminjala ( $\geq 0,02$  mg/l za nitrite in  $\geq 0,05$  mg/l za amonij).

Preglednica 5: Terenske analize meseca marca 2019 (Vir: K. Ocepek, 2019)

Datum: 30. 3. 2019	Temp. zraka (°C)	Temp. vode (°C)	pH- vrednost vode	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	PO <sub>4</sub> <sup>3+</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)
Izvir Ponikvice	12,5	10,6	6,83	1	≥ 0,02	≥ 0,05	0,2	9
Pred požiralnikom v Lokah	17,3	8,9	6,85	5	≥ 0,02	≥ 0,05	0,5	14
Jama Pekel (rov s podpisi)	10*	11,1	6,83	5	≥ 0,02	≥ 0,05	0,3	16

### 5.3.4 Terenske analize vode v juniju 2019

Rezultati terenskih analiz vode 4. vzorčevanja (24. 6. 2019) kažejo, da so bile takrat najnižje izmerjene vrednosti temperature vode (11,2 °C), pH-vrednosti vode (7,35), koncentracije nitratov (0,5 mg/l) in koncentracije sulfatov (8 mg/l) izmerjene na izviru Ponikvice. Najvišje izmerjene temperature zraka (24 °C), temperature vode (12,5 °C), koncentracije nitratov (5 mg/l) in koncentracije sulfatov (17 mg/l) so bile izmerjene pred požiralnikom v Lokah. Na tem vzorčevalnem mestu so bile izmerjene najnižje koncentracije fosfatov (0,1 mg/l). Najvišje izmerjene pH-vrednosti vode (7,54) in koncentracije fosfatov (1 mg/l) so bile izmerjene v Jami Pekel (rov s podpisi), koncentracije nitratov (5 mg/l) pa so bile tukaj enake kot pred požiralnikom v Lokah. V Jami Pekel je bila tudi najvišja temperatura zraka (povprečna temperatura zraka je 10 °C). Koncentracija nitritov in amonija se na vzorčevalnih mestih ni spreminjala.

Preglednica 6: Terenske analize meseca junija 2019 (Vir: K. Ocepek, 2019)

Datum: 24. 6. 2019	Temp. zraka (°C)	Temp. vode (°C)	pH- vrednost vode	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	PO <sub>4</sub> <sup>3+</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)
Izvir Ponikvice	19,5	11,2	7,35	0,5	≥ 0,02	≥ 0,05	0,2	8
Pred požiralnikom v Lokah	24	12,5	7,42	5	≥ 0,02	≥ 0,05	0,1	17
Jama Pekel (rov s podpisi)	10*	12	7,54	5	≥ 0,02	≥ 0,05	1	14

### 5.3.5 Terenske analize vode v septembru 2019

Rezultati terenskih analiz vode 5. vzorčevanja (21. 9. 2019) kažejo, da so bile takrat najnižje izmerjene vrednosti temperature zraka (2,8 °C), pH-vrednosti vode (6,95), koncentracije nitratov (1 mg/l), koncentracije fosfatov (0,1 mg/l) in koncentracije sulfatov (2 mg/l) izmerjene na izviru Ponikvice. Najvišje izmerjene koncentracije nitratov (5 mg/l) so bile izmerjene pred požiralnikom v Lokah, koncentracije fosfatov (0,1 mg/l) pa so bile tukaj enake kot na izviru Ponikvice. Najvišje izmerjene vrednosti temperature vode (11,6 °C), pH-vrednosti vode (8,18), koncentracije fosfatov (0,2 mg/l) in koncentracije sulfatov (6 mg/l) so bile izmerjene v Jami Pekel (rov s podpisi). Na tem vzorčevalnem mestu je bila tudi najvišja temperatura zraka (povprečna temperatura zraka je 10 °C). Izmerjene koncentracije nitratov (5 mg/l) so bile tukaj enake kot pred požiralnikom v Lokah. Koncentracija nitritov in amonija se na vzorčevalnih mestih ni spreminjala.

Preglednica 7: Terenske analize meseca septembra 2019 (Vir: K. Ocepek, 2019)

Datum: 21. 9. 2019	Temp. zraka (°C)	Temp. vode (°C)	pH- vrednost vode	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	PO <sub>4</sub> <sup>3+</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)
Izvir Ponikvice	2,8	10,6	6,95	1	≥ 0,02	≥ 0,05	0,1	2
Pred požiralnikom v Lokah	4,8	8,9	8,07	5	≥ 0,02	≥ 0,05	0,1	3
Jama Pekel (rov s podpisi)	10*	11,6	8,18	5	≥ 0,02	≥ 0,05	0,2	6

#### 5.4 Statistična obdelava podatkov

S to metodo sem si pomagala razumeti nihanja posameznih izmerjenih sklopov spremenljivk in odnose med spremenljivkami kot kazalniki posameznega onesnaženja.

V preglednici 8 je statistična analiza najvišjih izmerjenih vrednosti rezultatov, najnižja vrednost rezultatov, aritmetična sredina in njena standardna napaka, mediana in njen standardni odklon, koeficient asimetrije in koeficient sploščenosti. Iz osnovne statistične obravnave je razvidno odstopanje od normalno porazdeljenih podatkov za rezultate, ki sem jih označila, zato rezultate obravnavamo kot asimetrično porazdeljene. Zato te nadalje analiziramo z neparametričnimi metodami, kot ustrezno srednjo vrednost pa uporabimo mediano.

Preglednica 8: Statistična porazdelitev podatkov (Vir: K. Ocepek, 2021)

	N	Najvišja vrednost	Najnižja Vrednost	Aritmetična sredina	Stand. napaka aritmetične sredine	Mediana	Stand. odklon	K. asimetrije	K. sploščenosti
Veljaven Manjkajoč									
v2 Temp. zraka (°C)	15	0	24,00	2,80	9,97	1,61539	10,00	6,25639	,945 ,374
v3 Temp. vode (°C)	15	0	12,50	3,40	9,49	,60533	9,40	2,34444	<b>-1,205</b> <b>2,048</b>
v4 pH-vrednost vode	15	0	8,70	6,83	7,58	,16534	7,42	,64035	,297 <b>-1,384</b>
v5 NO <sub>3</sub> (mg/l)	15	0	5,00	,50	3,30	,50662	<b>5,00</b>	1,96214	-,366 <b>-1,967</b>
v6 NO <sub>2</sub> (mg/l)	15	0	1,00	1,00	1,00	0,00000	1,00	0,00000	
v7 NH <sub>4</sub> (mg/l)	15	0	1,00	1,00	1,00	0,00000	1,00	0,00000	
v8 PO <sub>4</sub> (mg/l)	15	0	1,00	,10	0,23	,06208	0,10	,24044	<b>2,769</b> <b>8,244</b>
v9 SO <sub>4</sub> (mg/l)	15	0	17,00	1,00	7,73	1,34330	<b>6,00</b>	5,20256	,642 -,859

Pri mediani se za koncentracijo nitratnih ionov in koncentracijo fosfatnih ionov kaže drugačen rezultat kot pri njuni aritmetični sredini (mediana je večja oz. manjša od aritmetične sredine), kar nakazuje na nenormalno (asimetrično) porazdelitev teh dveh spremenljivk. S koeficientom asimetrije ugotavljamo porazdelitev spremenljivke, ki je lahko asimetrična v levo (koeficient je manjši od nič), simetrična (koeficient je enak nič) ali asimetrična v desno (koeficient je večji od nič). S koeficientom sploščenosti pa ugotavljamo, če je porazdelitev spremenljivke koničasta (koeficient je večji od nič), normalna (koeficient je enak nič) ali sploščena (koeficient je manjši kot nič). Iz koeficienta asimetrije v preglednici je razvidno, da se kažejo velika odstopanja od

normalne porazdelitve podatkov pri temperaturi vode (-1,205 – asimetrična v levo) in pri koncentraciji fosfatnih ionov (2,769 – asimetrična v desno). Iz koeficienta sploščenosti v preglednici je razvidno, da se kažejo velika odstopanja od normalne porazdelitve podatkov pri temperaturi vode (2,048 – koničasta), pH-vrednosti vode (-1,384 – sploščena), koncentraciji nitratnih ionov (-1,967 – sploščena) in pri koncentraciji fosfatnih ionov (8,244 – koničasta).

Želela sem ugotoviti, če se kaže povezanost med posameznimi spremenljivkami, zato sem uporabila Pearsonov korelacijski koeficient. Pri dveh spremenljivkah (koncentraciji nitritnih ionov in koncentraciji amonijevih ionov) so bili rezultati pod mejo zaznavnosti analitske metode, zato njihove povezanosti z drugimi fizikalno-kemijskimi parametri ni mogoče preverjati. Preglednica 9 prikazuje korelacijsko matriko povezanosti-kemijskih parametrov ne glede na obdobje in lokacijo izvedenih meritev. Sivo obarvani kvadrati v preglednici pomenijo, da povezava med dvema paramoma spremenljivk ni statistično značilna. Zeleno obarvani kvadrati v preglednici pomenijo, da je povezava med dvema paramoma spremenljivk statistično značilna.

Preglednica 9: Korelacijska matrika povezanosti fizikalno-kemijskih parametrov ne glede na obdobje in lokacijo meritev (Vir: K. Ocepek, 2021)

		v2 Temp. zraka (°C)	v3 Temp. vode (°C)	v4 pH- vrednost vode	v5 NO3 (mg/l)	v6 NO2 (mg/l)	v7 NH4 (mg/l)	v8 PO4 (mg/l)	v9 SO4 (mg/l)
v2 Temp. zraka (°C)	r	1	,500	-,195	,079	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	,199	,749**
	p (2-stransko)		,058	,486	,779			,478	,001
	N	15	15	15	15	15	15	15	15
v3 Temp. vode (°C)	r	,500	1	-,519*	,135	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	,358	,544*
	p (2-stransko)	,058		,047	,632			,191	,036
	N	15	15	15	15	15	15	15	15
v4 pH-vrednost vode	r	-,195	-,519*	1	,052	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	-,213	-,366
	p (2-stransko)	,486	,047		,854			,445	,180
	N	15	15	15	15	15	15	15	15
v5 NO3 (mg/l)	r	,079	,135	,052	1	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	,315	,463
	p (2-stransko)	,779	,632	,854				,253	,082
	N	15	15	15	15	15	15	15	15
v6 NO2 (mg/l)	r	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>
	p (2-stransko)								
	N	15	15	15	15	15	15	15	15
v7 NH4 (mg/l)	r	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>
	p (2-stransko)								
	N	15	15	15	15	15	15	15	15
v8 PO4 (mg/l)	r	,199	,358	-,213	,315	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	1	,554*
	p (2-stransko)	,478	,191	,445	,253				,032
	N	15	15	15	15	15	15	15	15
v9 SO4 (mg/l)	r	,749**	,544*	-,366	,463	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	,554*	1
	p (2-stransko)	,001	,036	,180	,082			,032	
	N	15	15	15	15	15	15	15	15

\*\* Korelacija je značilna pri stopnji 0,01 (2-stransko).

\* Korelacija je značilna pri stopnji 0,05 (2-stransko).

a. Izračun ni mogoč, ker je vsaj ena od spremenljivk konstanta.

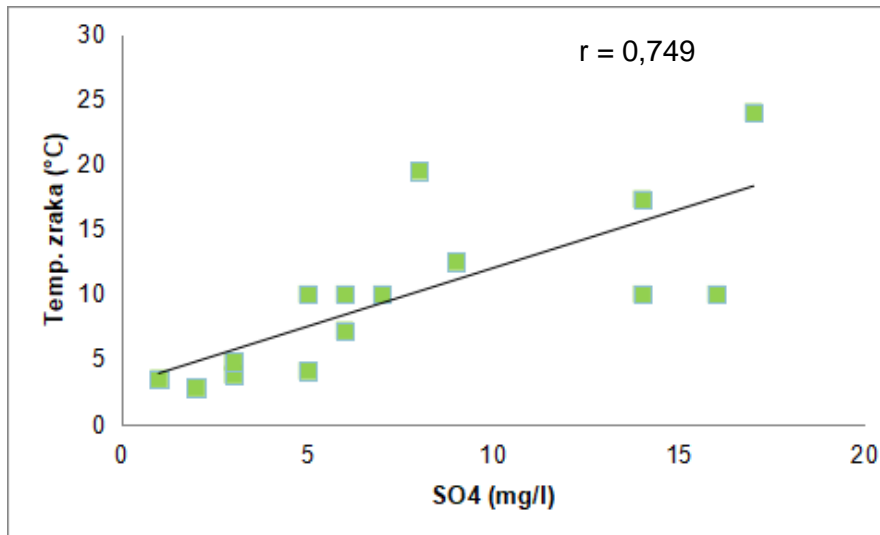
Legenda:

Sivo obarvani kvadrati: povezanost ni statistično značilna

Zelena obarvani kvadrati: statistično značilna povezanost para spremenljivk

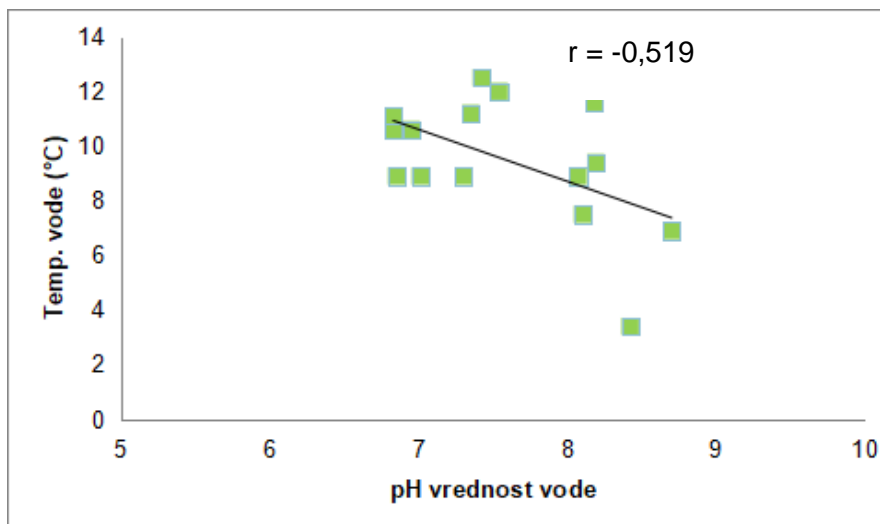
Iz rezultatov korelacijske matrike je razvidno, da večina fizikalno-kemijskih parametrov pri stopnji 0,05 med seboj ni statistično značilno povezanih. Ugotavljam štiri statistično značilne povezanosti:

**Temperatura zraka je statistično značilno povezana s koncentracijo sulfatnih ionov ( $p = 0,001$ ).** Povezanost med spremenljivkama je pozitivna in močna ( $r = 0,749$ ) – višja kot je temperatura zraka, višja je tudi koncentracija sulfatnih ionov (in obratno).



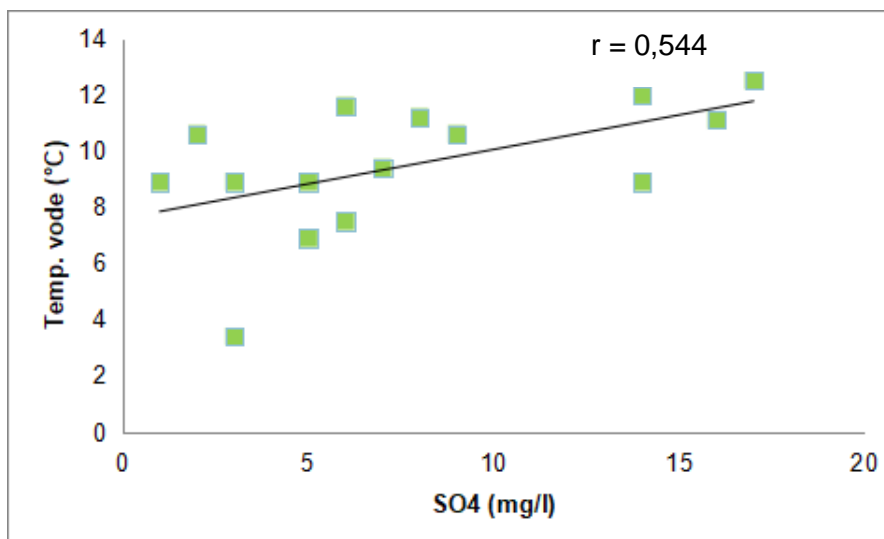
Slika 12: Statistično značilna povezanost med temperaturo zraka in koncentracijo sulfatnih ionov ne glede na obdobje in lokacijo meritev (Vir: K. Ocepek, 2021)

**Temperatura vode je statistično značilno povezana s pH-vrednostjo vode ( $p = 0,047$ ).** Povezanost med spremenljivkama je negativna in srednje močna ( $r = -0,519$ ) – višja kot je temperatura vode, nižja je pH-vrednost vode (in obratno).



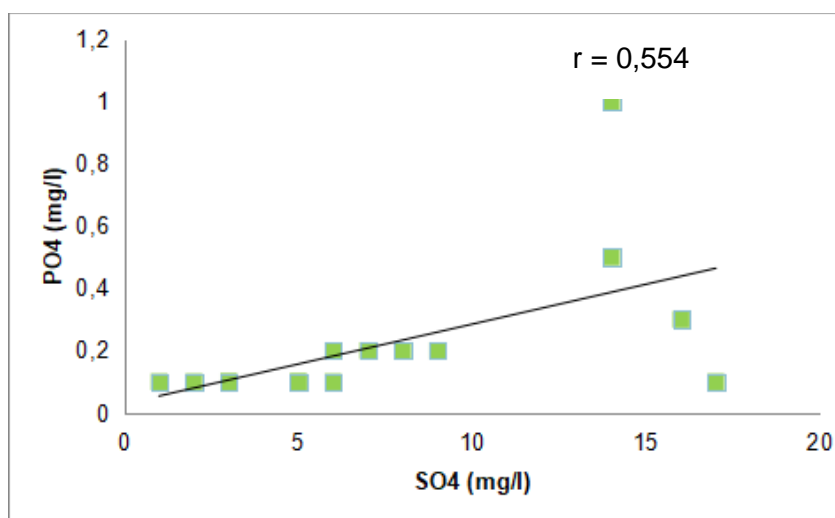
Slika 13: Statistično značilna povezanost med temperaturo vode in pH-vrednostjo ne glede na obdobje in lokacijo meritev (Vir: K. Ocepek, 2021)

**Temperatura vode je statistično značilno povezana s koncentracijo sulfatnih ionov ( $p = 0,036$ ).** Povezanost med spremenljivkama je pozitivna in srednje močna ( $r = 0,544$ ) – višja kot je temperatura vode, višja je tudi koncentracija sulfatnih ionov (in obratno).



Slika 14: Statistično značilna povezanost med temperaturo vode in koncentracijo sulfatnih ionov ne glede na obdobje in lokacijo meritev (Vir: K. Ocepek, 2021)

**Koncentracija fosfatnih ionov je statistično značilno povezana s koncentracijo sulfatnih ionov ( $p = 0,032$ ).** Povezanost med spremenljivkama je pozitivna in srednje močna ( $r = 0,554$ ) – višja kot je koncentracija fosfatnih ionov, višja je tudi koncentracija sulfatnih ionov (in obratno).



Slika 15: Statistično značilna povezanost med koncentracijo fosfatnih ionov in koncentracijo sulfatnih ionov ne glede na obdobje in lokacijo meritev (Vir: K. Ocepek, 2021)

V nadaljevanju sem analizirala tudi povezanost fizikalno-kemijskih parametrov glede na posamezno lokacijo terenskih analiz vode. Posebej je prikazana korelacijska matrika povezanosti fizikalno-kemijskih parametrov na izviru Ponikvice, pred požiralnikom v Lokah in v pritočnem delu Jame Pekel (rov s podpisami). Na izviru Ponikvice ugotavljam dve statistično značilni povezanosti, pred požiralnikom v Lokah eno statistično značilno povezanost in v Jami Pekel ponovno dve statistični povezanosti med fizikalno-kemijskimi parametri.

Preglednica 10: Korelacijska matrika povezanosti fizikalno-kemijskih parametrov na izviru Ponikvice (Vir: K. Ocepek, 2021)

Lokacija meritev		v2 Temp. zraka (°C)	v3 Temp. vode (°C)	v4 pH- vrednost vode	v5 NO3 (mg/l)	v6 NO2 (mg/l)	v7 NH4 (mg/l)	v8 PO4 (mg/l)	v9 SO4 (mg/l)	
Izvir Ponikvice	v2 Temp. zraka (°C)	r	1	,720	,316	-,424	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	,939 <sup>*</sup>	,833
		p (2-stransko)		,170	,604	,477			,018	,080
		N	5	5	5	5	5	5	5	5
	v3 Temp. vode (°C)	r	,720	1	-,073	-,647	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	,734	,569
		p (2-stransko)	,170		,907	,238			,158	,317
		N	5	5	5	5	5	5	5	5
	v4 pH-vrednost vode	r	,316	-,073	1	,426	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	,008	,150
		p (2-stransko)	,604	,907		,474			,990	,810
		N	5	5	5	5	5	5	5	5
	v5 NO3 (mg/l)	r	-,424	-,647	,426	1	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	-,467	-,057
		p (2-stransko)	,477	,238	,474				,428	,927
		N	5	5	5	5	5	5	5	5
	v6 NO2 (mg/l)	r	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>
		p (2-stransko)								
		N	5	5	5	5	5	5	5	5
	v7 NH4 (mg/l)	r	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>
		p (2-stransko)								
		N	5	5	5	5	5	5	5	5
	v8 PO4 (mg/l)	r	,939 <sup>*</sup>	,734	,008	-,467	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	1	,904 <sup>*</sup>
		p (2-stransko)	,018	,158	,990	,428				,035
		N	5	5	5	5	5	5	5	5
	v9 SO4 (mg/l)	r	,833	,569	,150	-,057	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	,904 <sup>*</sup>	1
		p (2-stransko)	,080	,317	,810	,927		,035		
		N	5	5	5	5	5	5	5	5

\*\*Korelacija je značilna pri stopnji 0,01 (2-stransko).

\*Korelacija je značilna pri stopnji 0,05 (2-stransko).

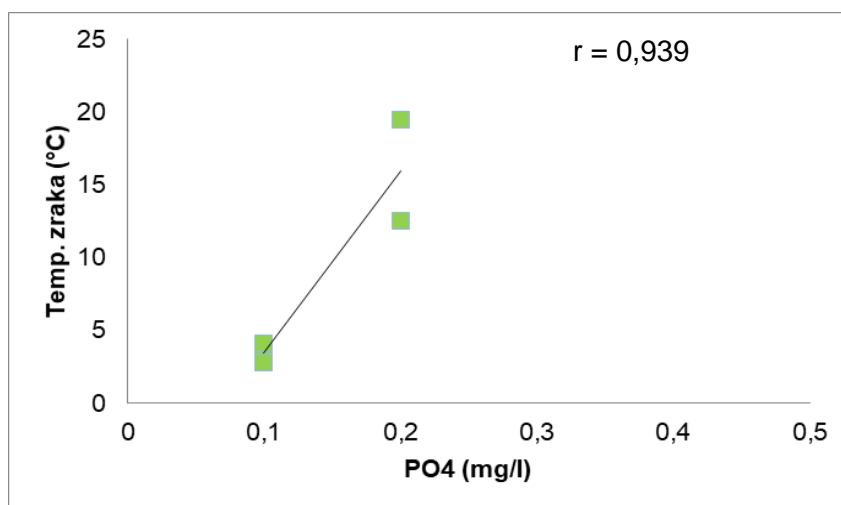
a. Izračun ni mogoč, ker je vsaj ena od spremenljivk konstanta.

Legenda:

Sivo obarvani kvadratki: povezanost ni statistično značilna

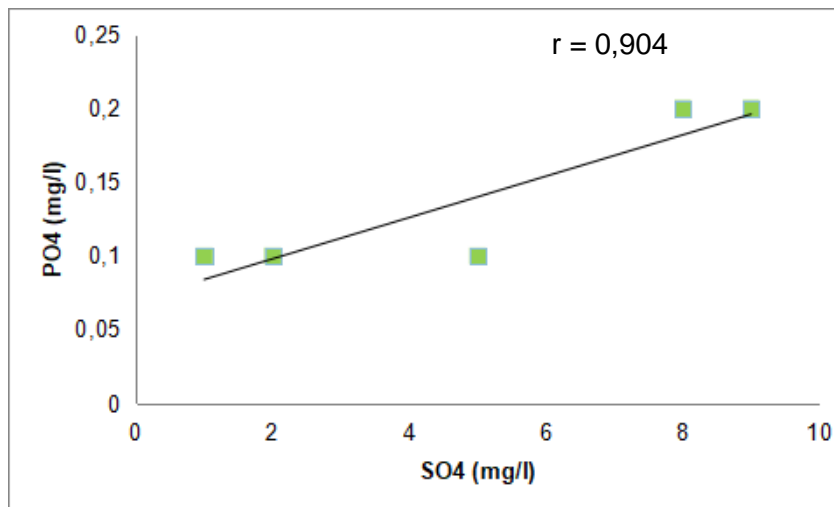
Zelena obarvani kvadratki: statistično značilna povezanost para spremenljivk

**Temperatura zraka je statistično značilno povezana s koncentracijo fosfatnih ionov (p = 0,018).** Povezanost med spremenljivkama je pozitivna in zelo močna (r = 0,939) –višja kot je temperatura zraka, višja je tudi koncentracija fosfatnih ionov (in obratno).



Slika 16: Statistično značilna povezanost med temperaturo zraka in koncentracijo fosfatnih ionov na izviru Ponikvice (Vir: K. Ocepek, 2021)

**Koncentracija fosfatnih ionov je statistično značilno povezana s koncentracijo sulfatnih ionov ( $p = 0,035$ ).** Povezanost med spremenljivkama je pozitivna in zelo močna ( $r = 0,904$ ) – višja kot je prisotnost fosfatnih ionov, višja je tudi koncentracija sulfatnih ionov (in obratno).



Slika 17: Statistično značilna povezanost med koncentracijo fosfatnih ionov in koncentracijo sulfatnih ionov na izviru Ponikvice (Vir: K. Ocepek, 2021)

Preglednica 11: Korelacijska matrika povezanosti fizikalno-kemijskih parametrov pred požiralnikom v Lokah (Vir: K. Ocepek, 2021)

Lokacija meritev		v2 Temp. zraka (°C)	v3 Temp. vode (°C)	v4 pH- vrednost vode	v5 NO3 (mg/l)	v6 NO2 (mg/l)	v7 NH4 (mg/l)	v8 PO4 (mg/l)	v9 SO4 (mg/l)	
Pred požiralnikom v Lokah	v2 Temp. zraka (°C)	r	1	,803	-,814	,482	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	,372	,992**
		p (2-stransko)		,102	,094	,411			,538	,001
		N	5	5	5	5	5	5	5	5
	v3 Temp. vode (°C)	r	,803	1	-,640	,825	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	,113	,758
		p (2-stransko)	,102		,245	,085			,857	,137
		N	5	5	5	5	5	5	5	5
	v4 pH-vrednost vode	r	-,814	-,640	1	-,575	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	-,817	-,859
		p (2-stransko)	,094	,245		,311			,091	,062
		N	5	5	5	5	5	5	5	5
	v5 NO3 (mg/l)	r	,482	,825	-,575	1	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	,250	,481
		p (2-stransko)	,411	,085	,311				,685	,412
		N	5	5	5	5	5	5	5	5
	v6 NO2 (mg/l)	r	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>
		p (2-stransko)								
		N	5	5	5	5	5	5	5	5
	v7 NH4 (mg/l)	r	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>
		p (2-stransko)								
		N	5	5	5	5	5	5	5	5
	v8 PO4 (mg/l)	r	,372	,113	-,817	,250	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	1	,464
		p (2-stransko)	,538	,857	,091	,685				,431
		N	5	5	5	5	5	5	5	5
	v9 SO4 (mg/l)	r	,992**	,758	-,859	,481	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	,464	1
		p (2-stransko)	,001	,137	,062	,412			,431	
		N	5	5	5	5	5	5	5	5

\*\*Korelacija je značilna pri stopnji 0,01 (2-stransko).

\*. Korelacija je značilna pri stopnji 0,05 (2-stransko).

a. Izračun ni mogoč, ker je vsaj ena od spremenljivk konstanta.

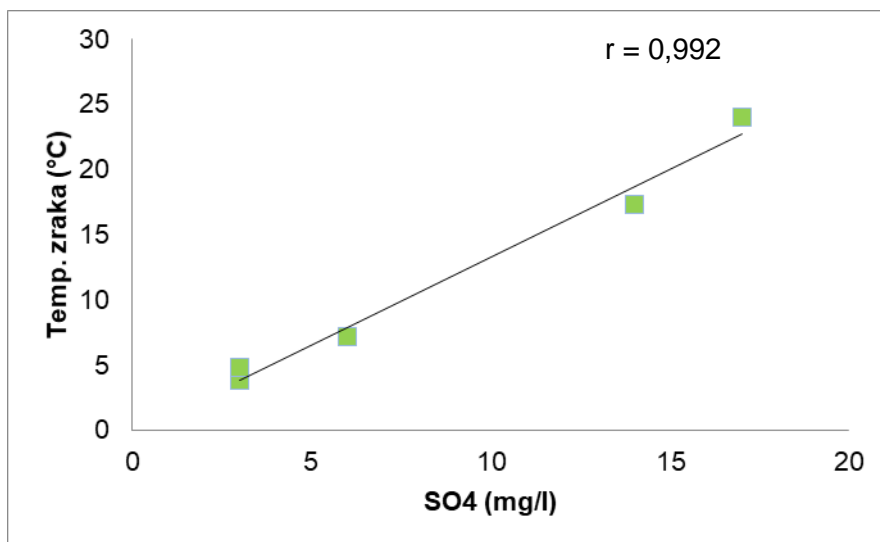


Legenda:

Sivo obarvani kvadrati: povezanost ni statistično značilna

Zeleno obarvani kvadrati: statistično značilna povezanost para spremenljivk

**Temperatura zraka je statistično značilno povezana s koncentracijo sulfatnih ionov ( $p = 0,001$ ).** Povezanost med spremenljivkama je pozitivna in zelo močna ( $r = 0,992$ ) – višja kot je temperatura zraka, višja je tudi prisotnost sulfatnih ionov (in obratno).



Slika 18: Statistično značilna povezanost med temperaturo zraka in koncentracijo sulfatnih ionov pred požiralnikom v Lokah (Vir: K. Ocepek, 2021)

Preglednica 12: Korelacijska matrika povezanosti fizikalno-kemijskih parametrov v Jami Pekel (Vir: K. Ocepek, 2021)

Lokacija meritev		v2 Temp. zraka (°C)	v3 Temp. vode (°C)	v4 pH-vrednost vode	v5 NO3 (mg/l)	v6 NO2 (mg/l)	v7 NH4 (mg/l)	v8 PO4 (mg/l)	v9 SO4 (mg/l)	
Jama Pekel	v2 Temp. zraka (°C)	r	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	
	p (2-stransko)									
	N	5	5	5	5	5	5	5	5	
	v3 Temp. vode (°C)	r	. <sup>a</sup>	1	-,678	,955*	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	,609	,615
	p (2-stransko)				,209	,011			,276	,270
	N	5	5	5	5	5	5	5	5	
	v4 pH-vrednost vode	r	. <sup>a</sup>	-,678	1	-,739	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	-,443	-,957*
	p (2-stransko)			,209		,153			,455	,011
	N	5	5	5	5	5	5	5	5	
	v5 NO3 (mg/l)	r	. <sup>a</sup>	,955*	-,739	1	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	,535	,668
	p (2-stransko)			,011	,153				,353	,218
	N	5	5	5	5	5	5	5	5	
	v6 NO2 (mg/l)	r	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>
	p (2-stransko)									
	N	5	5	5	5	5	5	5	5	
	v7 NH4 (mg/l)	r	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>
	p (2-stransko)									
	N	5	5	5	5	5	5	5	5	
	v8 PO4 (mg/l)	r	. <sup>a</sup>	,609	-,443	,535	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	1	,630
	p (2-stransko)			,276	,455	,353				,255
	N	5	5	5	5	5	5	5	5	
	v9 SO4 (mg/l)	r	. <sup>a</sup>	,615	-,957*	,668	. <sup>a</sup>	. <sup>a</sup>	,630	1
	p (2-stransko)			,270	,011	,218			,255	
	N	5	5	5	5	5	5	5	5	

\*\*Korelacija je značilna pri stopnji 0,01 (2-stransko).

\*. Korelacija je značilna pri stopnji 0,05 (2-stransko).

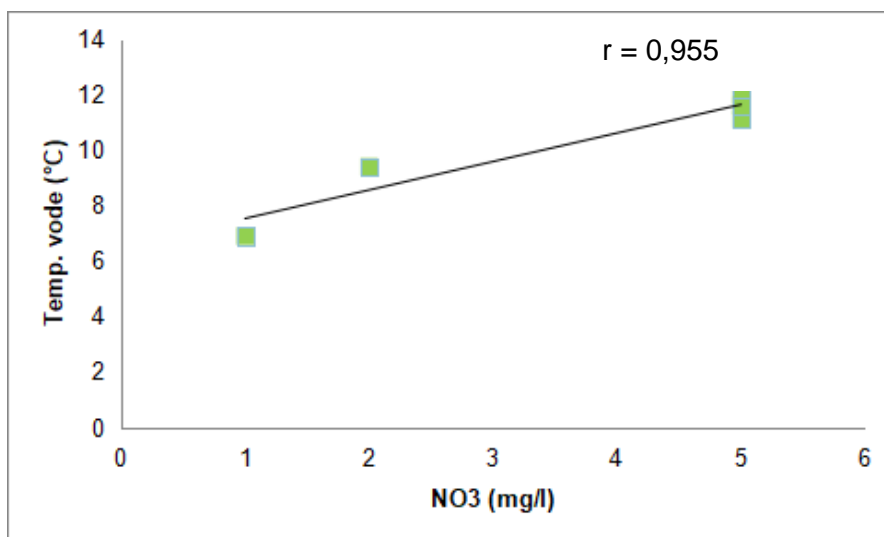
a. Izračun ni mogoč, ker je vsaj ena od spremenljivk konstanta.

Legenda:

Sivo obarvani kvadrati: povezanost ni statistično značilna

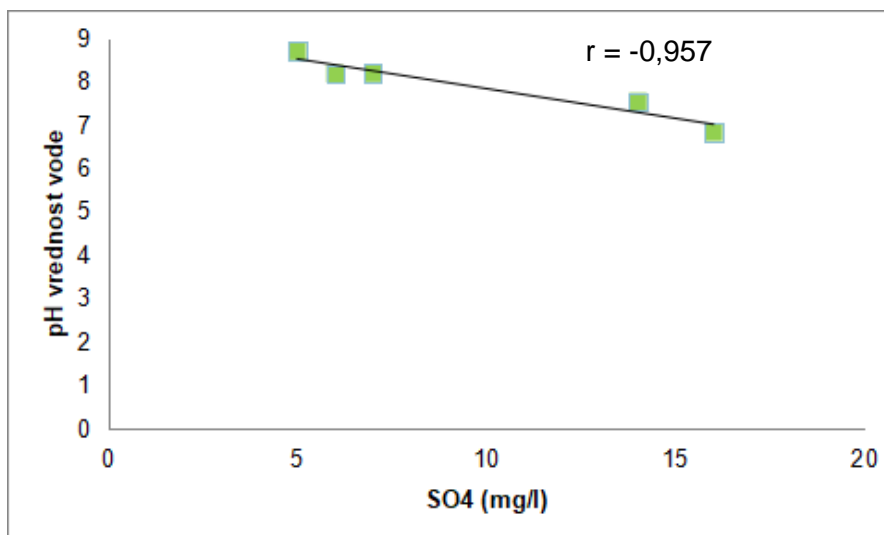
Zeleno obarvani kvadrati: statistično značilna povezanost para spremenljivk

**Temperatura vode je statistično značilno povezana s koncentracijo nitratnih ionov ( $p = 0,011$ ).** Povezanost med spremenljivkama je pozitivna in zelo močna ( $r = 0,955$ ) – višja kot je temperatura vode, višja je tudi koncentracija nitratnih ionov (in obratno).



Slika 19: Statistično značilna povezanost med temperaturo vode in koncentracijo nitratnih ionov v Jami Pekel (Vir: K. Ocepek, 2021)

**pH-vrednost vode je statistično značilno povezana s koncentracijo sulfatnih ionov ( $p = 0,011$ ).** Povezanost med spremenljivkama je negativna in zelo močna ( $r = -0,957$ ) –višja kot je pH-vrednost vode, nižja je koncentracija sulfatnih ionov (in obratno).



Slika 20: Statistično značilna povezanost med pH-vrednostjo in koncentracijo sulfatnih ionov v Jami Pekel (Vir: K. Ocepek, 2021)

V preglednici 13 so prikazane statistično značilne povezave med spremenljivkami na izviru Ponikvice, pred požiralnikom v Lokah in v Jami Pekel. Prikazane so tudi vse statistično značilne povezave med spremenljivkami ne glede na obdobje in lokacijo meritev.

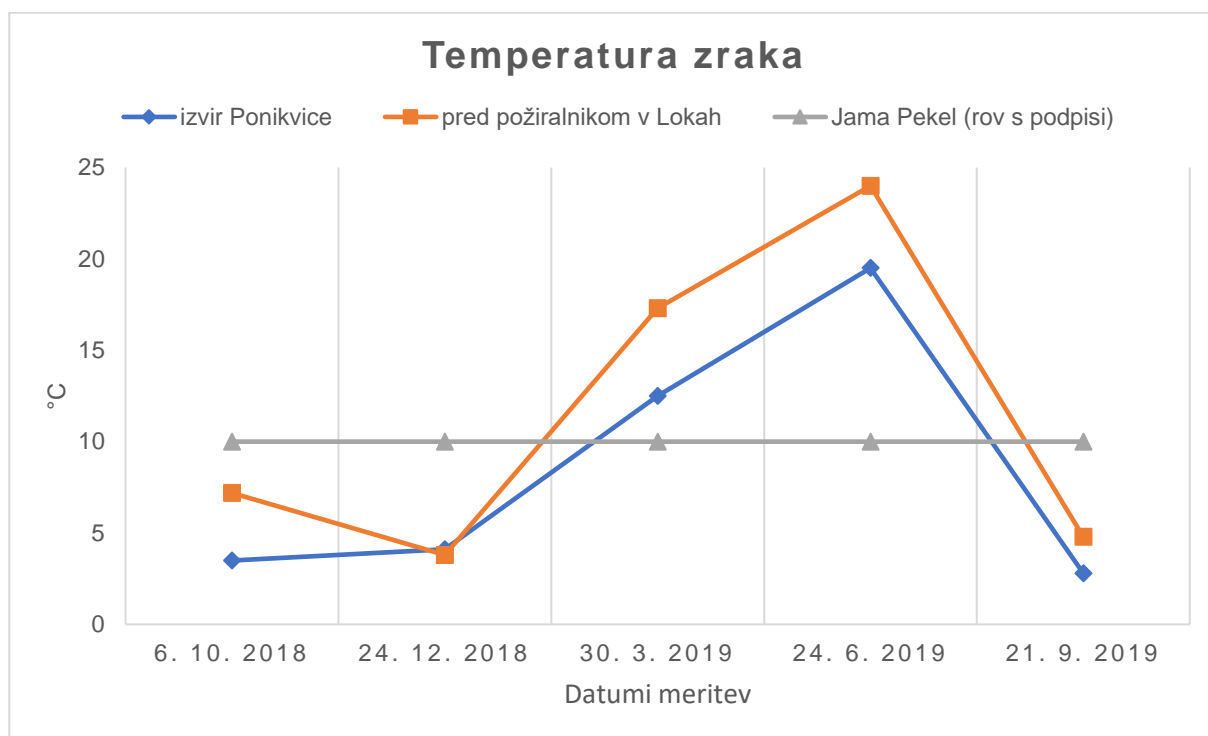
Preglednica 13: Prikaz vseh statističnih povezav med spremenljivkami (Vir: K. Ocepek, 2021)

Lokacija meritev	Spremenljivka 1	Spremenljivka 2	r	p (2-stransko)	N
Izvir Ponikvice	v2 Temp. zraka (°C)	v8 PO4 (mg/l)	,939*	,018	5
	v9 SO4 (mg/l)	v8 PO4 (mg/l)	,904*	,035	5
Pred požiralnikom v Lokah	v2 Temp. zraka (°C)	v9 SO4 (mg/l)	,992**	,001	5
Jama Pekel (rov s podpisi)	v3 Temp. vode (°C)	v5 NO3 (mg/l)	,955*	,011	5
	v4 pH-vrednost vode	v9 SO4 (mg/l)	-,957*	,011	5
Ne glede na obdobje in lokacijo meritev	v2 Temp. zraka (°C)	v9 SO4 (mg/l)	,749**	,001	15
	v3 Temp. vode (°C)	v4 pH-vrednost vode	-,519*	,047	15
	v3 Temp. vode (°C)	v9 SO4 (mg/l)	,544*	,036	15
	v8 PO4 (mg/l)	v9 SO4 (mg/l)	,554*	,032	15

## 6 RAZPRAVA

### 6.1 Temperatura zraka

Temperatura zraka se vseskozi spreminja in je odvisna od številnih zunanjih dejavnikov npr. od nadmorske višine, vremenskih razmer, letnih časov. Temperatura zraka se je na izviru Ponikvice gibala med 2,8 °C in 19,5 °C in pred požiralnikom v Lokah med 3,8 °C in 24 °C. V Jami Pekel je povprečna temperatura zraka 10 °C, temperatura zraka je preko celega leta relativno konstantna, z manjšimi odstopanji. 24. 6. 2019 je bila izmerjena najvišja temperatura zraka na izviru Ponikvice (19,5 °C) in pred požiralnikom v Lokah (24 °C), kar sovpada z letnim časom. Najnižja temperatura zraka 2,8 °C na izviru Ponikvice 21. 9. 2019 sovpada z najvišjo nadmorsko višino vzorčevalnih mest (378,9 m), časom vzorčenja in vremenskimi razmerami (zelo hladno jutro, vetrovno). Najnižja temperatura zraka 24. 12. 2018 pred požiralnikom v Lokah (3,8 °C) sovpada z letnim časom.

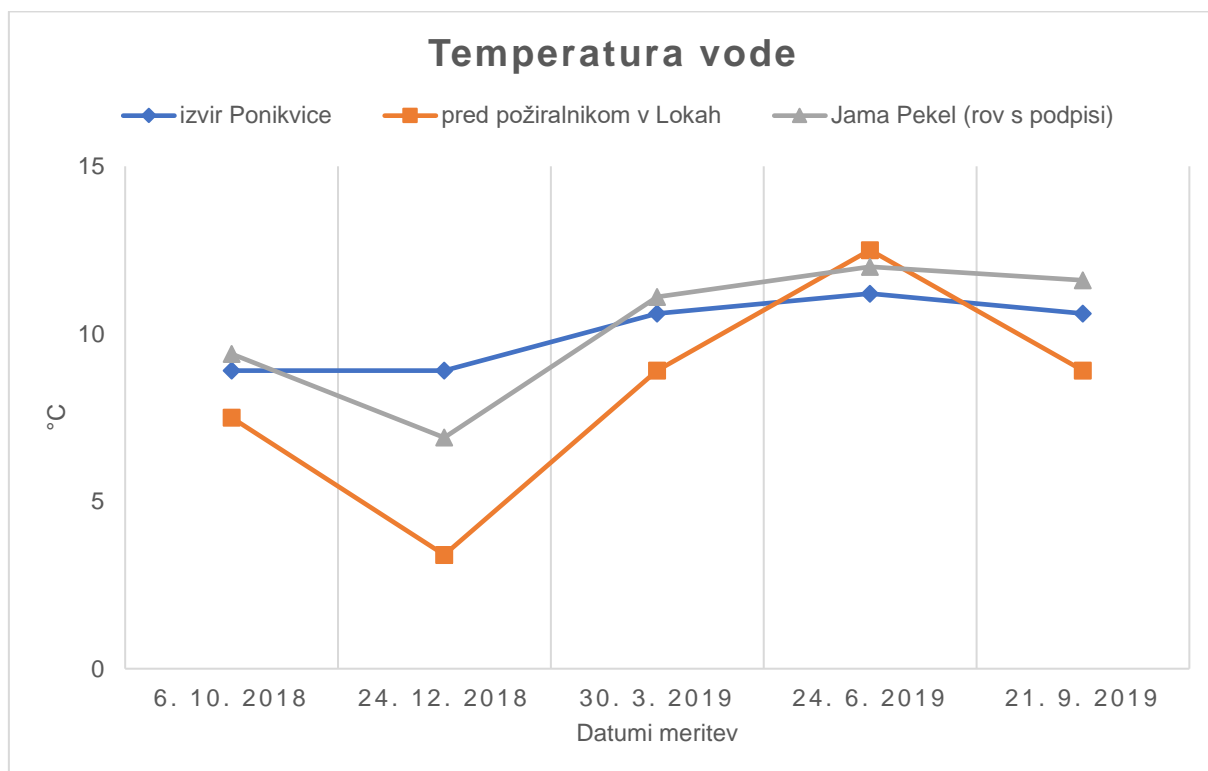


Graf 2: Prikaz temperature zraka v času terenskih meritev (Vir: K. Ocepek, 2019)

Iz rezultatov statistične analize je razvidno, da je temperatura zraka statistično značilno povezana s koncentracijo sulfatnih ionov (ne glede na obdobje in lokacijo meritev), s koncentracijo fosfatnih ionov na izviru Ponikvice ter s koncentracijo sulfatnih ionov pred požiralnikom v Lokah (preglednica 13). Ocenjujem, da je povezanost teh spremenljivk odvisna od lege vzorčevalnih mest, letnega časa in s tem od sezonske dejavnosti v kmetijstvu. Od spomladi do poleti temperature zraka namreč naraščajo, tla se ogrejejo in so primerna za setev. Takrat kmetje intenzivno gnojijo kmetijske površine, ob močnejših padavinah pa se hranila izpirajo v bližnje potoke ali pa skupaj s padavinsko vodo pronicajo v podzemlje. Nepravilna uporaba gnoja, gnojnice, sulfatnih pripravkov in drugih umetnih gnojil ima za posledico naraščanje koncentracije fosfatnih in sulfatnih ionov v vodi. Izključiti pa ne velja niti neurejenega odvajanja komunalnih odpadnih voda ob intenzivnih padavinah (spomladi in poleti), ki bi prav tako lahko bil vzrok za povečane koncentracije teh snovi v vodi.

## 6.2 Temperatura vode

Temperatura vode je odvisna od številnih zunanjih dejavnikov, npr. od temperature zraka, otokov in dotokov vode s površja, antropogenih vplivov (Urbančič in Toman 2003, str. 23–24). Temperatura vode se je na izviru Ponikvice gibala med 8,9 °C in 11,2 °C, pred požiralnikom v Lokah med 3,4 °C in 12,5 °C ter v Jami Pekel med 6,9 °C in 12 °C. 24. 6. 2019 je bila najvišja izmerjena temperatura vode na izviru Ponikvice (11,2 °C), pred požiralnikom v Lokah (12,5 °C) in v Jami Pekel (12 °C), kar sovпада z letnim časom in naraščajočo temperaturo zraka na prvih dveh vzorčevalnih mestih. Na temperaturo vode pred požiralniki lahko vpliva tudi njihova lokacija, locirani so namreč na odprtem, kjer je mogoča večja absorpcija sončevega sevanja in podvrženost vremenskim vplivom. Na izviru Ponikvice je temperatura vode le malo nihala, kar bi lahko razlagala s tem, da je ob izvirih na površju temperatura talne vode približno enaka povprečni letni zračni temperaturi kraja (Urbančič in Toman 2003, str. 23–24). 6. 10. 2018 in 24. 12. 2018 je bila najnižja temperatura vode na izviru Ponikvice (8,9 °C), kar sovпада z nizko temperaturo zraka, najvišjo nadmorsko višino in časom vzorčenja. Poleg tega je 24. 12. 2018 možen tudi vpliv krajše plohe na temperaturo vode, ki je sicer pred vzorčenjem na drugem vzorčevalnem mestu že ponehala. 24. 12. 2018 je bila najnižja temperatura vode pred požiralnikom v Lokah (3,4 °C), kar sovпада z letnim časom, nizkimi temperaturami zraka, poleg tega pa prav tako ni izključen vpliv plohe. Tega meseca je bila najnižja temperatura vode tudi v Jami Pekel (6,9 °C), kar kaže na odvisnost podzemne vode od zunanjih sprememb.



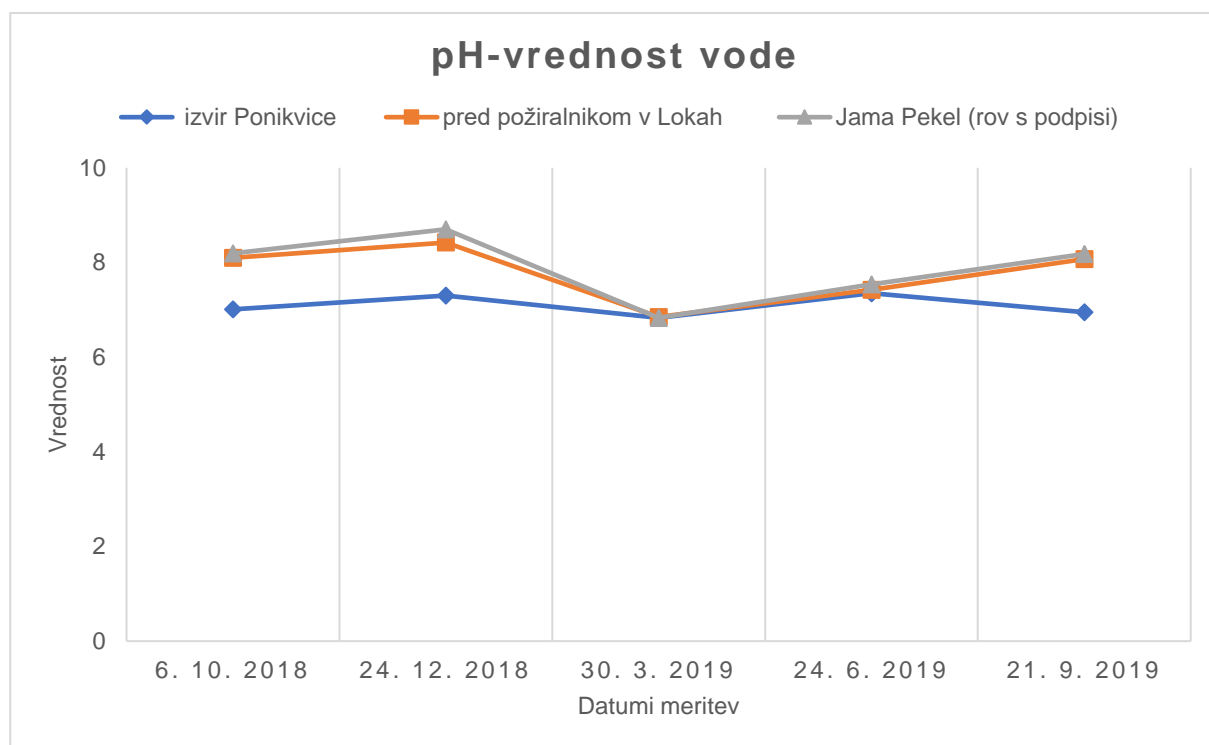
Graf 3: Prikaz temperature vode v času terenskih meritev (Vir: K. Ocepek, 2019)

Iz rezultatov statistične analize je razvidno, da je temperatura vode statistično značilno povezana s pH-vrednostjo in s koncentracijo sulfatnih ionov (ne glede na obdobje in lokacijo meritev) ter s koncentracijo nitratnih ionov v Jami Pekel (preglednica 13). Ocenjujem, da je povezanost teh spremenljivk odvisna od temperature zraka, lokacije vzorčevalnih mest, letnega časa in posredno tudi od kmetijske dejavnosti. Namreč spomladi in poleti se temperatura zraka in vode postopno zvišuje, kar pospeši potek kemijskih reakcij v vodi, izhlapevanje ter razkroj organskih snovi v vodi (Urbančič in Toman 2003, str. 23–24). Spomladi in poleti kmetje intenzivno gnojijo kmetijske površine, kar ob padavinah vodi do izpiranja gnojil

v bližnje potoke ali pronicanje v podzemlje. To se lahko odraža z naraščanjem koncentracij sulfatnih ionov in nitratnih ionov v vodi. Zniževanje pH-vrednosti pa lahko nakazuje na obremenitev vode z gnojili. Izključen ni niti vpliv komunalnih odplak.

### 6.3 pH-vrednost vode

Kislost ali bazičnost voda je pretežno odvisna od naravnega ravnotežja med  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$  in  $\text{CO}_3^{2-}$ . Nanjo lahko vplivajo tudi človekove dejavnosti npr. industrijska dejavnost in onesnaževanje zraka (Urbančič in Toman 2003, str. 32–33). pH-vrednost vode se je na izviru Ponikvice gibala med 6,83 in 7,35, pred požiralnikom v Lokah med 6,85 in 8,42 ter v Jami Pekel med 6,83 in 8,7. Najvišje pH-vrednosti vode 24. 6. 2019 na izviru Ponikvice (7,35) in 24. 12. 2018 pred požiralnikom v Lokah (8,42) ter v Jami Pekel (8,7) so lahko posledica geološke podlage, po kateri teče voda, vendar te domneve ne morem ne potrditi ne ovreči, saj v diplomski nalogi ni bila stvar raziskave. Izključene niso niti odplake, ki poleti po obilnejših padavinah dosežejo izvir, pozimi pa se skozi golo kraško površje hitro razširijo v vodo. Najnižje pH-vrednosti vode so bile izmerjene 30. 3. 2019 na vseh treh vzorčevalnih mestih. Te vrednosti so lahko naravnega porekla, saj je za večino naravnih voda značilno, da je njihova pH-vrednost med 6-8,5 (Urbančič in Toman 2003, str. 32–33). Menim pa, da ne bi smeli izključiti tudi možnosti za nižjo pH-vrednost kot posledico obremenitve voda zaradi spiranja gnojil iz kmetijskih površin, saj je bilo le nekaj dni pred vzorčenjem obilno deževje in kmetje so v skladu z Uredbo o varstvu voda pred onesnaževanjem z nitrati iz kmetijskih virov (Uradni list RS, št. 113/09, 5/13, 22/15 in 12/17) tega meseca že lahko gnojili. V času vzorčenja so bili vsi rezultati meritev pH-vrednosti v dopustnem območju za pitno vodo ( $\geq 6,5$  in  $\leq 9,5$ ), v skladu s Pravilnikom o pitni vodi (Uradni list RS, št. 19/04, 35/04, 26/06, 92/06, 25/09, 74/15, 51/17).



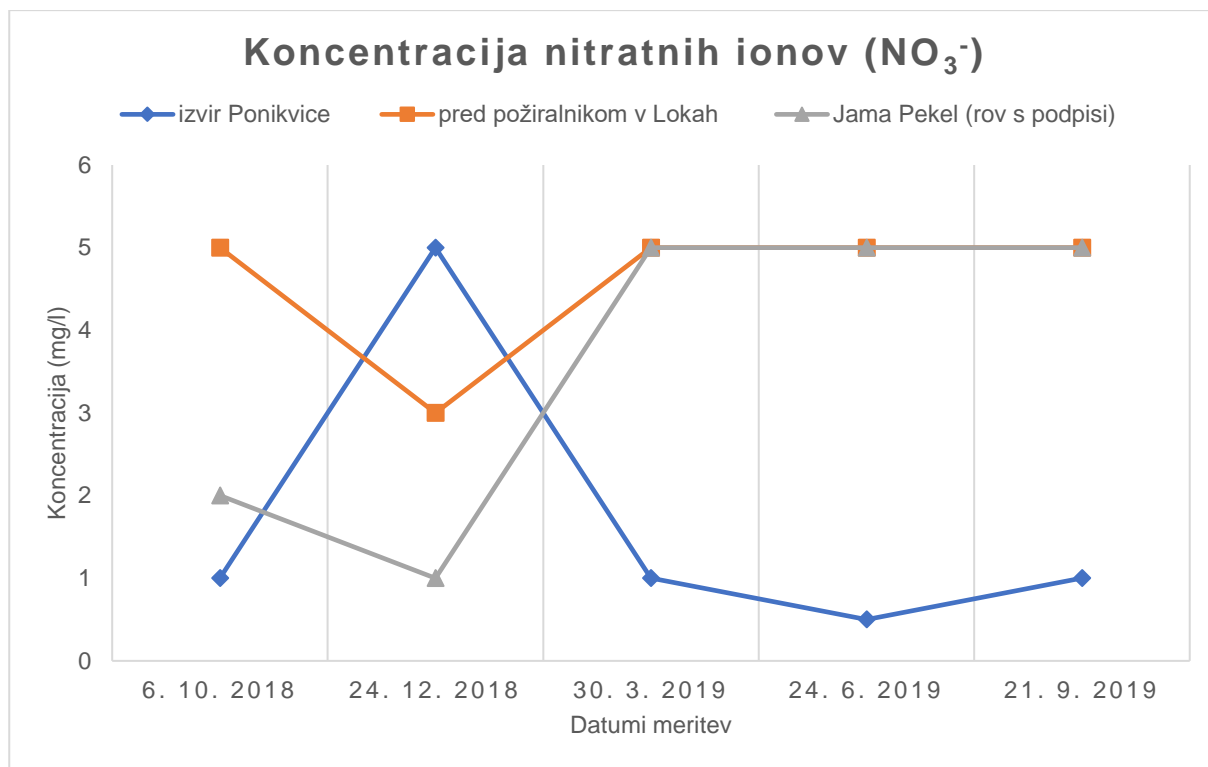
Graf 4: Prikaz pH-vrednosti vode v času terenskih meritev (Vir: K. Ocepek, 2019)

Iz rezultatov statistične analize je razvidno, da je pH-vrednost vode statistično značilno povezana s temperaturo vode (ne glede na obdobje in lokacijo meritev) in s koncentracijo sulfatnih ionov v Jami Pekel (preglednica 13). Predvidevam, da na povezanost teh spremenljivk vpliva letni čas s temperaturami zraka in posredno gnojenje v kmetijstvu ter poraslost njiv. Spomladi in poleti temperatura zraka in temperatura vode naraščata, tla so močno porasla z vegetacijo, zato gnojila in komunalne odplake potrebujejo dalj časa, da

prodrejo do vode skozi površje, če ni močnejših padavin. V primeru močnejših in dolgotrajnejših padavin se onesnažila, ki izvirajo iz neurejenega kanalizacijskega sistema in iz kmetijske dejavnosti, hitro izperejo v vode ter jih obremenijo, kar se lahko odraža v spremembi pH-vrednosti. Pozno jeseni in pozimi je površje bolj ali manj golo, kar omogoča onesnažilom, da se hitreje razširijo v vodo. Vendar pa pozimi gnojenje ni dovoljeno, zato lahko na pH-vrednost vode vplivajo komunalne odplake in onesnažila, povezana z njimi. Le-ta se lahko dalj časa zadržijo v slabše prepustnih delih vodonosnika, ob obilnejših padavinah pa svojo pot nadaljujejo proti vodnim virom. Nizka koncentracija sulfatnih ionov ob naraščanju pH-vrednostih v Jami Pekel je verjetno naravnega izvora, kot posledica kamninske zgradbe, po kateri teče voda.

#### **6.4 Nitratni ioni**

Nitrati naravno vstopijo v površinske vode z razkrojem organskih snovi, s spiranjem površin, ter z raztapljanjem vulkanskih kamnin. Antropogeni viri nitratov izhajajo zaradi kmetijstva, komunalnih in industrijskih odpadnih voda (Urbančič in Toman 2003, str. 37). V podzemnih vodah so lahko nitrati naravno prisotni (geološka sestava vodonosnikov), na povišane koncentracije pa vplivajo človekove dejavnosti (ARSO 2020). Koncentracija nitratnih ionov se je na izviru Ponikvice gibala med 0,50 mg/l in 5 mg/l, pred požiralnikom v Lokah med 3 mg/l in 5 mg/l ter v Jami Pekel med 1 mg/l in 5 mg/l. Vrednosti nitratnih ionov na izviru Ponikvice so lahko naravnega izvora, ne smemo pa izključiti niti vpliva gnojenja kmetijskih površin in neprečiščenih komunalnih odpadnih voda iz stanovanjskih objektov nad izviro. Najvišjo vrednost nitratnih ionov 24. 12. 2018 (5 mg/l) na izviru Ponikvice lahko pripišem neprečiščenim komunalnim odpadnim vodam ali pa zadrževanju teh snovi v slabše prepustnih delih kamnine dalj časa (v sušnem obdobju) in posledično prehajanje do izvira (pozimi je tudi kraško površje bolj ali manj golo in te snovi hitreje prodrejo vanj). Vzrok za najnižjo vrednost nitratnih ionov 24. 6. 2019 na izviru Ponikvice (0,50 mg/l) je morebiti v razredčenju koncentracije onesnažila zaradi obilnejših padavin en dan pred vzorčenjem. Povišana koncentracija nitratnih ionov 30. 3. 2019, 24. 6. 2019 in 21. 9. 2019 (5 mg/l) pred požiralnikom v Lokah sovпада s povišano koncentracijo teh ionov v Jami Pekel, saj voda v njih ponikne v jamo. Na območju požiralnikov je bilo namreč 30. 3. 2019 in 24. 6. 2019 opaziti motno, rjavkasto in penasto vodo, ki je imela vonj po gnojnici. Najverjetneje je razlog za povišane koncentracije nitratnih ionov v vodi kmetijska dejavnost, izpiranje gnojil v vodo ob padavinah. K povišani vrednosti nitratnih ionov lahko prispeva tudi neurejen kanalizacijski sistem in razkroj organske snovi (jeseni odpadlo listje, pomladi in poleti vegetacija v potoku). Sklepam, da je voda obremenjena s temi snovmi zaradi človekovih dejavnosti, saj vrednosti nitratnih ionov v neobremenjenih vodah ne presegajo vrednosti 1,0 mg/l (Urbančič in Toman 2003, str. 37). V času vzorčenja so bili vsi rezultati meritev nitratnih ionov v dopustnem območju za pitno vodo (50 mg/l) v skladu s prilogo 1 Pravilnika o pitni vodi (Uradni list RS, št. 19/04, 35/04, 26/06, 92/06, 25/09, 74/15, 51/17), prav tako pa ni bila presežena mejna vrednost 50 mg/l standarda kakovosti o podzemni vodi v skladu s prilogo 2 Uredbe o stanju podzemnih voda (Uradni list RS, št. 25/09, 68/12 in 66/16).



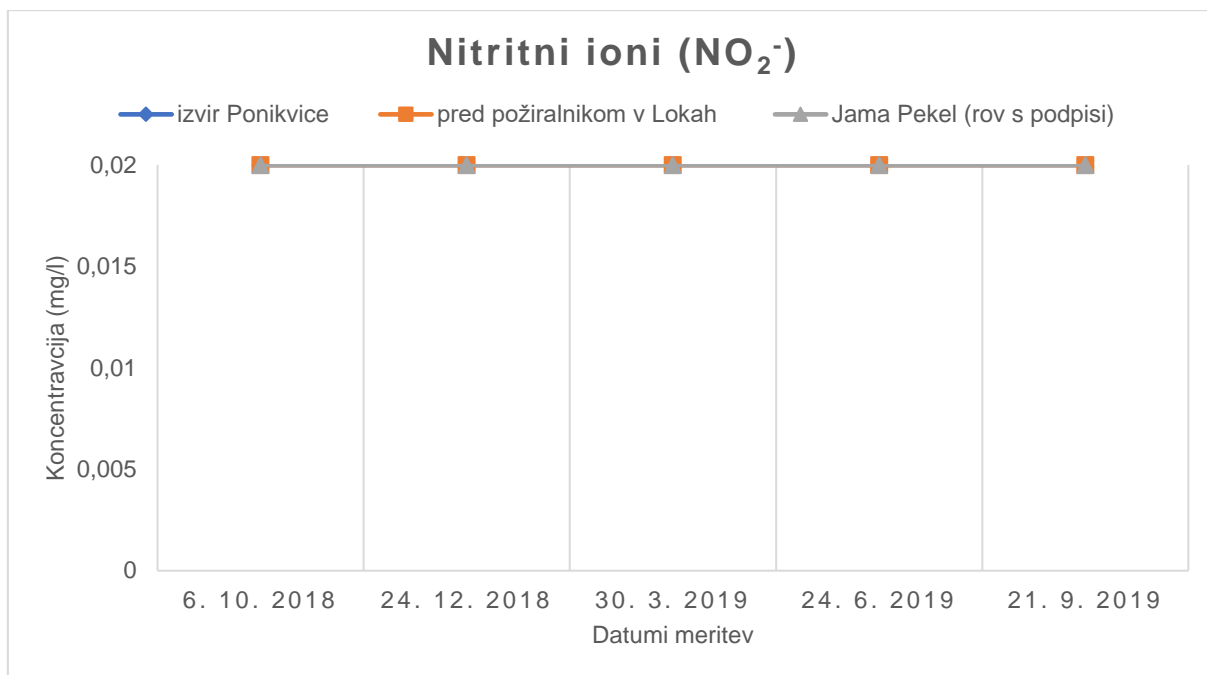
Graf 5: Prikaz koncentracije nitratnih ionov v času terenskih meritev (Vir: K. Ocepek, 2019)

Iz rezultatov statistične analize je razvidno, da je koncentracija nitratnih ionov statistično značilno povezana s temperaturo vode v Jami Pekel (preglednica 13). Z naraščajočo temperaturo vode se povečuje koncentracija nitratnih ionov v vzorcih vode. Predvidevam, da je tudi povezanost teh spremenljivk odvisna od temperature zraka, letnega časa in od sezonske dejavnosti v kmetijstvu. Spomladi in poleti se temperatura zraka in temperatura vode postopno zvišuje, tla postanejo primerna za obdelovanje, začne se gnojenje kmetijskih površin z gnojili. Ob močnejših padavinah nekaj dni pred vzorčenjem (spomladi in poleti) so se ta onesnažila izpirala iz kmetijskih površin nad izvirov Ponkvice (neposredno nad izvirov je bila v času vzorčenja njiva s koruzo) kot tudi v bližini požiralnikov ter tako dosegla potok in nadaljevala svojo pot do požiralnikov, kjer voda ponika neposredno v Jamo Pekel, kar so dokazali tudi sledilni poskusi na tem območju. Spomladi in poleti sem namreč tukaj opazila rjavkasto, motno in penasto vodo z vonjem po gnojnici. Niso izključene niti komunalne odplake, saj Ponikovski kras še nima urejenega javnega kanalizacijskega sistema (JKP Žalec d. o. o., osebna komunikacija, 2. 6. 2020). Poleg antropogenih virov je na koncentracije nitratov v podzemni vodi možen tudi vpliv razkroja organskih snovi in geološka sestava vodonosnika.

## 6.5 Nitritni ioni

Nitritni ioni so del dušikovega kroga in so v vodi dobro topni. Nastanejo pri razgradnji organskih dušikovih spojin pod aerobnimi pogoji v procesu nitrifikacije, kjer se najprej amonijak oksidira do nitritov in nato nadalje do nitratov (NIJZ<sub>2</sub> 2014). Koncentracije nitritnih ionov se na izvirov Ponkvice, pred požiralnikom v Lokah in v Jami Pekel niso spreminjale; bile so  $\geq 0,02$  mg/l. Nespremenjene koncentracije nitritov in amonija v vodnem vzorcu ter naraščanje nitratnih ionov kaže na starejše onesnaženje, proces nitrifikacije pa je napredoval do druge stopnje, kjer so se nitritni ioni že pretvorili do nitratnih ionov (Vovk Korže in Bricelj 2004, str. 43). Vsi rezultati meritev nitritnih ionov so bili v dopustnem območju za pitno vodo (0,50 mg/l) v skladu s prilogo 1 Pravilnika o pitni vodi (Uradni list RS, št. 19/04, 35/04, 26/06, 92/06, 25/09, 74/15, 51/17). Povezanosti koncentracije nitritnih ionov z drugimi fizikalno-kemijskimi parametri ni mogoče izračunati, saj so bili rezultati pod mejo zaznavnosti analitske metode.

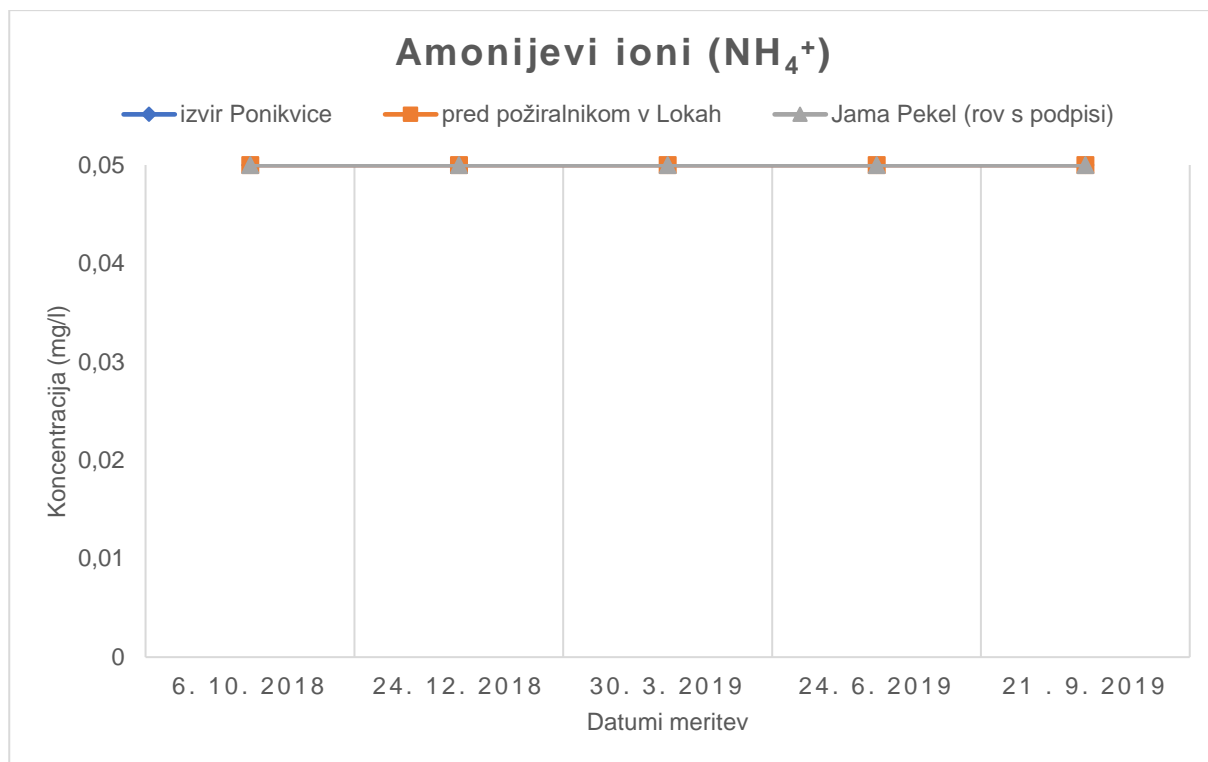




Graf 6: Prikaz koncentracije nitritnih ionov v času terenskih meritev (Vir: K. Ocepek, 2019)

## 6.6 Amonijevi ioni

Amonij v vodi je lahko posledica razkroja organskih snovi, antropogeni viri pa lahko nakazujejo na kmetijsko, komunalno ali industrijsko onesnaževanje (NIJZ<sub>1</sub> 2014). Koncentracije amonijevih ionov se na izviri Ponikvice, pred požiralnikom v Lokah in v Jami Pekel niso spreminjale; bile so  $\geq 0,05$  mg/l. Iz tega je razvidno, da imamo opravka s starejšim onesnaženjem, saj je pri sveže onesnaženih vodah prisoten predvsem organski dušik in amonij (Vovk Korže in Bricelj 2004, str. 43). Vsi rezultati amonijevih ionov so bili v dopustnem območju za pitno vodo (0,50 mg/l) v skladu s prilogo 1 Pravilnika o pitni vodi (Uradni list RS, št. 19/04, 35/04, 26/06, 92/06, 25/09, 74/15 in 51/17). Povezanosti koncentracije amonijevih ionov z drugimi fizikalno-kemijskimi parametri ni mogoče izračunati, saj so bili rezultati pod mejo zaznavnosti analitske metode.

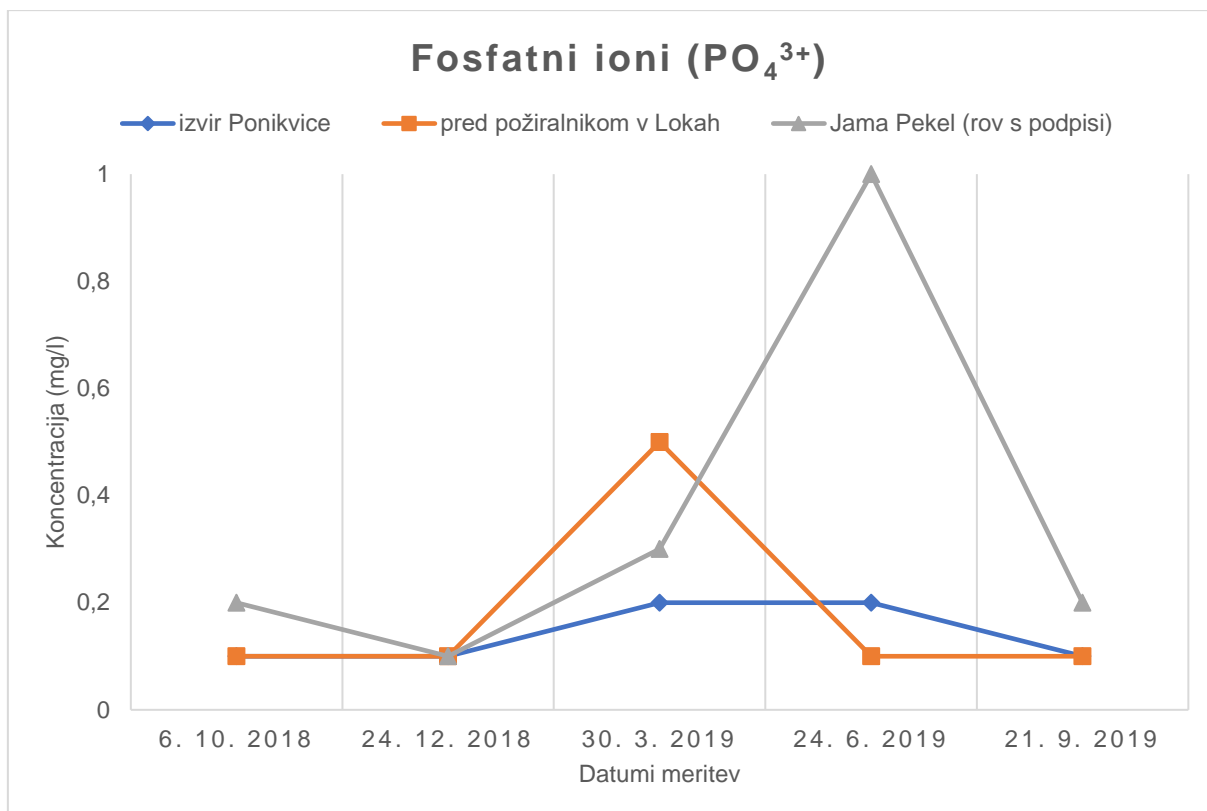


Graf 7: Prikaz koncentracije amonijevih ionov v času terenskih meritev (Vir: K. Ocepek, 2019)

## 6.7 Fosfatni ioni

Naravni vir fosforja v okolju je razgradnja organskih snovi in preperevanje kamnin, antropogeni viri pa izhajajo zaradi spiranja gnojil iz kmetijskih površin ter neočiščenih odpadnih voda (Urbančič in Toman 2003, str. 39–40). Koncentracija fosfatnih ionov se je na izviru Ponikvice gibala med 0,1 mg/l in 0,2 mg/l, pred požiralnikom v Lokah med 0,1 mg/l in 0,5 mg/l ter v Jama Pekel med 0,1 mg/l in 1 mg/l. Vrednosti fosfatnih ionov na izviru Ponikvice se bistveno niso spreminjale in so lahko naravnega izvora, ni izključeno niti spiranje fosfatnih ionov iz umetno gnojnih kmetijskih zemljišč ali celo neprečiščene komunalne odpadne vode iz stanovanjskih objektov nad izviro. Vrednosti fosfatnih ionov so se pred požiralnikom v Lokah bistveno povišale 30. 3. 2019 (0,5 mg/l), v Jama Pekel pa 30. 3. 2019 (0,3 mg/l) ter 24. 6. 2019 (1 mg/l) po obilnejših padavinah nekaj dni pred vzorčenjem.

Povišane koncentracije fosfatnih ionov pred požiralnikom v Lokah in v Jama Pekel so verjetno antropogenega izvora in izhajajo iz kmetijstva (spiranje gnojil iz kmetijskih zemljišč). Tako 30. 3. 2019 kot 24. 6. 2019 je bilo v bližini požiralnikov namreč zaznati motno, rjavkasto in penasto vodo, ki je imela vonj po gnojnici. Na tem območju voda ponikne v podzemlje Jame Pekel, s seboj pa tja prinese tudi onesnažila, ki izvirajo iz njenega zaledja. Poleg kmetijske dejavnosti v zaledju jame bi na vsebnost fosfatnih ionov lahko vplivalo tudi iztekanje neočiščene komunalne odpadne vode v potok, izključena ni niti razgradnja organske snovi v vodi in preperevanje kamnin. Sklepam, da je voda s temi snovmi obremenjena zaradi človekovih dejavnosti, saj v neobremenjenih vodah koncentracije fosfatnih ionov ne presegajo vrednosti 0,1 mg/l. Koncentracije 0,25 mg/l fosfatnih ionov v vodi že kažejo, da imamo opravka z izpiranjem umetnih in naravnih gnojil s kmetijskih površin, s komunalnimi odpadnimi vodami (pralni praški, detergenti, čistila) ali celo z industrijskimi odpadnimi vodami (Urbančič in Toman 2003, str. 39–40). Mejne vrednosti za fosfatne ione s Pravilnikom o pitni vodi (Uradni list RS, št. 19/04, 35/04, 26/06, 92/06, 25/09, 74/15 in 51/17) niso opredeljene.



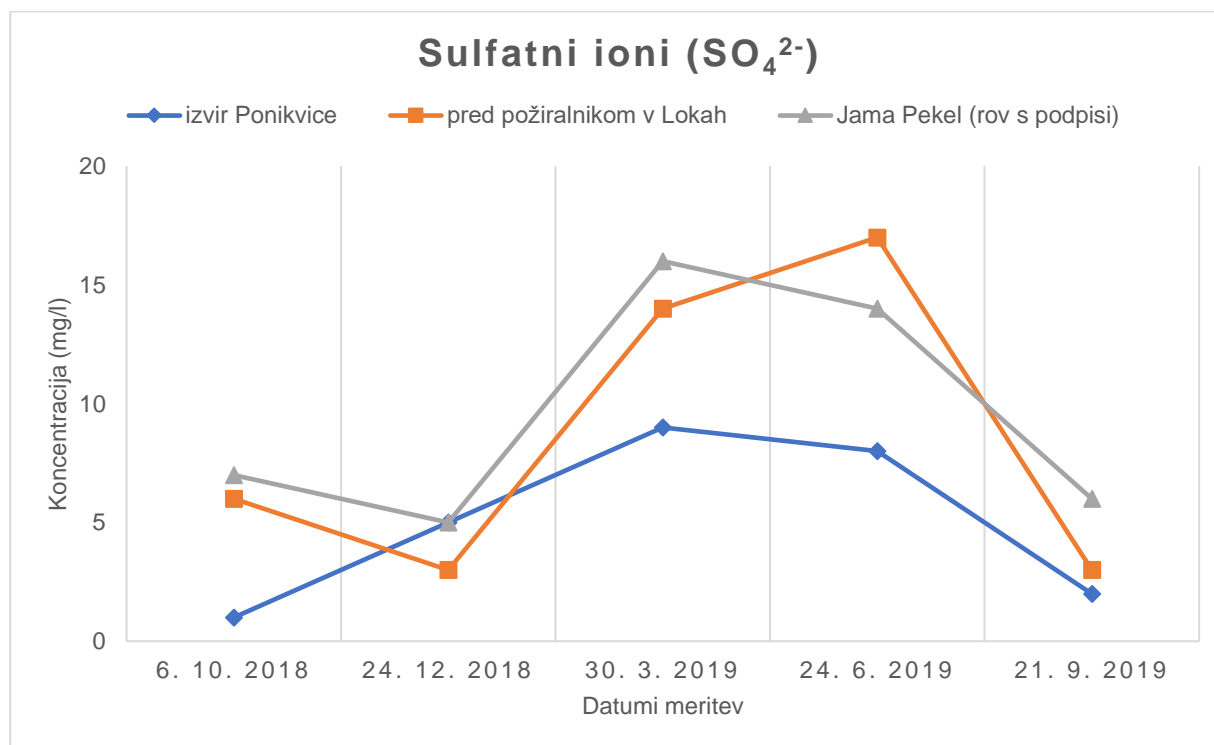
Graf 8: Prikaz koncentracije fosfatnih ionov v času terenskih meritev (Vir: K. Ocepek, 2019)

Iz rezultatov statistične analize je razvidno, da je koncentracija fosfatnih ionov statistično značilno povezana s koncentracijo sulfatnih ionov (ne glede na obdobje in lokacijo meritev) in s temperaturo zraka ter s koncentracijo sulfatnih ionov na izviro Ponikvice (preglednica 13). Povezanost teh spremenljivk je mogoče pripisati letnim časom in sezonski dejavnosti v kmetijstvu. Kmetje od zgodnje pomladi do pozne jeseni za oskrbo rastlin uporabljajo različne pripravke na osnovi dušika, fosforja, sulfatne pripravke, ki ob prekomerni uporabi in nepravilnem času gnojenja zlahka onesnažijo vodne vire. Nad izviro Ponikvice so kmetijske površine, preko katerih onesnažila ob močnejših padavinah prodrejo do nenasičene cone vodonosnika, kjer se skozi številne razpoke in kanalčke skupaj z vodo pretakajo proti izviro. Kmetijskemu onesnaževanju se tukaj priključijo tudi neочиščene odpadne vode iz stanovanjskih objektov nad izviro. Onesnažila nato svojo pot skupaj z vodo nadaljujejo vse do ponornega območja Ponikvice, kjer poniknejo v Jama Pekel. V manjši meri na te spremenljivke lahko vpliva tudi razgradnja organskih snovi v vodi.

## 6.8 Sulfatni ioni

Naravni vir sulfatnih ionov v vodah je preperevanje kamnin, antropogeni viri pa izhajajo iz odpadnih voda, odpadkov ter onesnaževanja ozračja (NIJZ<sub>1</sub> 2014). Koncentracija sulfatnih ionov se je na izviro Ponikvice gibala med 1 mg/l in 9 mg/l, pred požiralnikom v Lokah med 3 mg/l in 17 mg/l ter v Jama Pekel med 5 mg/l in 16 mg/l. Vrednosti sulfatnih ionov na izviro Ponikvice so lahko naravnega izvora (posledica kamninske zgradbe), lahko pa nanje vplivajo neprečiščene komunalne odpadne vode iz stanovanjskih objektov nad izviro ali uporaba sulfatnih pripravkov v kmetijstvu. Pred požiralnikom v Lokah so se vrednosti sulfatnih ionov bistveno povišale 30. 3. 2019 (14 mg/l) ter 24. 6. 2019 (17 mg/l) po obilnejših padavinah nekaj dni pred vzorčenjem. Povišana koncentracija sulfatnih ionov pred požiralnikom v Lokah sovпада s povišano koncentracijo teh ionov v Jama Pekel 30. 3. 2019 (16 mg/l) in 24. 6. 2019 (14 mg/l), saj voda v požiralnikih ponikne v podzemlje Jame Pekel. Že v preteklosti so v sklopu nesistematičnih meritev pretoka Peklenščice med drugim izmerili tudi dokaj visoke koncentracije sulfatnih ionov v deževnih obdobjih oz. v obdobjih odjuge, vendar so jih pripisali

neposrednemu onesnaževanju z naravnimi organskimi snovmi (Novak 1977, str. 26). Menim, da so povišane koncentracije sulfatnih ionov verjetno antropogenega izvora in izhajajo iz neurejenega kanalizacijskega sistema, kmetijstva, morda pa v manjši meri tudi od odloženega gradbenega materiala v potoku. V času vzorčenja so bili vsi rezultati meritev sulfatnih ionov v dopustnem območju za pitno vodo (250 mg/l) v skladu s prilogo 1 Pravilnika o pitni vodi (Uradni list RS, št. 19/04, 35/04, 26/06, 92/06, 25/09, 74/15 in 51/17). V prilogi 8 Uredbe o stanju površinskih voda (Uradni list RS, št. 14/09, 98/10, 96/13 in 24/16) so sulfatni ioni uvrščeni med posebna onesnaževala, ki določajo ekološko stanje površinskih voda. Mejni vrednosti sulfatnih ionov za zelo dobro ekološko stanje (letna povprečna vrednost je 15 mg/l) in za dobro ekološko stanje (letna povprečna vrednost je 150 mg/l) nista preseženi.



Graf 9: Prikaz koncentracije sulfatnih ionov v času terenskih meritev (Vir: K. Ocepek, 2019)

Iz rezultatov statistične analize je razvidno, da je koncentracija sulfatnih ionov statistično značilno povezana s temperaturo zraka, temperaturo vode in s koncentracijo fosfatnih ionov (ne glede na obdobje in lokacijo meritev). Koncentracija sulfatnih ionov je na izviru Ponikvice statistično značilno povezana s koncentracijo fosfatnih ionov, pred požiralnikom v Lokah s temperaturo zraka, v Jama Pekel pa s pH-vrednostjo (preglednica 13). Z naraščajočimi temperaturami zraka, temperaturami vode in z zviševanjem koncentracije fosfatnih ionov narašča tudi koncentracija sulfatnih ionov. Z naraščanjem koncentracije sulfatnih ionov v Jama Pekel, se niža pH-vrednost. Ponovno lahko povežemo te spremenljivke z letnim časom, vremenskim razmeram (količina padavin) in sezonsko dejavnostjo v kmetijstvu. Možna je tudi obremenitev voda s temi snovi zaradi neprečiščenih komunalnih odpadnih voda, lahko pa so te snovi naravnega izvora in izhajajo zaradi preperevanja kamnin. V Jama Pekel in pred požiralnikom v Lokah se vrednosti sulfatnih ionov kot tudi fosfatnih ionov bistveno povišajo ravno marca in junija po močnih nalivih, zato je lahko malce nižja pH-vrednost povezana z obremenjenostjo vode kot posledica gnojenja v zaledju jame.

## 7 SKLEPNE UGOTOVITVE

Ugotavljam, da Jama Pekel skupaj s svojim hidrogeološkim zaledjem leži na območju Ponikovskega krasa, ki še vedno nima rešenega odvajanja in čiščenja komunalnih odpadnih voda (JKP Žalec d. o. o., osebna komunikacija, 2. 6. 2020). Na potoku Ponikvica oz. Peklenščica ni rednega monitoringa vode, v okviru katerega bi na podlagi določenih lastnosti vode spremljali njeno kemijsko in ekološko stanje.

S terenskimi analizami vode sem v sklopu diplomske naloge želela oceniti, kakšen je vpliv različnih virov onesnaženja na vode v porečju potoka Peklenščica. Moje terenske analize osnovnih fizikalno-kemijskih lastnosti vode so pokazale zgolj trenutne razmere na vzorčevalnih mestih, saj se le-te hitro spreminjajo in so odvisne od številnih dejavnikov. Vzorce vode sem odvzela na izviru Ponikvice, pred požiralnikom v Lokah in v pritočnem delu Jame Pekel (rovu s podpisu). Ugotovila sem, da so nad izvirov potoka kmetijska območja in stanovanjski objekti, ki lahko z neočiščenimi komunalnimi vodami vplivajo na kakovost vode. Zato so se na ponornem območju potoka (pred požiralniki) spomladi pokazale povišane vrednosti onesnažil, ki izvirajo iz kmetijstva. Tam voda ponikne v podzemlje Jame Pekel, skupaj z njo pa tudi onesnažila, ki sem jih zaznala v vodi.

Preglednica 14: Skupni prikaz rezultatov (Vir: K. Ocepek, 2019)

Datum	Lokacija	Padavine (mm)	Opazanja	Temp. zraka (°C)	Temp. vode (°C)	pH-vrednost vode	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	PO <sub>4</sub> <sup>3+</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)
6. 10. 2018	Izvir Ponikvice	55	pojav alg v manjšem obsegu	3,5	8,9	7,01	1	≥ 0,02	≥ 0,05	0,1	1
	Pred požiralnikom v Lokah		pritok odpadne vode	7,2	7,5	8,10	5	≥ 0,02	≥ 0,05	0,1	6
	Jama Pekel (rov s podpisi)		brez posebnosti	10*	9,4	8,19	2	≥ 0,02	≥ 0,05	0,2	7
24. 12. 2018	Izvir Ponikvice	0,9	lokalna ploha	4,1	8,9	7,30	5	≥ 0,02	≥ 0,05	0,1	5
	Pred požiralnikom v Lokah		brez posebnosti	3,8	3,4	8,42	3	≥ 0,02	≥ 0,05	0,1	3
	Jama Pekel (rov s podpisi)		brez posebnosti	10*	6,9	8,7	1	≥ 0,02	≥ 0,05	0,1	5
30. 3. 2019	Izvir Ponikvice	40,1	povečana rast alg v vodi	12,5	10,6	6,83	1	≥ 0,02	≥ 0,05	0,2	9
	Pred požiralnikom v Lokah		gradbeni odpadki; motna, rjavkasta in penasta voda	17,3	8,9	6,85	5	≥ 0,02	≥ 0,05	0,5	14
	Jama Pekel (rov s podpisi)		brez posebnosti	10*	11,1	6,83	5	≥ 0,02	≥ 0,05	0,3	16
24. 6. 2019	Izvir Ponikvice	55,7	motna voda, drugi izvir	19,5	11,2	7,35	0,5	≥ 0,02	≥ 0,05	0,2	8
	Pred požiralnikom v Lokah		narasel potok; motna in rjavkasta voda	24	12,5	7,42	5	≥ 0,02	≥ 0,05	0,1	17
	Jama Pekel (rov s podpisi)		motna voda	10*	12	7,54	5	≥ 0,02	≥ 0,05	1	14
21. 9. 2019	Izvir Ponikvice	44,8	povečana rast alg v vodi	2,8	10,6	6,95	1	≥ 0,02	≥ 0,05	0,1	2
	Pred požiralnikom v Lokah		brez posebnosti	4,8	8,9	8,07	5	≥ 0,02	≥ 0,05	0,1	3
	Jama Pekel (rov s podpisi)		brez posebnosti	10*	11,6	8,18	5	≥ 0,02	≥ 0,05	0,2	6

Iz mojih terenskih opažanj je razvidno, da se spomladi in jeseni na prvem vzorčevalnem mestu v večjem obsegu pojavljajo alge, kar je lahko posledica povečane koncentracije hranil v vodi. Poleti je bilo vzorčevalno mesto poplavljen zaradi obilnejših padavin, voda na izviru je bila motna, potok je imel še en izvir. Spomladi in poleti je bilo na drugem vzorčnem mestu in v njegovi bližini opaziti motno in rjavkasto vodo, ki se je penila in imela vonj po gnojnici. Ob potoku in v njem je spomladi ležalo vejevje ter odložen gradbeni material, vanj se po cevi steka odpadna voda. Poleti je potok zaradi obilnih padavin narasel, vzorčevalno mesto je bilo poplavljen. V Jami Pekel na vzorčevalnem mestu ni bilo zaznati sprememb barve vode, le motnost vode poleti. V bližini vzorčevalnih mest se nahajata tudi jama Smetišnica in Boštenuhova jama, za kateri predvidevam, da vplivata na onesnaženje podzemnega toka vode. Jama Smetišnica je sicer očiščena, vendar ni izključen vpliv močno onesnažene okolice (odloženi odpadki). Pri Boštenuhovi jami ni izključen vpliv komunalne odpadne vode (iz stanovanjskega objekta nad njo) in kmetijske odpadne vode iz gnojišča bližnje kmetije.

Rezultate fizikalno-kemijskih analiz sem statistično analizirala s programom SPSS in s Pearsonovim koeficientom korelacije ugotovila štiri statistično značilne povezanosti fizikalno-kemijskih parametrov. V nadaljevanju sem povezanost fizikalno-kemijskih parametrov analizirala še podrobneje, in sicer po posamezni lokaciji terenskih analiz (na izviru Ponikvice, pred požiralnikom v Lokah in v Jami Pekel), ter ugotovila dve statistično značilni povezanosti na izviru Ponikvice, eno statistično značilno povezanost pred požiralnikom v Lokah in dve statistično značilni povezanosti med fizikalno-kemijskimi parametri v Jami Pekel.

Ugotovljene statistično značilne povezave med fizikalno-kemijskimi parametri:

1. Temperatura zraka je statistično značilno povezana s koncentracijo sulfatnih ionov ne glede na obdobje in lokacijo meritev ter pred požiralnikom v Lokah. Na izviru Ponikvice je temperatura zraka statistično značilno povezana s koncentracijo fosfatnih ionov. Naraščajoča temperatura zraka sovпада s postopno višjimi vrednostmi sulfatnih ionov in fosfatnih ionov v vzorcu vode. Povezave med fizikalno-kemijskimi parametri je mogoče pripisati legi vzorčevalnih mest, vremenskim razmeram (padavine), letnemu času in posredno sezonski dejavnosti v kmetijstvu (intenzivnem gnojenju) ter spiranju gnojil iz kmetijskih površin.
2. Temperatura vode je statistično značilno povezana s kislostjo vode in koncentracijo sulfatnih ionov ne glede na obdobje in lokacijo meritev, v Jami Pekel pa s koncentracijo nitratnih ionov. Z naraščajočo temperaturo vode se znižuje pH-vrednost vode, narašča pa vsebnost sulfatnih ionov in nitratnih ionov v vzorcu vode. Povezave med fizikalno-kemijskimi parametri je mogoče pripisati temperaturi zraka, vremenskim razmeram (padavine), letnemu času in posredno tudi kmetijski dejavnosti. Izključen ni niti vpliv komunalnih odplak.
3. pH-vrednost vode je v Jami Pekel statistično značilno povezana s koncentracijo sulfatnih ionov. Z naraščajočo pH-vrednostjo vode (med 7 in 8), se nižajo koncentracije sulfatnih ionov v vodi. Razlog za povezavo med fizikalno-kemijskima parametroma je morda naravnega izvora in je odvisen od geološke zgradbe kamnin, po katerih teče voda. pH-vrednosti vode v Jami Pekel so najnižje meseca marca, medtem ko je vrednost sulfatov (16 mg/l) takrat največja. To je mogoče pripisati onesnaženju vode zaradi kmetijske dejavnosti v zaledju jame, morda tudi neurejenemu kanalizacijskemu sistemu in dotoku odpadne vode v potok po obilnih padavinah.
4. Koncentracija fosfatnih ionov je statistično značilno povezana s koncentracijo sulfatnih ionov ne glede na obdobje in lokacijo meritev, ta povezanost pa je prisotna tudi na izviru Ponikvice. Z naraščajočo koncentracijo fosfatnih ionov se povečuje tudi koncentracija sulfatnih ionov v vodi. Povezave med fizikalno-kemijskimi parametri je mogoče pripisati preperevanju kamnin, razgradnji organskih snovi, letnemu času, sezonski dejavnosti v kmetijstvu, komunalnim odpadnim vodam.

Potrijujem prvo hipotezo, ki pravi, da bodo na ponornem območju potoka Ponikvica spomladi višje vrednosti kemijskih lastnosti vode, ki so posledica kmetijske dejavnosti. To velja za vrednosti nitratnih ionov, fosfatnih ionov in sulfatnih ionov v vodi, ki so lahko posledica človekovih dejavnosti. Na tem območju so bile 30. 3. 2019 izmerjene vrednosti nitratnih ionov 5 mg/l, vrednosti fosfatnih ionov 0,5 mg/l in vrednosti sulfatnih ionov 14 mg/l, kar lahko pripišem onesnaženju vode zaradi kmetijstva (gnojenje z naravnimi in umetnimi gnojili, uporaba sulfatnih pripravkov v kmetijstvu), izključene niso niti komunalne odpadne vode. Iz pregleda rezultatov terenskih analiz vode na ponornem območju potoka je razvidno, da so vrednosti nitratnih ionov v jeseni, spomladi in poleti 5 mg/l, le pozimi padejo na 3 mg/l. Vrednosti nitritnih ionov in amonijevih ionov so ostale nespremenjene, povišale so se samo vrednosti nitratnih ionov, kar nakazuje na starejše onesnaženje, saj sta pri sveže onesnaženih vodah večinoma prisotna organski dušik ter amonij (Vovk Korže in Bricelj 2004, str. 43). Koncentracija fosfatnih ionov je bolj ali manj stalna in znaša 0,1 mg/l jeseni, pozimi in poleti. Le spomladi je njihova koncentracija v vodi narasla na 0,5 mg/l po obilnejših padavinah in vidnem onesnaženju vode na vzorčevalnem mestu. Koncentracije sulfatnih ionov se v jeseni in pozimi gibljejo med 3 in 6 mg/l, vendar se vrednosti spomladi (14 mg/l) in poleti (17 mg/l) bistveno povišajo, kar bi lahko pripisali kmetijskemu onesnaženju in spiranju gnojil. pH-vrednost vode (6,85) je bila na tem območju spomladi nižja kot v drugih obdobjih, ko se je gibala med 7,42 in 8,42, vendar pa lahko prav nizka pH-vrednost nakazuje na obremenjenost vode zaradi gnojil ali komunalnih odplak.

Potrijujem drugo hipotezo, ki pravi, da podzemna voda v Jamo Pekel s seboj v podzemni svet prinaša onesnažila, ki izvirajo iz zaledja Ponikvice. To velja za vrednost nitratnih ionov, fosfatnih ionov in sulfatnih ionov, ki so lahko posledica človekovih dejavnosti. Iz pregleda rezultatov terenskih analiz vode v Jami Pekel je razvidno, da so vrednosti nitratnih ionov od spomladi do jeseni 2019 5 mg/l in te mesece sovpadajo z vrednostmi pred požiralnikom v Lokah, saj voda v njih ponikne v jamo. Vrednosti so malce nižje oktobra 2018 (2 mg/l) in najnižje pozimi (1 mg/l). To bi lahko nakazovalo na odvisnost od letnega časa in posredno na sezonsko dejavnost v kmetijstvu. Poleg tega se vrednosti nitritnih ionov in amonijevih ionov v vodi niso spreminjale, kar nakazuje na starejše onesnaženje vode (Vovk Korže in Bricelj 2004, str. 43). Koncentracija fosfatnih ionov v vodi se v jeseni giblje pri 0,2 mg/l, pozimi pa pade na 0,1 mg/l. Od spomladi do poleti koncentracija teh snovi v vodi po obilnih padavinah narašča (spomladi 0,3 mg/l in poleti 1 mg/l). To je lahko posledica kmetijske dejavnosti in komunalnih odpadnih voda, saj vrednosti fosfatnih ionov v neobremenjenih vodah, navadno ne presegajo 0,1 mg/l (Urbančič in Toman 2003, str. 39–40). Koncentracije sulfatnih ionov se v jeseni in pozimi gibljejo med 5–7 mg/l, bistveno pa se povišajo 30. 3. 2019 (16 mg/l) in 24. 6. 2019 (14 mg/l), prav tako sovpadajo s povišanimi vrednostmi pred požiralnikom v Lokah ta dva meseca. V jami lahko te vrednosti izvirajo iz geološke podlage ali iz človekovih dejavnosti v zaledju jame: komunalnih odplak, sulfatnih pripravkov v kmetijstvu, morda tudi zaradi odvrženega gradbenega materiala v potoku. pH-vrednost vode v Jami Pekel je bila najnižja meseca marca 6,83, kar odstopa od drugih vrednosti 7,54 in 8,7. Te vrednosti so lahko naravnega porekla, ni pa izključeno, da nanje ne vpliva sezonska dejavnost v kmetijstvu – gnojenje (od pomladi do jeseni) ter komunalne odplake, ki se lahko pozimi skozi golo kraško površje hitro razširijo v vodo.



Na podlagi rezultatov osnovnih fizikalno-kemijskih analiz voda ugotavljam, da je kraška voda obremenjena zaradi posledic človekovih dejavnosti na obravnavanem kraškem območju, predvsem zaradi kmetijstva in neurejenega odvajanja ter čiščenja komunalnih odpadnih voda. Vendar pa je takšna analiza, pri kateri se upoštevajo zgolj osnovne fizikalno-kemijskih lastnosti vode, bistveno premalo, da bi lahko naredila celovite zaključke, od kod izvirajo povišane vrednosti določenih lastnosti vode. Terenske meritve fizikalno-kemijskih lastnosti vode bi bilo treba izvajati na širšem območju (ne zgolj na potoku Ponikvica), vzorčevanje bi moralo potekati dalj časa in morda celo pogosteje. Zajeti bi morali širši nabor parametrov, predvsem pa uporabiti drugačne pripomočke za merjenje, ki bi nam dali natančnejše rezultate od npr. barvne skale, s katero zgolj ocenimo vrednosti parametrov. Poleg meritev na terenu bi morali za natančnejše rezultate vzorce vode odnesti v laboratorij in jih tam analizirati. Če bi želeli ugotoviti, ali so vrednosti npr. posledica kmetijstva ali poselitve, bi bilo dobro meritve izvesti tudi v kakšnem zaledju, kjer teh dejavnosti ni in bi lahko tako sklepali, kaj je na obravnavanem območju vzrok za njihovo povišanje.

## 8 POVZETEK

*V diplomski nalogi sem podrobneje preučila območje Ponikovskega krasa, znotraj katerega leži Jama Pekel skupaj s svojim hidrogeološkim zaledjem. Namen diplomske naloge je bil s terenskimi analizami vode oceniti, kakšen je vpliv različnih virov onesnaženja na vode v porečju potoka Peklenščica. Pri določitvi vzorčevalnih mest sem upoštevala dejavnosti v hidrogeološkem zaledju Jame Pekel in potencialne vire onesnaženja na območju. Določila sem tri vzorčevalna mesta: izvir Ponikvice, pred požiralnikom v Lokah in rov s podpisi v Jami Pekel. Pri izviri Ponikvice in pri požiralnikih v Lokah je šlo za površinski vodni tok, v Jami Pekel pa za podzemeljski vodni tok. S spletnega arhiva Agencije Republike Slovenije za okolje sem pridobila hidrološke podatke za glavno meteorološko postajo Celje - Medlog za obdobje 14 dni pred terenskimi analizami, saj hidrološke razmere pred vzorčenjem pomembno vplivajo na prenos in hitrost potovanja onesnažil iz kraškega površja, na razredčevanje onesnaževal in njihovo uskladiščenje v manj prepustnih delih vodonosnika. Vzorce vode sem odvzela v obdobju med 6. 10. 2018 in 21. 9. 2019. Vodo sem vzorčila 6. 10. 2018, 24. 12. 2018, 30. 3. 2019, 24. 6. 2019 in 21. 9. 2019. Cilj je bil pridobiti vzorce ob različnih vremenskih razmerah, različnih letnih časih ter sezonski dejavnosti v kmetijstvu (gnojenje). Vzorce vode sem zajela s 100 ml plastično čašo, priloženo v prenosnem kovčku EcoLabBox in nato v najkrajšem možnem času izmerila fizikalno-kemijske parametre vode. Temperaturo zraka in temperaturo vode sem izmerila z Vernier vmesnikom (LabQuest 2). Vsebnost nitratov, nitritov, amonija in fosfatov v vodi sem določala z reagenti iz prenosnega kovčka EcoLabBox ter njihovo vrednost odčitala iz barvne lestvice. Vsebnost sulfatov v vodi sem izmerila s prenosnim spektrofotometrom Hach DR/2000. Na podlagi fizikalno-kemijskih analiz vode in terenskih opažanj lahko sklepam, da glavni problem za kakovost vode v porečju Ponikvice (Peklenščice) predstavlja kmetijstvo in neurejen kanalizacijski sistem ter s tem neurejeno odvajanje in čiščenje komunalnih odpadnih voda. Gnojenje kmetijskih površin nad izvirov Ponikvice in posledično spiranje gnojil v vodo ob padavinah se je odražalo v motni, rjavkasti in penasti vodi z vonjem po gnojnici spomladi in poleti 2019 pred požiralniki v Lokah. Na tem območju Ponikvice ponikne v podzemlje Jame Pekel in skupaj z vodo tja prinese onesnažila, ki izvirajo iz njenega hidrogeološkega zaledja.*

## 9 SUMMARY

*In my bachelor's thesis, I studied in more detail the area of the Ponikva karst, within which lies the Pekel Cave together with its hydrogeological hinterland. The purpose of the bachelor's thesis was to assess the impact of various sources of pollution on the waters in the Peklenščica stream basin through field analyzes of water. In determining the sampling points, I took into account the activities in the hydrogeological hinterland of the Pekel Cave and the potential sources of pollution in the area. I determined three sampling points: at the spring Ponikvica, in front of the ponor in Loke, and the tunnel with signatures in the Pekel Cave. At the spring Ponikvica and in front of ponor in Loke, it was a surface water flow, and in the Pekel Cave, it was an underground water flow. I obtained hydrological data for the main meteorological station Celje - Medlog for 14 days before field analyzes from the online archive of the Environmental Agency of the Republic of Slovenia because hydrological conditions before sampling significantly affect the transfer and travel of pollutants from the karst surface, the dilution of pollutants, and their storage in less permeable parts of the aquifer. Water samples were collected in the period between 6<sup>th</sup> October 2018 and 21<sup>st</sup> September 2019. Samples were collected on 6<sup>th</sup> October 2018, 24<sup>th</sup> December 2018, 30<sup>th</sup> March 2019, 24<sup>th</sup> June 2019, and 21<sup>st</sup> September 2019. My purpose was to collect water samples in different weather conditions, different seasons, and seasonal activities in agriculture (fertilization). I collected water samples with a 100 ml plastic beaker enclosed in portable case EcoLabBox and then measured the physicochemical parameters of the water as soon as possible. Air temperature and water temperature were measured with the Vernier interface (LabQuest 2). The content of nitrates, nitrites, ammonium, and phosphates in water was determined with reagents from portable case EcoLabBox. Their concentration was read from the color scale. The concentration of sulfate in water was measured with portable spectrophotometer Hach DR/2000. Based on physicochemical analyzes of water and field observations, I can conclude that the main problem for the quality of karst water in the Ponikvica (Peklenščica) basin is agriculture and unregulated sewage system. Fertilization of agricultural land above the spring and the consequent leaching of fertilizers into the water during precipitation was reflected in the turbid, brownish, and foamy water with the smell of manure in spring and summer 2019 in front of the ponors in Loke. In this area, Ponikvica sinks into the underground of the Pekel Cave and, together with the water, brings pollutants originating from its hydrogeological hinterland.*

## 10 VIRI IN LITERATURA

- Agencija Republike Slovenije za okolje. 2019: Vreme podrobneje. Medmrežje: <https://meteo.arso.gov.si/met/sl/app/webmet/#webmet> =8Sdwx2bhR2cv0WZ0V2bvEGcw9ydlJWblR3LwVnaz9SYtVmYh9iclFGbt9SaulGdugXbsx3cs9mdl5WahxXYyNGapZXZ8tHZv1WYp5mOnMHbvZXZulWYnwCchJXYtVgdJnOn0UQQdSf; (2. 4. 2019).
- Agencija Republike Slovenije za okolje. 2020: Kazalci okolja. Vode. Nitrati v podzemni vodi. Medmrežje: <http://kazalci.arso.gov.si/sl/content/nitrati-v-podzemni-vodi-8> (9. 4. 2021).
- Atlas okolja. 2019: Medmrežje: [http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas Okolja AXL@Arso](http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas%20Okolja%20AXL@Arso) (15. 3. 2019).
- Buser, S. 1977: Osnovna geološka karta SFRJ. L 33-67, Celje. Beograd: Zvezni geološki zavod. Medmrežje: <https://ogk100.geo-zs.si/> (11. 1. 2020).
- Direktiva Evropskega parlamenta in Sveta 2000/60/ES z dne 23. oktobra 2000 o določitvi okvira za ukrepe Skupnosti na področju vodne politike. *Uradni list* L 327, 22/12/2000 str. 0001–0073). Medmrežje: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/HTML/?uri=%20CELEX:32000L0060> (20. 6. 2020).
- DR 2000 Spectrophotometer Procedures Manual, O-Z. 1989: Method 8501 for water, waste water and sea water. Medmrežje: [https://www.hach.com/asset-,\\_get.download.jsa?id=7639984825](https://www.hach.com/asset-,_get.download.jsa?id=7639984825) (1. 6. 2020).
- Fabeković, G., Kop, B., Perkon, A., Pokorn, J., Uršič, A. (2015). Vrednotenje geodiverzitete na izbranim območju občin Spodnje Savinjske doline, primer Ponikovske planote. V: Jelen, A., Klemenčič, M., Popovič, E. *Spodnja Savinjska dolina. V toku idej in doživetij po dolini zelenega zlata*. Ljubljana, Društvo mladih geografov Slovenije, str. 155–162. Medmrežje: [http://geo.ff.uni-lj.si/sites/geo.ff.uni-lj.si/files/DatotekeVsebin/Dejavnosti/zgrt\\_2014\\_savinjska\\_2.pdf](http://geo.ff.uni-lj.si/sites/geo.ff.uni-lj.si/files/DatotekeVsebin/Dejavnosti/zgrt_2014_savinjska_2.pdf) (11. 1. 2020).
- Gabrovšek, F., Mulec, J. (2008). Monitoring. V: Luthar, O., Dobrovoljc, H., Fridl, J., Mulec, J., Pavšek, M. *Kras: Trajnostni razvoj kraške pokrajine*. Ljubljana, Založba ZRC, str. 286–290.
- Google Zemljevidi. 2019: Medmrežje: <https://www.google.si/maps/> (15. 3. 2019).
- Gregorač, V. (1995). *Mali leksikon geologije*. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije, str. 151
- Hach Company. 1988, 1989, 1990: DR/2000 SPECTROPHOTOMETER INSTRUMENT MANUAL. Medmrežje: [https://www.lm.doe.gov/cercla/documents/rockyflats\\_docs/SW/SW-A-000141.pdf](https://www.lm.doe.gov/cercla/documents/rockyflats_docs/SW/SW-A-000141.pdf) (18. 9. 2019).
- Hribernik, M. (2011). *Zapisnik o stanju jame*. Kataster jam - Jamarska Zveza Slovenije.
- Hribernik, M., Bračič, R. (2010). Varstvo kraških jam. *Geografski obzornik*, letnik 57, številka 3/4, str. 37–46. Medmrežje: <http://www.dlib.si/stream/URN:NBN:SI:doc-LONALMME/201b12b9-2b61-4d2f-8609-947e05123b5c/PDF> (3. 8. 2018).
- iObčina. 2019: Občina Žalec. Medmrežje: <https://gis.iobcina.si/gisapp/Default.aspx?a=Zalec> (1. 6. 2020).
- Knez, M., Mihevc, A., Otoničar, B., Slabe, T., Zupan Hajna, N. (2008). Človek in kras. V: Luthar, O., Dobrovoljc, H., Fridl, J., Mulec, J., Pavšek, M. *Kras: trajnostni razvoj kraške pokrajine*. Ljubljana, Založba ZRC, str. 39–44.

- Kogovšek, J. 1996: Odkrivanje onesnaževanja v zaledju kraških izvirov. Medmrežje: [http://www.sos112.si/slo/tdocs/ujma/1996/172\\_173.pdf](http://www.sos112.si/slo/tdocs/ujma/1996/172_173.pdf) (7. 5. 2019).
- Kogovšek, J., Petrič, M. (2008). Sledilni poskusi na krasu. V: Luthar, O., Dobrovoljc, H., Fridl, J., Mulec, J., Pavšek, M. *Kras: Trajnostni razvoj kraške pokrajine*. Ljubljana, Založba ZRC, str. 64–68.
- Kogovšek, J., Pipan, T. (2008). Kemijsko-fizikalne in biološke metode za ocenjevanje kakovosti kraških vodnih virov. V: Luthar, O., Dobrovoljc, H., Fridl, J., Mulec, J., Pavšek, M. *Kras: Trajnostni razvoj kraške pokrajine*. Ljubljana, Založba ZRC, str. 69–71.
- Kogovšek, J., Petrič, M., Ravbar, N. (2008). Značilnosti pretakanja vode v krasu. V: Luthar, O., Dobrovoljc, H., Fridl, J., Mulec, J., Pavšek, M. *Kras: Trajnostni razvoj kraške pokrajine*. Ljubljana, Založba ZRC, str. 59–63.
- Naravovarstveni atlas. 2019: Ekološko pomembna območja. Medmrežje: <https://www.naravovarstveni-atlas.si/web/profile.aspx?id=EPO@ZRSVNJ> (2. 4. 2019).
- NIJZ<sub>1</sub>, Nacionalni inštitut za javno zdravje Republike Slovenije. 2014: Fizikalno-kemični indikatorski parametri. Medmrežje: <https://www.nijz.si/sl/fizikalno-kemicni-indikatorski-parametri> (15. 9. 2019).
- NIJZ<sub>2</sub>, Nacionalni inštitut za javno zdravje Republike Slovenije. 2014: Opisi kemijskih parametrov. Medmrežje: <https://www.nijz.si/sl/opisi-kemijskih-parametrov> (15. 9. 2019).
- Novak, D. (1977). Hidrogeološke razmere v zaledju jame Pekel. *Naše jame*, 18, str. 23–30. Medmrežje: [http://www.jamarska-zveza.si/images/Documents/Nase\\_jame/Nase\\_jame\\_18\\_1976.pdf#page=25](http://www.jamarska-zveza.si/images/Documents/Nase_jame/Nase_jame_18_1976.pdf#page=25) (20. 8. 2018).
- Odlok o razglasitvi naravnih znamenitosti v Občini Žalec. *Uradni list RS*, št. 77/1998 z dne 13. 11. 1998, str. 6110. Medmrežje: <https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina?urlurid=19983914> (1. 9. 2018).
- Petrič, M., Kogovšek, J., Ravbar, N. (2011). Prilagajanje slovenske zakonodaje posebnim značilnostim kraških vodonosnikov. V: Knez, M., Petrič, M., Slabe, T. *Krasoslovje v razvojnih izzivih na krasu*. 1, Voda = Karstology and development challenges on karst. 1, Water. Ljubljana, Založba ZRC, str. 124–136.
- Petrič, M., Ravbar, N., Kogovšek, J. (2011). Značilnosti kraških vodonosnikov, njihova ranljivost in ogroženost. V: Knez, M., Petrič, M., Slabe, T. *Krasoslovje v razvojnih izzivih na krasu*. 1, Voda = Karstology and development challenges on karst. 1, Water. Ljubljana, Založba ZRC, str. 7–19.
- Petrič, U. (2019). *Gozdna in ekološka učna pot Pekel*. Zavod za gozdove Slovenije, KE Žalec. Informativna tabla.
- Pokorn, J., Uršič, A. (2015). Geomorfološke značilnosti Spodnje Savinjske doline in vzpetega sveta. V: Jelen, A., Klemenčič, M., Popovič, E. *Spodnja Savinjska dolina. V toku idej in doživetij po dolini zelenega zlata*. Ljubljana, Društvo mladih geografov Slovenije, str. 19–26. Medmrežje: [http://geo.ff.uni-lj.si/sites/geo.ff.uni-lj.si/files/DatotekeVsebin/Dejavnosti/zgrt\\_2014\\_savinjska\\_2.pdf](http://geo.ff.uni-lj.si/sites/geo.ff.uni-lj.si/files/DatotekeVsebin/Dejavnosti/zgrt_2014_savinjska_2.pdf) (11. 1. 2020).
- Pravilnik o dopolnitvi Pravilnika o sofinanciranju malih komunalnih čistilnih naprav v Občini Žalec. *Uradni list RS*, št. 43/2019 z dne 28. 6. 2019, str. 5451. Medmrežje: <https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/2019-01-1990/pravilnik-o-dopolnitvi-pravilnika-o-sofinanciranju-malih-komunalnih-cistilnih-naprav-v-obcini-zalec> (2. 4. 2019).

Pravilnik o kriterijih za določitev vodovarstvenega območja. *Uradni list RS*, št. 64/04, 5/06, 58/11 in 15/16. Medmrežje: <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV1024> (11. 1. 2020).

Pravilnik o monitoringu podzemnih voda. *Uradni list RS*, št. 31/09. Medmrežje: <http://pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV9521> (3. 6. 2020).

Pravilnik o monitoringu stanja površinskih voda. *Uradni list RS*, št. 10/09, 81/11 in 73/16. Medmrežje: <http://pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV9315> (3. 6. 2020).

Pravilnik o pitni vodi. *Uradni list RS*, št. 19/04, 35/04, 26/06, 92/06, 25/09, 74/15 in 51/17. Medmrežje: <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV3713> (15. 9. 2019).

Pravilnik o sofinanciranju malih komunalnih čistilnih naprav v Občini Žalec. *Uradni list RS*, št. 51/2014 z dne 7. 7. 2014, str. 5855. Medmrežje: <https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/2014-01-2247/pravilnik-o-sofinanciranju-malih-komunalnih-cistilnih-naprav-v-obcini-zalec> (2. 4. 2019).

Proske, W. (2017). *Handbook EcoLabBox*. Clausthal – Zellerfeld, Windaus Labortechnik GmbH & Co. KG, str. 8–74.

Roš, M., Panjan, J. (2012). *Gospodarjenje z odpadnimi vodami: učbenik za modul Gospodarjenje z odpadnimi vodami v programu Okoljevarstveni tehnik*. Zbirka Zelena Slovenija. Celje, Fit media d. o. o., str. 31–45.

Štorman, F. (1991). Turistični razvoj jame Pekel. *Naše jame*, 33, str. 115–116. Medmrežje: [https://www.jamarska-zveza.si/images/Documents/Nase\\_jame/Nase\\_jame\\_33\\_1991.pdf](https://www.jamarska-zveza.si/images/Documents/Nase_jame/Nase_jame_33_1991.pdf) (15. 3. 2019).

Tomažič, M. (2005). *Krajinski park Ponikovski kras*. Informativna zloženka. Zavod RS za varstvo narave, OE Celje.

Turistično društvo Šempeter. (1974). *Jama Pekel pri Šempetru v Savinjski dolini*. Informativna zloženka. Kataster jam - Jamarska zveza Slovenije.

Turistično društvo Šempeter. (1976). *Jama Pekel: Šempeter v Savinjski dolini (Slovenija-Jugoslavija)*. Informativna zloženka. Kataster jam - Jamarska zveza Slovenije.

Turistično društvo Šempeter. 2008: Jama Pekel. Medmrežje: <http://www.td-sempeter.si/narava/jama-pekел/> (21. 9. 2019).

Urbanič, G., Toman, M. J. (2003). *Varstvo celinskih voda*. Ljubljana, Študentska založba, str. 22–39.

Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo. *Uradni list RS*, št. 64/12, 64/14 in 98/15. Medmrežje: <http://pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=URED6070> (3. 6. 2020).

Uredba o stanju podzemnih voda. *Uradni list RS*, št. 25/09, 68/12 in 66/16. Medmrežje: <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=URED5121> (1. 9. 2018).

Uredba o stanju površinskih voda. *Uradni list RS*, št. 14/09, 98/10, 96/13 in 24/16. Medmrežje: <http://pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=URED5010> (1. 9. 2018).

Uredba o varstvu voda pred onesnaževanjem z nitrati iz kmetijskih virov. *Uradni list RS*, št. 113/09, 5/13, 22/15 in 12/17. Medmrežje: <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=URED5124> (30. 3. 2019).

Vernier Software & Technology. 2020: LabQuest® 2–User Manual. Medmrežje: [http://www2.vernier.com/manuals/labquest2\\_user\\_manual.pdf](http://www2.vernier.com/manuals/labquest2_user_manual.pdf) (3. 1. 2020).

Vernier Software & Technology<sub>1</sub>. 2019: Simple Water Quality Testing In and Outside the Classroom. Medmrežje: [https://www.vernier.com/files/training/nsta-2019/vernier.simple\\_water\\_quality\\_testing.pdf](https://www.vernier.com/files/training/nsta-2019/vernier.simple_water_quality_testing.pdf) (18. 9. 2019).

Vernier Software & Technology<sub>2</sub>. 2019: Stainless Steel Temperature Probe. Medmrežje: <https://www.vernier.com/files/manuals/tmp-bta/tmp-bta.pdf> (18. 9. 2019).

Vernier Software & Technology<sub>3</sub>. 2019: Tris-Compatible Flat pH Sensor. Medmrežje: <https://www.vernier.com/files/manuals/fph-bta/fph-bta.pdf> (18. 9. 2019).

Vovk Korže, A., Bricelj, M. (2004). *Vodni svet Slovenije: priročnik za interdisciplinarno proučevanje voda*. Ljubljana: Zveza geografskih društev Slovenije, Maribor: Pedagoška fakulteta, str. 42–48. Medmrežje: [https://www.gov.si/assets/ministrstva/MOP/Publikacije/3a758e646c/vodni\\_svet.pdf](https://www.gov.si/assets/ministrstva/MOP/Publikacije/3a758e646c/vodni_svet.pdf) (18. 9. 2019).

World Health Organization. 2004: Sulfate in Drinking-water: Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. Medmrežje: [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/chemicals/sulfate.pdf](https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/sulfate.pdf) (21. 9. 2019).

Zakon o vodah. *Uradni list RS*, št. 67/02, 2/04 – ZZdl-A, 41/04 – ZVO-1, 57/08, 57/12, 100/13, 40/14, 56/15 in 65/20. Medmrežje: <http://pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=ZAKO1244> (1. 9. 2018).

Zavod za varstvo naravne in kulturne dediščine Celje, Zavod za gozdove – krajevna enota Žalec, Občina Žalec, MOP – uprava RS za varstvo narave. (1999). *HIDROLOGIJA ZALEDNA PONIKVICE TER JAMA PEKEL*. Informativna tabla pred vhodom v jamo.

Zupan Hajna, N. (2006). Siga v kraških jamah. *Mineralna bogastva Slovenije.- Scopolia, Supplementum*, 3, str. 192–203. Medmrežje: <https://www.dlib.si/stream/URN:NBN:SI:doc-AZ01B3MU/05665818-7749-4ea5-bc02-a0dbbc1191a1/PDF> (21. 9. 2019).

Zupan Hajna, N. (2017). What is karst? V: Biondić, R., Brun, C., Crnko, T., Diković, S., Kogovšek, J., Koželj, A., Malečkar, F., Mihevc, A., Otoničar, B., Petrič, M., Pipan, T., Pretnar, G. Radišić, M., Ravbar, N., Rubinić, J., Ružić, I., Zupan Hajna, N. *Life and Water on Karst [drugi natis]: Monitoring of transboundary water resources of Northern Istria*. Ljubljana, Založba ZRC, str. 6–14. Medmrežje: <https://www.dlib.si/stream/URN:NBN:SI:DOC-OJHQOE55/1ae805ab-95d8-4145-b527-3dd74bd5e4ce/PDF> (3. 8. 2018).

Zupan Hajna, N., Otoničar, B. (2008). Kras in njegova geološka zgradba. V: Luthar, O., Dobrovoljc, H., Fridl, J., Mulec, J., Pavšek, M. *Kras: Trajnostni razvoj kraške pokrajine*. Ljubljana, Založba ZRC, str. 12–20.