

UNIVERZA V NOVI GORICI
FAKULTETA ZA ZNANOSTI O OKOLJU

**VPLIV ODLAGALIŠČA KOMUNALNIH ODPADKOV
DRAGONJA NA PODZEMNO VODO**

DIPLOMSKO DELO

David JEREBICA

Mentor: Barbara Čenčur Curk, doc. Dr.

Nova Gorica, 2009

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici Barbari Čenčur Curk za vso pomoč in napotke pri pisanju diplomske naloge.

Zahvala gre tudi Podjetju Okolje Piran, ki mi je omogočilo izvedbo diplomske naloge, še posebej pa Danjeli Kleva Švigelj.

Za pomoč pri analizah vzorcev se zahvaljujem Mateji Zadel in Inštitutu za raziskovanje Krasa iz Postojne.

Posebna zahvala gre mojim domačim za vso podporo, ki so mi jo dajali med pisanjem tega dela.

POVZETEK

Problem odpadkov je prisoten po celotnem svetu in se z naraščanjem ekonomskega blagostanja in števila prebivalcev le še povečuje. Ti odpadki pa predstavljajo velik vpliv na okolje, še posebej na podzemne vode. Onesnaževanje podzemnih voda je pereč problem, saj se s tem zmanjšujejo tudi zaloge pitne vode. Z diplomsko nalogo sem poskušal ugotoviti v kakšni meri in kakšna je dinamika prenosa onesnaževal iz odlagališča v podzemno vodo. Za odlagališčem odpadkov sem injiciral barvilo uranin, nato vzorčeval podzemno vodo iz treh vrtin (piezometrov), ki se nahajajo na spodnjem delu odlagališča odpadkov in v vzorcih s spektrofluorometrijo določal koncentracijo uranina. Odlagališče odpadkov leži na pobočju, ki ga gradijo flišne kamnine. Ob vznožju so meljno-glinasti in delno peščeni sedimenti (aluvijalni sedimenti), ki jih je nanese reka Dragonja. Iz rezultatov meritev vzorcev je razvidno, da je izpiranje uranina iz odlagališča in posledično njegovo pojavljanje v podzemni vodi odvisno od količine in intenzitete padavin ter razporeditve odpadkov po telesu odlagališča. Zaradi tokov vode po odlagališču so nastali kanali (prednostne poti), po katerih se voda hitreje pretaka kot po ostalih delih odlagališča. Padavine najprej pronicajo skozi telo odlagališča, nato se infiltrirajo v preperinsko plast fliša. Od tu voda potuje po pobočju navzdol v aluvijalne sedimente. Koncentracija uranina v vodi je odvisna tudi od zasičenosti preperinske plasti, saj se odvisno od količine vode redči, medtem ko se v sušnem obdobju zadržuje.

KLJUČNE BESEDE: odlagališče odpadkov, onesnaževanje voda, aluvijalni vodonosnik, uranin, vrtina

SUMMARY

The problem of waste products is present all over the world and is actually increasing with the development of the economic well-being. This waste material has a big environmental impact, especially as far as the groundwater is concerned. Groundwater pollution is a pressing problem, because it decreases the supply of drinking water. This diploma thesistries to establish the quantity and quality of the dynamics of pollutant transmission from the dumping area to the groundwater. The dying matter uranine was first injected behind the dumping area after which the groundwater rising from three bores (piezometers), located at the lower section of dumping area, was sampled to determine the uranine concentration with spectrofluorometry. The dumping area is located on a slope of flysch rocks. The foothill consists of fine silt-clay and part of sand sediments (alluvial sediments), that were deposited there by the river Dragonja. The measurement results show that the flushing of uranine from the dumping area and consequentially its reappearance in the groundwater depends on the quantity and the intensity of atmospheric precipitation and the arrangement of waste throughout the dumping area. Streams of waterrunning through the dumping area form channels (preferential flows) where water flows faster than on the other parts of the dumping area. The atmospheric precipitation first trickles through the body of the dumping area and then infiltrates the weathered layer of flysch. From here, water travels down the slope to the alluvial sediments. The concentration of uranine in water depends on the saturation of weathered layer with water, because this water gets diluted with the increasing amount of water and retained throughout the drought period.

KEY WORDS: landfill, water pollution, aluvial aquifer, uranin, borehole

KAZALO VSEBINE

ZAHVALA	II
POVZETEK	III
KAZALO VSEBINE.....	IV
KAZALO PRILOG	VI
1 UVOD.....	1
1.1 Namen naloge	2
2 TEORETIČNE OSNOVE.....	3
2.1 Zakonodaja	3
2.1.1 Zahteve za izgradnjo odlagališča	3
2.1.2 Obratovalni monitoring odlagališča	8
2.2 Sledilni poskusi za določitev vpliva odlagališča na podzemne vode.....	10
2.2.1 Uporaba sledil (predvsem sintetičnih) pri raziskovanju odlagališč odpadkov.	11
2.3 Vrste sledil.....	13
2.3.1 Uranin	14
2.4 Priprava in izvedba sledilnega poskusa	15
2.4.1 Izbira sledila	16
2.4.2 Težave pri uporabi fluorescentnih sledil v vodi, onesnaženi z izcedno vodo	18
2.4.3 Količina sledila.....	20
2.4.4 Injiciranje.....	21
2.4.5 Vzorčenje.....	21
2.5 Pretok vode v odlagališču odpadkov	22
3 EKSPERIMENTALNI DEL.....	22
3.1 Opis lokacije terenskega dela – Odlagališče odpadkov Dragonja.....	22
3.2 Splošne značilnosti odlagališča	24
3.3 Podnebje slovenske Istre	26
3.3.1 Osnovne značilnosti sredozemskega podnebja	26
3.3.2 Klimatska členitev Slovenske Istre	26
3.3.3 Prostorska razporeditev padavin v slovenski istri	28
3.3.4 Padavinski režim	28
3.4 Geološke in litološke značilnosti bližnje okolice odlagališča.....	29
3.5 Hidrogeološke razmere.....	31
3.5.1 Smer toka podzemne vode	32
3.6 Opazovalna mreža vrtin	34
3.7 Ničelno stanje podzemne vode	35
3.8 Stanje podzemne vode na območju odlagališča	35
3.9 Sledilni poskus – metode dela	40

3.9.1 Izračun količine uranina, potrebnega za injiciranje	40
3.9.2 Injiciranje.....	40
3.9.3 Vzorčenje.....	42
3.9.4 Laboratorijsko delo – analiza vzorcev.....	43
4 REZULTATI IN RAZPRAVA.....	44
5 ZAKLJUČKI.....	53
6 LITERATURA.....	55

KAZALO PRILOG

PRILOGA A: Karta z vrisanim odlagališčem odpadkov, mestom injiciranja sledila, predvidenim potekom sledila in mesti vzorčenja

PRILOGA B: Vrednosti standardnih raztopin za umeritveno krivuljo in umeritvena krivulja

PRILOGA C: Tabele z rezultati meritev vseh parametrov po programu monitoringa za vrtine P1, P2 in P5 v letih 2002, 2005, 2006 in 2007

PRILOGA D: Hidrogeološki profili vrtin

PRILOGA E: Rezultati analiz vzorcev – vsebnost uranina.

PRILOGA F: Nivoji vode v piezometrih

PRILOGA G: Primerjava med nivoji vode, količino padavin in koncentracijo uranina na posameznih vrtinah

1 UVOD

Odlagališča nenevarnih oziroma nevarnih odpadkov so z začetkom industrijske dobe pa vse do danes postala nuja, saj zbiranje in odlaganje odpadnega materiala na centraliziranih lokacijah prispeva k minimaliziranju nevarnosti za javno zdravje in varnost. [1]

V splošnem so stara odlagališča odpadkov nastajala v naravnih jarkih, v Sloveniji pa v vrtačah (kras), grapah (Dragonja, Unično idr.) ali v opuščeni dnevni kopih (na Krškem polju celo gramoznicah), ki so napolnili z odpadki, nato pa odpadke enostavno prekrili s prstjo. V večini primerov, so odpadke odlagali neposredno na spodaj ležeča tla brez pregrade ali neprepustne podloge, ki bi preprečila izcednim vodam odtekanje iz odlagališča odpadkov v podzemno vodo. V manj kot 20 letih pa so se zaradi sprejetja stroge zakonodaje odlagališča odpadkov tudi v Sloveniji spremenila iz golega odlaganja odpadkov v naravne depresije v natančno planirane, moderne in tesnjene deponije s tehnološkimi sistemi (zbirni centri, mehanska biološka obdelava, sistem izcednih vod, sežig plina), ki zahtevajo znatno količino ekonomskih sredstev.

V splošnem, odlagališča ostanejo odprta desetletja preden preidejo v fazo zapiranja in nato varovanja ter konstantnega nadzora, zato da se omeji vpliv na okolje oziroma prepreči onesnaženje.[1] Občinske komunalne deponije sprejemajo odpadke iz različnih virov kot so gospodinjstva, šole, bolnišnice, podjetja, restavracije, itd. v manjših količinah sprejmejo tudi nekatere nevarne odpadke.

Čeprav so odlagališča v vsakdanjem življenju nujno potrebna, dolgoročno predstavljajo grožnjo podzemnim vodnim virom, pa tudi površinskim vodam, če so te hidrogeološko povezane s podzemnimi vodami.

Padavine, ki dežujejo po odlagališču, se združujejo z odloženimi tekočimi odpadki in iz odpadkov izločajo vodotopne sestavine ter partikulatne snovi. Tvorijo se izcedne vode. Prav nastanek izcedne vode predstavlja največjo nevarnost za onesnaženje podzemne vode. Sestava izcedne vode je odvisna od količine padavin in količine ter sestave oziroma vrste odloženih odpadkov. Poleg številnih nevarnih snovi, izcedne vode vsebujejo še nenevarne snovi, ki so lahko naravno prisotni v večini podzemnih vodnih sistemih. Izcedne vode vsebujejo raztopljene kovine (železo, mangan), soli (natrij, klor) in obilico anionov ter kationov (sulfat, bikarbonat). [1] Sprostitev izcedne vode v podzemne vode lahko predstavlja tveganje za zdravje ljudi in okolja, kar privede do neuporabnosti vodnega vira, saj se ga ne da več uporabiti za pitje. S tem ko izcedne vode ogrožajo okolje, posledično ogrožajo vodne organizme, če kontaminirana podzemna voda doseže mokrišča ali vodotoke.

Za varovanje podzemne vode pred onesnaženjem je potrebno oceniti kolikšna je možnost, da pride do onesnaženja iz točkovnih in netočkovnih virov. Veliko dela je bilo storjenega na tem področju s tem, ko so se in se še vedno razvijajo nove metode monitoringa takih virov onesnaževanja, vrednotenje ter napovedovanje migriranja raztopljenih snovi v podzemni vodi. Jasne so težave pri monitoringu onesnaževal, tudi v relativno enostavnih hidrogeoloških sistemih kot je homogen, enakomeren peščen nanos. [2] Zagotovitev primerne, dolgoročnega monitoringa potencialnega vira onesnaževanja podzemne vode, je možna v primeru, da poznamo natančne hidrogeološke značilnosti raziskovanega področja. To lahko dosežemo s sledilnimi poskusi.

1.1 Namen naloge

Cilj diplomske naloge je ugotoviti vpliv odlagališča odpadkov Dragonja na podzemno vodo. Cilj naloge je ugotavljanje dinamike transporta snovi (onesnaževal) iz odlagališča v podzemno vodo glede na hidrogeološke in padavinske razmere.

Pobočje, na katerem leži odlagališče odpadkov gradijo flišne kamnine, katere so prekrte s plastjo heterogene preperine. Ravno tako je sestava rečnih sedimentov heterogena, zato se heterogeni pogoji hitro spreminjajo. Zaradi nejasnih podzemnih tokov se bo skušalo ugotoviti dinamiko toka podzemne vode s pomočjo sledilnega poskusa, pri katerem se bo injiciralo uranin v luknjo za starim delom odlagališča. Spremljanje koncentracije uranina v že izvrtanih piezometrih, ki se nahajajo dolvodno od odlagališča, bo omogočilo določiti dinamiko transporta snovi iz odlagališča odpadkov v medzrnski vodonosnik.

2 TEORETIČNE OSNOVE

2.1 Zakonodaja

Pri načrtovanju in gradnji odlagališč odpadkov je potrebno zagotoviti in upoštevati vrsto varnostnih ukrepov in rešitev, s katerimi preprečimo oziroma v največji meri omejimo vpliv samega odlagališča na prebivalstvo in okolje. V Uredbi o odlaganju odpadkov na odlagališčih (Ur. l. RS št. 32/06, 98/07, 62/08, 53/09) so predstavljeni in opisani vsi postopki, ki se zahtevajo pri gradnji odlagališča odpadkov.

Slovenska Uredba o odlaganju odpadkov na odlagališčih (Ur. l. RS št. 32/06, 98/07, 62/08, 53/09) je bila sprejeta na podlagi evropskih direktiv in odločb. Te direktive so Direktiva sveta 1999/31/ES z dne 26. aprila 1999 o odlaganju odpadkov na odlagališčih [3], Direktiva 2006/12/ES evropskega parlamenta in sveta z dne 5. aprila 2006 o odpadkih [4] in Odločba sveta z dne 19. decembra 2002 o določitvi meril in postopkov za sprejemanje odpadkov na odlagališčih na podlagi člena 16 in priloge II [5] k Direktivi 1999/31/ES.

2.1.1 Zahteve za izgradnjo odlagališča

Odlagališče odpadkov (nevarnih, nenevarnih in inertnih) se ne sme nahajati na področjih, kjer se izvaja vodovarstveni režim, kjer se nahajajo izviri termalne vode, na poplavnih območjih, na območjih, ki ga ogrožajo plazovi, podori, posedanje ali druga gibanja zemeljskih mas in to v primeru, ko se teh nevarnosti ne da tehnično obvladati. To velja tudi v primerih, ko območje nima enotnih geotehničnih lastnosti na površju in v podtalju, ki ogrožajo odlagališče. Odlagališč ni možno postavljati še na področjih s kamnino, ki je močno razpokana, z dobro vodno prepustnostjo in nedoločljivimi tokovi podzemne vode. Enako velja v primeru zemljišč s prosto tekočo podzemno vodo, ko je raven najvišje pričakovane gladine podzemne vode ob upoštevanju možnega usedanja manj kakor en meter pod temeljnimi tlemi odlagališča in te razdalje ni mogoče zagotoviti z ustreznimi tehničnimi ukrepi. Odlagališča niso dovoljena niti na zemljiščih zunaj poplavnega območja, če je v območju poplavnih voda povratne dobe 500 let in če varstva pred poplavnimi vodami ni mogoče zagotoviti s tehničnimi ukrepi. [6]

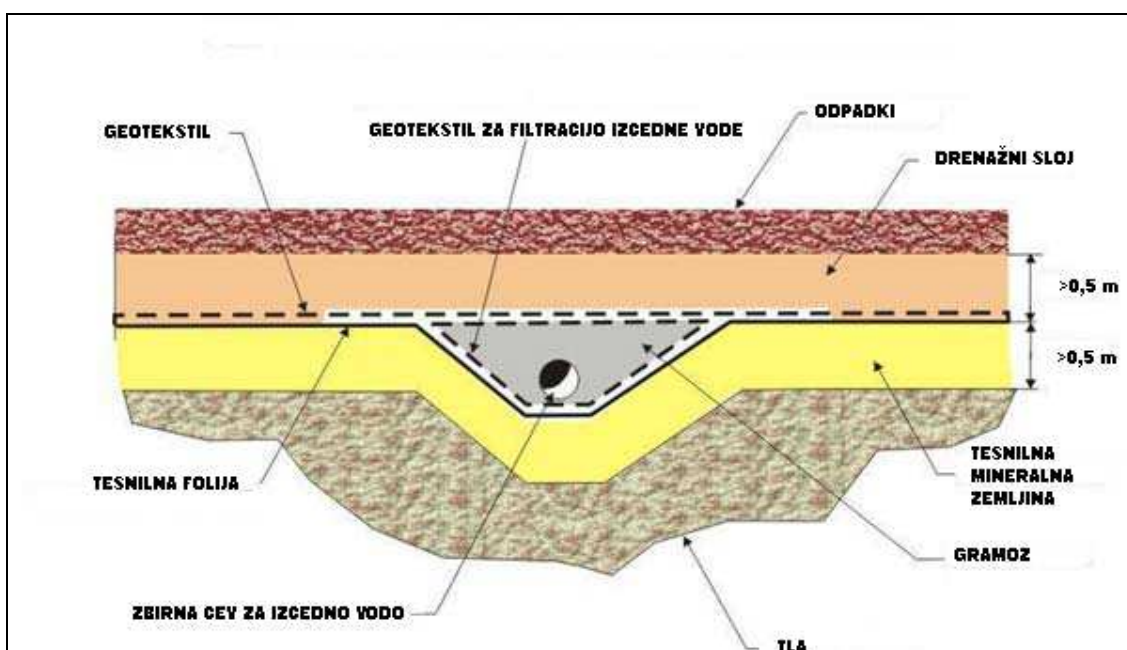
Odlagališče odpadkov mora biti oddaljeno vsaj 300 metrov od poselitvenih in rekreacijskih površin, javnih parkov, poljedelskih kmetijskih površin, zdravilišč in okrevališč ter vodotokov in ostalih vodnih teles. Telo odlagališča nenevarnih in nevarnih odpadkov ne sme biti v vidnem polju bivanjskih objektov do 600 metrov od zunanje meje odlagališča. [6]

Podtalje odlagališča mora biti geološko in hidrogeološko enotno vsaj na področju telesa odlagališča. Geološka sestava pa mora biti taka, da zavaruje tla in podzemne ter površinske vode pred onesnaženjem. Vodoprepustnost tal na območju telesa odlagališča mora biti manjša od $1 \cdot 10^{-9}$ m/s in debeline vsaj pet metrov za odlagališče za nevarne odpadke, manjša od $1 \cdot 10^{-9}$ m/s in debeline enega metra za odlagališče nenevarnih odpadkov in manjša od $1 \cdot 10^{-7}$ m/s ter debeline enega metra za odlagališče inertnih odpadkov. Te pogoje lahko zagotovimo tudi z nanosom umetnih tesnilnih plasti iz mineralnih zemljin na temeljna tla odlagališča. Debelina umetno nanese plasti pa ne sme biti tanjša od pol metra. Teh pogojev pa ni potrebno zagotoviti za gradbene odpadke s trdno vezanim azbestom in za odlagališče inertnih odpadkov, katerih izcedne vode ne povzročajo škodljivih vplivov na kakovost podzemne in površinske vode ter kakovost tal. [6]

Z odlagališča odpadkov je potrebno odvajati izcedne vode in sicer tako, da odtekanje izcednih vod zagotovimo po naravni poti s pomočjo gravitacijske sile. Če to ni mogoče, je treba zagotoviti odvajanje izcedne vode v lahko dostopne zbiralnike, ki se nahajajo zunaj telesa odlagališča. [6]

Telo odlagališča in njegovo podtalje morata biti dolgoročno stabilna, zato da se ob morebitnih deformacijah ne bi zmanjšalo tesnenje odlagališčnega dna, odvajanje izcedne in padavinske vode ali odplinjanje odlagališča. Zato je pri načrtovanju odlagališča potrebno upoštevati maso in lastnosti odloženih odpadkov, staranje materialov in vremenske vplive. [6]

Stabilnost odlagališča in nemoteno delovanje odvajalnih sistemov izcedne vode ter tesnenje dna zagotovimo s pravilno ureditvijo temeljnih tal odlagališča. Za pravilno tesnenje odlagališčnega dna in odvajanje izcednih vod pa sta potrebna še ustrezen nagib in ravnost temeljnih tal. [6]



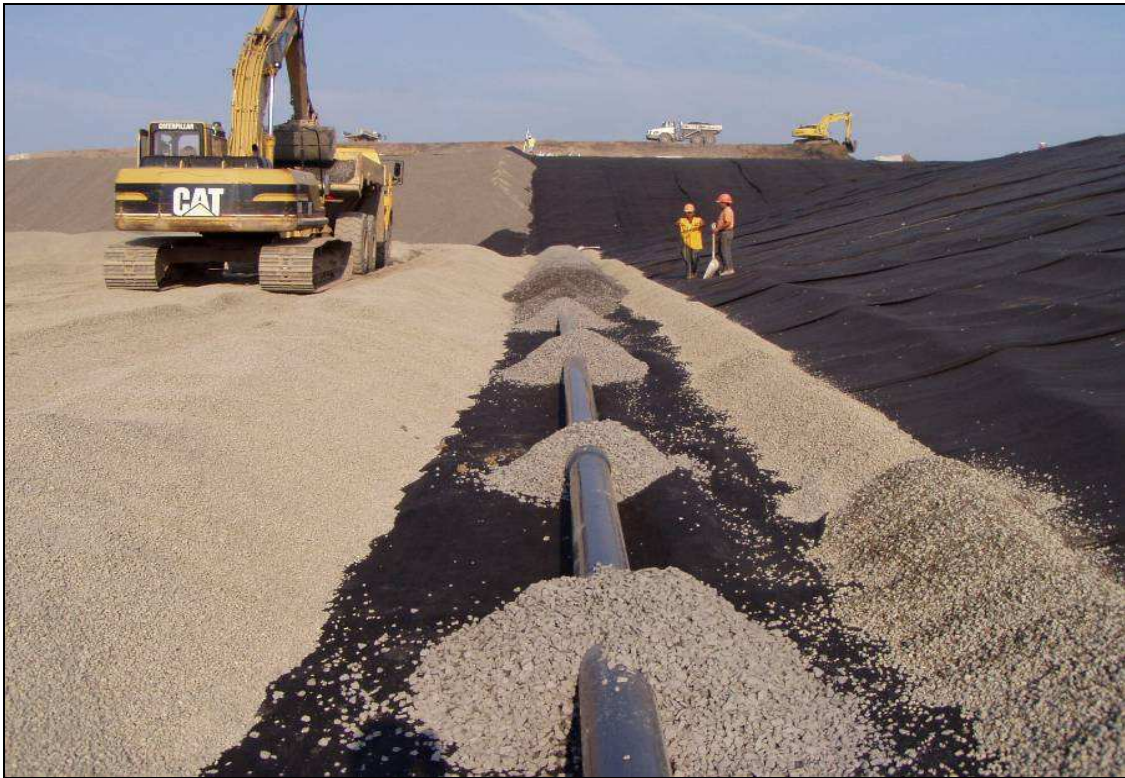
Slika 1: Temeljna tla odlagališča odpadkov [7]

Tesnenje odlagališčnega dna dosežemo s tesnilno folijo na katero se nanese več kot pol metra drenažnega sloja. Lahko se uporabi tudi druge tehnike in metode, le da z njimi dosežemo enakovredno tesnenje. Drenažni sloj, drenažne cevi in jaški morajo biti izvedeni na osnovi vodne bilance, omogočiti moramo še njihovo vzdrževanje in nadzorovanje. [6]



Slika 2: Tesnilna folija za tesnenje odlagališnega dna [8]

Zaradi neprekinjenega zbiranja in odvajanja izcedne vode na odlagališčih odpadkov je potrebno urediti sistem odvajanja izcedne vode. Sestavljen je iz drenažnega sloja in zbirnih cevi, po katerih se odvaja voda. Da se drenažni sloj ne zamaši, se nad drenažni sloj doda zaščitni sloj, odpadke pa se v telo odlagališča vnaša razpršeno. Izcedne vode se začasno skladišči v primerno velik zbiralnik izcedne vode, ki se nahaja izven območja odlaganja odpadkov, vendar znotraj odlagališča. Zbiralnik vode mora biti odporen na kemične vplive izcedne vode, varen pred eksplozijo in zadrževati mora neprijetne vonjave. [6]



Slika 3: Zbiralna cev in drenažni sloj za izcedno vodo na odlagališču odpadkov v gradnji [9]

Površine zapoljenih delov telesa odlagališča nevarnih in odlagališča nenevarnih odpadkov je treba prekriti. Prekrije se ga na tak način, da se zagotovi tesnenje in z vgradnjo sistema površinskega odvajanja padavinske vode ter odplinjanja. [6]

Tabela 1: Struktura posameznih plasti za prekrivanje površin zapoljenih delov telesa odlagališča [6]

Vrsta odlagališča	Odlagališče za nenevarne odpadke	Odlagališče za nevarne odpadke
Plast za odplinjanje	Zahtevana	Ni zahtevana
Tesnilna folija	Ni zahtevana	Zahtevana
Mineralna tesnilna plast	Zahtevana	Zahtevana
Drenažni sloj >0,5 m	Zahtevan	Zahtevan
Rekultivacijska plast >1m	Zahtevana	Zahtevana

Za površinsko tesnenje in prekrivanje odlagališča se lahko uporabi tudi druge tehnične rešitve ali materiale, vendar je potrebno doseči enako učinkovitost tesnenja prekrivala kot ga določa zgornja tabela. [6]

Rekultivacijska plast je lahko kompost in drugi trdni obdelani biološki odpadki, ki pa po sestavi ne izpolnjujejo pogojev iz predpisa, ki ureja vnos snovi v tla, vendar nobeden od parametrov njihovih izlužkov, razen celotnih raztopljenih snovi in DOC, ne presega

vrednosti parametrov izlužka, ki veljajo za odlaganje na odlagališča za inertne odpadke. [6]

Pri načrtovanju in obratovanju odlagališča je treba zagotoviti odvajanje površinske zaledne vode in podzemne vode iz odlagališčnega območja, tako da te ne pridejo v stik s telesom odlagališča. Vse vode, ki se na odlagališču naberejo, to so izcedne vode, padavinske vode (odvedene s površja odlagališča) in tehnološke odpadne vode, ki nastanejo pri čiščenju odlagališčnega plina, je treba zbirati ločeno od ostale neonesnažene vode, ki nastane na območju odlagališča. Če so na istem kraju različne vrste odlagališč, to so odlagališča za nevarne, nenevarne in inertne odpadke, potem je treba njihove izcedne vode in padavinske vode odvajati ločeno ter se pred njihovim čiščenjem med seboj ne smejo mešati. [6]

V primeru, da na odlagališčih nevarnih in nenevarnih odpadkov nastaja odlagališčni plin, je v tako odlagališče potrebno vgraditi sistem za zajemanje in sežig odlagališčnega plina. Naprave morajo biti dimenzionirane glede na količino odlagališčnega plina, obstojne ter varne pred eksplozijo. Odlagališčni plin se lahko uporabi za proizvodnjo energije, ko pa to ni možno, ga je potrebno sežgati na območju odlagališča in preprečiti njegovo uhajanje v ozračje. [6]



Slika 4: Zbiralne cevi za odvod plina [10]



Slika 5: Sistem za sežig odlagališčnega plina (bakla) [11]

V času obratovanja odlagališča se v okolico širi smrad. S primernimi ukrepi je potrebno zmanjšati širjenje smradu in preprečiti druge škodljive vplive za ljudi. Območje odlagališča je potrebno zaščititi pred vetrom, da ta ne odnaša prahu in odpadkov v okolico, preprečiti dostop živalim (pticam, glodalcem, insektom) do odpadkov, zmanjšati hrup zaradi obdelave in transporta odpadkov ter zavarovati ljudi pred požari zaradi samovžiga. [6]

2.1.2 Obratovalni monitoring odlagališča

Uredba o odlaganju odpadkov na odlagališčih (Ur. l. RS št. 32/06, 98/07, 62/08, 53/09) [6] zavezuje upravljavca odlagališča za nevarne ali nenevarne odpadke k izvajanju obratovalnega monitoringa. Zahtevajo se meritve meteoroloških parametrov, meritve emisij odlagališčnega plina, meritve emisije snovi pri odvajanju izcedne vode in onesnažene padavinske vode s površin odlagališča in meritve parametrov onesnaženosti podzemne vode z nevarnimi snovmi, če je v vplivnem območju odlagališča. Za izvedbo monitoringa ministrstvo pooblasti inštitucijo. Program izvajanja monitoringa potrdi ministrstvo v okoljevarstvenem dovoljenju za obratovanje odlagališča. [6]

Meritve parametrov onesnaženosti podzemne vode se izvajajo v skladu s Pravilnikom o obratovalnem monitoringu onesnaževanja podzemne vode (Ur. l. RS, št. 49/2006)

[12]. Ta pravilnik je bil sprejet na podlagi Evropske direktive sveta 1999/31/ES z dne 26. aprila 1999 o odlaganju odpadkov na odlagališčih (priloga III) [3].

Obseg obratovalnega monitoringa onesnaženosti podzemne vode vključuje merjenje gladine podzemne vode, globine opazovalne vrtine, predčrpanje vode iz opazovalne vrtine, vzorčenje, merjenje temperature zraka, vode, merjenje električne prevodnosti, pH vrednosti, vsebnosti kisika, motnosti in redoks potencial na samem mestu vrtine. Vodo iz vrtine je potrebno vzorčiti in vzorec pripraviti. V laboratoriju se vzorce podzemne vode analizira, izračuna in vrednoti spremembe osnovnih in indikativnih parametrov ter koncentracijo tistih onesnaževal, ki glede na značilnosti vira onesnaževanja lahko v primeru neposrednega ali posrednega izliva onesnaževal v podzemno vodo povzročijo onesnaženje podzemne vode. Zadnja faza je izdelava poročila o meritvah in analizah. [12]

Program monitoringa je sestavljen iz hidrogeološkega in kemijskega dela. V hidrogeološkem delu programa se prikaže hidrogeološke razmere s tokovno mrežo podzemne vode. Vsebuje še ničelno hidrogeološko stanje podzemne vode, ciljne hidrogeološke cone, opis lokacije, izdelave in opreme opazovalnih vrtin ter načrt preskušanja ustreznosti mreže opazovalnih vrtin. Kemijski del programa vsebuje značilnosti vira onesnaževanja, ki so pomembni za onesnaževanje podzemne vode, določitev indikativnih parametrov, ki so predmet monitoringa, pogostost meritev osnovnih in indikativnih parametrov ter določitev opozorilne spremembe osnovnih in indikativnih parametrov. V program obratovalnega monitoringa se vključi tudi merjenje koncentracij tistih onesnaževal, ki glede na značilnosti vira onesnaževanja lahko v primeru neposrednega ali posrednega izliva onesnaževal v podzemno vodo povzročijo onesnaženje podzemne vode. [12]

Tabela 2: Obratovalni monitoring odlaganja odpadkov – pogostost meritev [6]

MERITEV	POGOSTOST MERITEV	
	obratovanje	po zaprtju
Meteorološki podatki		
količina padavin	dnevno	meritve se izvajajo mesečno na isti dan v mesecu
temperatura (min, max, ob 14.00)		
hitrost in smer vetra		
vlaga-izhlapevanje (lizimeter ali računska metoda) in relat. vlaga ob 14.00		
Meritve emisij snovi v vode in zrak		
količina izcedne vode	mesečno	na 6 mesecev
parametri izcedne vode	četrtno	na 6 mesecev
parametri padavinske odpadne vode	vsakih 12 mesecev	/
količinsko stanje in parametri kemijskega stanja površinske vode	četrtno	na 6 mesecev
emisije plinov	mesečno	na 6 mesecev
Meritve onesnaženosti podzemne vode		
gladina podzemne vode	vsakih 6 mesecev po programu monitoringa	vsakih 6 mesecev po programu monitoringa
parametri kemijskega stanja podzemne vode		

2.2 Sledilni poskusi za določitev vpliva odlagališča na podzemne vode

Sledilni poskusi so splošne raziskovalne metode, s katerimi si raziskovalci oziroma natančneje hidrogeologi pomagajo pri raziskovanju in razumevanju transporta in usode onesnaževal v okolju oziroma vodnem telesu. Na podlagi vnosa znane koncentracije in količine sledilnega sredstva (barvilo, spore, bakterije, radionuklidi...) v vodotok ali podzemno vodo in monitoringom le-tega, lahko raziskovalci postavijo domnevo na proces, ki vpliva na transport in usodo večine vrst onesnaževal. S spremembo naravnega vodnega sistema, v katerega se vnese neko sledilo in opazovanjem odzivov v sistemu, se najučinkoviteje pride do spoznanja, kako potujejo onesnaževala v vodotokih in podzemni vodi. S sledilnimi poskusi ne pridobimo le pomembnih podatkov o toku vode, temveč tudi podatke, ki so potrebni za razvoj in snovanje modelov ter njihovo umerjanje in validacijo. Pri planiranem sledilnem poskusu je vnos sledila kontroliran, spremlja pa se tudi druge okoljske vplive, kot so npr. padavine. Negativna stran sledilnih poskusov je ta, da se v vodno telo vnaša kemikalije in s tem se lahko povzroči onesnaženje. Pomanjkljivost pa lahko predstavlja čas. V primeru, da se monitoring izvaja premalo časa, se nekateri pomembni mehanizmi ne morejo popolnoma razviti. Eden od takih mehanizmov je kemijska difuzija. [13]

V svetu je bila večina raziskav s sledilnimi poskusi opravljenih za določitev vpliva odlagališč radioaktivnih odpadkov na podzemno vodo. Abelin [14] in Cacas [15] sta ugotavljala prenos snovi v razpoklinskih magmatskih kamninah.

Sledilnih poskusov za komunalne deponije je bilo narejenih zelo malo. Večino poskusov so izvedli pri nas zaradi odlaganja odpadkov na krasu. Odlagališča odpadkov so nastala v preteklosti, danes veljavna zakonodaja prepoveduje gradno odlagališč na prepustnih kraških tleh.

V zadnjih letih je bilo izvedenih več sledilnih poskusov v okolici odlagališč na krasu z namenom določiti smeri in značilnosti toka podzemne vode in za določitev vpliva odlagališča ter za določitev učinkovitega programa za obratovalni monitoring podzemnih vod na vplivnem območju odlagališč. [16]

Z raziskavami onesnaževanja podzemnih vod zaradi odlaganja odpadkov so se ukvarjali raziskovalci z Inštituta za raziskovanje Krasa in Inštituta za rudarstvo, geotehnologijo in okolje. [16][17] Izvedli so se sledilni poskusi na deponiji komunalnih odpadkov pri Sežani, Kočevju (Mozelj) in Ribnici (Mala gora) z namenom, ugotoviti značilnosti pretakanja vode na območju odlagališča za potrebe monitoringa podzemne vode, ki je zakonsko predpisan.

S sledilnim poskusom pri Sežani so se osredotočili na smer in hitrost pretoka v podzemlje infiltrirane vode z območja odlagališča, hitrost transporta škodljivih snovi, ki jih je voda sprala iz odpadkov in v katerih izviri ali jamah z vodnim tokom se bodo te snovi pojavile. Hkrati se je spremljala količina padavin in hitrost pretokov, da so jih lahko primerjali s prenosom sledila. Sledilni poskus je trajal leto in pol. Injiciralo se je 35 kg uranina v sistem škrapelj, kateri se nahaja na robu odlagališča. Primarna smer toka podzemne vode je proti reki Timavi, v kateri se je v prvih dveh mesecih izteklo 42% celotne količine sledila, v 16 mesecih pa 93% sledila. Rezultati so pokazali, da je prenos sledila in s tem tudi kontaminantov odvisen od prehod skozi vadozno cono, količine in intenzitete padavin ter predhodne zapolnjenosti vadozne cone z vodo. [17]

Na odlagališču odpadkov Mala gora se je injiciralo 7 kg uranina v dobro prepustno razpoko na obrobju odlagališča. Vzorčevalo se je na 11 različnih mestih z različno

pogostostjo zajemanja. Na vseh 11 mestih zajema so se koncentracije uranina povečale po intenzivnejšem dežju. Iz tega se lahko sklepa, da se ob bolj namočenih obdobjih infiltrirana voda z raztopljenimi nevarnimi snovi pretaka v vadozno cono in po kraških kanalih naprej v izvire. [18]

Prestor in Janža z Geološkega zavoda Slovenije sta izvedla obsežnejšo hidrološko raziskavo vpliva mestnega odlagališča odpadkov Barje na podzemno vodo. Izvrtanih je bilo 19 vzorčevalnih vrtin – pizometrov, da so vzpostavili podrobnejšo opazovalno mrežo za spremljanje kakovosti podzemne vode in dinamike njenega pretakanja. Z matematičnim modelom sta ugotovila smer in hitrost toka vode z vzorčevanjem pa jasn vpliv redukcijskih pogojev v spodaj ležečih plasteh. [19]

Salama [2] se je s sodelavci osredotočil na razvoj peresasto oblikovanega madeža onesnaževal v peščenem vodonosniku. Nahajališče odpadkov v bližini Perth, Avstralija se nahaja med dvema zajetjema podzemne vode, katera sta ogrožena zaradi prenosa polutantov iz odlagališča odpadkov. S hidrogeološkimi raziskavami, rednim geokemičnim monitoringom in geofizikalnimi pregledi so določili parametre vodonosnika, spremembe kakovosti vode in širjenje onesnaženja. Hidravlično prevodnost so ocenili na podlagi velikosti granulometrije in jo potrdili s sledilnim poskusom, hkrati so še določili hitrost toka podzemne vode. Rezultati so pokazali, da se hitrost toka vode in stopnja razvoja onesnaženja ujemata. Z matematičnim modelom so izračunali stopnjo širjenja onesnaženja in pridobili pomembne podatke za ukrepanje. Kot sledilo so uporabili raztopino kalijevega bromida in ga injicirali v tri vrtine. Z vzorčenjem so pričeli dva dni kasneje, merili so električno prevodnost ter koncentracije kalija in bromida. Izkazalo se je, da je bromid konzervativno sledilo v primerjavi s kalijem. V vseh vzorcih se je najprej pojavil bromid, imel je tudi najostrejše vrhove (pike). Kalij se je močno razredčil, njegove koncentracije pa so nihale znotraj vrednosti ozadja. [2]

Rosqvist in Bendz [20] sta se osredotočila na transport raztopljenih snovi znotraj odlagališča komunalnih odpadkov. Uporabila sta 3.5 m³ 20 let starih komunalnih odpadkov, ki sta jih vstavila v eksperimentalno kolono v obliki cilindra. S poskusom sta skušala ugotoviti parametre, ki vplivajo na vodni tok (poroznost, hidravlično prevodnost, poljska kapaciteta). Skupno sta opravila 5 sledilnih poskusov. Dva pod konstantnim tokom vode in stacionarnimi pogoji. V ostalih treh so odpadke škropili s sledilom, dva konstantno, enega pa občasno. Sledila sta bila litijev bromid in Brilliant Blue FCF (drugi samo v prvem poskusu). S prvim sledilnim poskusom sta raziskovala prisotnost hitrejšega toka vode ob steni cilindra - mejni vpliv in ugotovila, da se to dogaja. Z drugim poskusom sta ugotavljala ali se z določenimi ukrepi ta hitrejši tok lahko ustavi. Rezultati so pokazali, da jima to ni uspelo celoti. S tretjim, četrtem in petim poskusom pa sta raziskovala transport raztopljenih snovi v nezasičenih pogojih. [20]

2.2.1 Uporaba sledil (predvsem sintetičnih) pri raziskovanju odlagališč odpadkov.

Uporaba sledil pri raziskovanju odlagališč je povzeta po preglednem članku Smart-a [21]. Uporabo sintetičnih sledil pri preučevanju lastnosti področja nekega odlagališča odpadkov in vpliva le-tega na podzemne in površinske vode delimo na štiri med seboj povezane aplikacije, s katerimi:

1. Potrdimo onesnaženje vodnega vira z izcedno vodo

Onesnaženje podzemnih ali površinskih vod z izcedno vodo je potrebno dokazati. To se lahko ugotovi po enostavnem načelu »vzrok-posledica«, npr. pojav nekega onesnaževala v vodi po odložitvi določenega odpadka v odlagališče. Pogosteje pa je potrebno opraviti primerjavo med onesnaženo vodo in vodo, ki se nahaja na območju odlagališča. Vendar je veliko kemijskih spojin nekonzervativnih (npr. celoten organski ogljik) ali pa so derivat drugega vira onesnaženja. Konzervativne snovi, kot je klorid, se pogosto uporablja kot sledilo za dokazovanje povezanosti odlagališča z izcedno vodo, vendar je vsebnost klorida lahko tudi odraz drugih procesov - npr. posipavanja cest s soljo v zimskem času. S sintetičnimi sledili pa na nedvoumen, jasen način ugotovimo vir onesnaženja.[21]

2. Raziščemo hidrologijo območja odlagališča

Pri ugotavljanju vpliva odlagališča odpadkov na vodne vire je ključnega pomena, da poznamo tok vode v samem telesu odlagališča in v podlagi pod njim. To je še posebej pomembno, če domnevamo, da se voda iz odlagališča izceja preko neprepustne podlage odlagališča in želimo izvesti sanacijska dela na tej plasti. Dodatno se sledilne poskuse izvaja zato, da se ugotovi stanje drenažnega sistema za izcedno vodo. Glede na pot, čas in vrsto preboja sledila v sledilnem poskusu se lahko ugotovi hidrogeološke procese, ki delujejo na območju odlagališča. V primeru, da se sledilo v vodi pojavlja občasno lahko sklepamo na nek periodičen režim odtekanja izcedne vode ali na vpliv padavinskih infiltracij v odlagališče.[21]

3. Določimo hidravlične lastnosti odlagališčnega materiala

Pogosto se klasičnih metod, ki se uporabljajo pri sledilnih poskusih npr. v vodonosniku, ne da uporabiti pri določanju poroznosti in prepustnosti odlagališčnega materiala, ker je narava materiala (odpadkov) nekompaktna in heterogena. Vendar so ti podatki potrebni, ko želimo določiti onesnaževanje s pomočjo matematičnih modelov. Sledilni poskus lahko celo »nakaže« vrsto matematičnega modela, ki ga potrebujemo. [21]

4. Napovemo onesnaženje z izcednimi vodami in redčenje

Namen večine hidrogeoloških študij pred oprtjem oziroma izgradnjo odlagališča odpadkov je ugotovitev hitrosti in smeri toka podzemne vode v smeri dolvodno od odlagališča in verjetnost pronicanja izcedne vode v tok podzemne. Te podatke se pridobi s sledilnimi poskusi. Z enostavnimi modeli, ki so osnovani na podatkih, pridobljenimi s sledilnimi poskusi, je mogoče izračunati razredčitev izcedne vode v danih pogojih. Razredčitev, ki jo dobimo je le splošna, če pa želimo natančnejše izračune, pa potrebujemo kompleksnejše matematične modele, ki pa zahtevajo obširno bazo podatkov. V praksi se bolj uporabljajo enostavnejši modeli.[21]

2.3 Vrste sledil

Sledilni poskusi so najbolj razviti v Evropi, kjer so teorične osneove zbrane v pregledni knjigi Kaess-a [13], pregledni skripti Britanskega geološkega zavoda [22] in navodila švicarskega Ministrstva za vodo in geologijo. [23]

Umetna in naravna sledila, ki so na voljo za sledilne poskuse v vodnih telesih se v grobem delijo na dve splošni kategoriji in sicer na naravna oz. »okoljska« sledila ter na umetna (sintetična) sledila. Naravna sledila se že nahajajo v samem podzemnem vodnem viru zaradi naravne prisotnosti ali kot onesnaževalo. Med naravna sledila uvrščamo izotope (npr. ^{226}Ra , tritij), naravne kemične spojine (CFC) in razne organizme. Umetna sledila pa se namensko vnaša v vodno telo zato, da se ugotovi njegove lastnosti. Umetna sledil delimo še na vodotopna in partikulatna. Med vodotopna sledila uvrščamo barvila, soli, surfaktante, arome, analitsko aktivirane izotope, kovine, temperaturo in aktivne izotope. Partikulatna sledila pa so spore, geobombe, bakterije, bakteriofagi in fluorescentne mikrosfere. [24]

Vsa sledila se ne uporabljajo enako pogosto. V sledilne namene se najbolj uporabljajo umetna oz. sintetična sledila.

Najprimernejša sledila so vodotopna barvila, ki so vidna oziroma merljiva, čeprav so razredčena. Najpomembnejša skupina barvil so fluorescentna barvila. Fluorescentna barvila so organska barvila, sestavljajo jih ogljik, vodik in kisik, v nekaterih primerih še dušik, žveplo in halogeni elementi. Večina fluorescentnih barvil je anionskih, le rodamin B je kationski. Fluorescenca je posledica dvojnih vezi v strukturi molekule. [22]

Zaradi fluorescence so z vidika analize visoko selektivna. Za razliko od kolorimetrije, kjer se meri le absorpcija svetlobe, se pri fluorometrični analizi uporabljata dve valovni dolžini in sicer ekscitacijo in emisijo. V uporabi je večje število fluorescirajočih substanc, vse z ločenimi in različnimi kemičnimi in fluorescirajočimi lastnostmi. [13] Vse substance so organskega izvora in se jih deli v tri skupine glede na valovno dolžino emisije:

1. Ksantenska barvila (zelene do rdeče barve): uranin, eozin, rodamin, eritrozin. [13]
2. Druga fluorescentna barvila (modre do zelene barve): piranin, natrijev naftionat, amidoflavin, lisamin. [13]
3. Optična barvila - lesketajoča barvila (modre barve): tinopal CBS-X, leukofor BCF. [22]

Fluorescentna barvila se razlikujejo še po stopnji adsorpcije in nekatera se zelo močno adsorbirajo na organske delce. Ta se najpogosteje uporabljajo pri ugotavljanju transporta rzkrojenih snovi, saj posnemajo adsorpcijo organskih spojin kot so npr. pesticidi. [23] Manj adsorbijiva barvila pa se uporabljajo pri raziskovanju npr. podzemnega vodnega toka. [22]

Nefluorescirajoča barvila absorbirajo svetlobo v vidnem delu spektra in jih zaznamo s prostim očesom ali z absorpcijsko spektroskopijo. [23] Primerna so pri sledilnih poskusih, kjer se preučuje vodotoke na krajših razdaljah in z relativno majhno vodno površino. [13] Ta barvila se uporabljajo le kot spremljajoča sledila zaradi njihove slabe meje detekcije, najpogosteje pa se jih uporablja pri raziskovanju poškodovanega

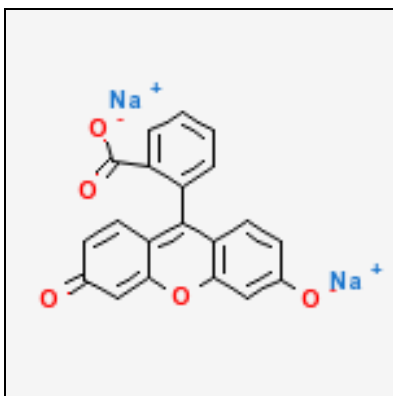
kanalizacijskega sistema.[18] Nefluorescirajoča barvila so malahit zeleno, anilin vijolično, fuksin in auramin ter kongo rdeče. [23]

Dobre rezultate dajo tudi sledilni poskusi s solmi. Sol je anorganska spojina, ki v vodi disociira na katione in anione. Pri uporabi soli v sledilnih poskusih je potrebno biti pozoren na to, da površinske in podzemne vode že vsebujejo relativno visoke koncentracije soli, še posebej pa moramo biti pozorni na odlagališčne izcedne vode, drenažne vode s površin in onesnažene vodotoke, saj imajo zelo visoka ozadja soli kar lahko povzroča težave pri izvedbi sledilnega poskusa. [13]

Ioni so nagnjeni k adsorpciji in ionski izmenjavi. Med tokom vode pod površjem so kationi mnogo bolj podvrženi absorpciji ali ionski izmenjavi kot anioni soli. Izguba kationov je odvisna od velikosti površine in sestave materiala vodonosnika ter je veliko večja v vodonosniku s porozno strukturo kot pa v kraško-razpoklinskem vodonosniku. T Anioni pa so podvrženi absorpciji v vodonosniku, ki vsebuje organske plasti. Soli, ki se najpogosteje uporabljajo pri sledilnih poskusih so natrijev klorid, kalijev klorid, litij, borat, stroncij in amoni. [22]

2.3.1 Uranin

Kemijsko ime uranina je dinatrijev 3-hidroksi-6-okso-9-(2'-karboksifenil)-ksanten, kemijska formula je $C_{20}H_{10}Na_2O_5$, molska masa pa znaša 376,28 g/mol. [13] Strukturna formula uranina je prikazana na sliki 6.



Slika 6: Strukturna formula natrijevega fluoresceina [25]

Uranin poznamo še pod imenom natrijev fluorescein. Valovna dolžina, pri kateri uranin maksimalno absorbira je 491 nm, fluorescira pa pri 512 nm, meja detekcije je odvisna od inštrumenta in ozadja ter se nahaja v območju od 0,002 do 0,01 $\mu\text{g/l}$. [23]

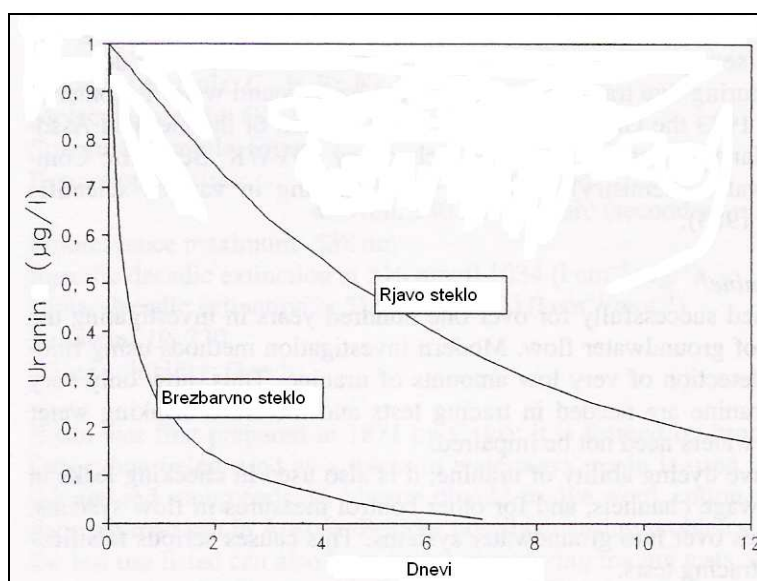
Pri kristalizaciji uranin tvori dolge, temno rdeče kristale, kateri ne fluorescirajo. Tudi koncentrirana raztopina uranina ne fluorescira, dokler se je močno ne razredči. Z redčenjem uranin disociira na natrijeve katione in uraninske anione. Prav anioni uranina fluorescirajo. Stopnji disociacije in fluorescence pa sta odvisni od pH vrednosti razredčene raztopine. [13]

Koncentracija vodikovih ionov zelo močno vpliva na jakost fluorescence uranina. Maksimalno fluorescenco doseže pri pH vrednostih večjih od 8,5. V nevtralnem območju (pH 7) fluorescira le z 80% maksimalne jakosti, medtem ko v pH območju pod 6,5 fluorescenca začne upadati. [22]

Na fluorescenco uranina vpliva še temperatura in sicer obratnosorazmerno, medtem ko slanost na fluorescenco uranina ne vpliva. [23]

Na uranin delujejo močni oksidanti, pri tem ga še posebej razgrajujejo kemične spojine, ki se uporabljajo za dezinfekcijo pitne vode – npr. klor in ozon. Ostali oksidanti, kot sta npr. permanganat in dikromat, pa uranina ne razgrajujejo. Prav tako na uranin nimajo vpliva reducenti. [22]

Svetloba ima zelo velik vpliv na raztopino uranina, saj ga razgrajuje. To dokazuje slika 7, kjer je bila raztopina uranina s koncentracijo 1 $\mu\text{g/l}$ v rjavi in prozorni steklenici izpostavljena svetlobi. Graf jasno dokazuje, da rjavo steklo zavlačuje razkroj uranina. [13]



Slika 7: Razgradnja raztopine uranina s koncentracijo 1 $\mu\text{g/l}$ zaradi vpliva svetlobe. Zgornja krivulja prikazuje razgradnjo v rjavi steklenici, spodnja pa v brezbarvni steklenici. [13]

Uranin se uporablja še v druge namene. Uporaben je kot barvilo v tekstilni industriji, v kozmetiki in čistilih. Poleg nefluorescirajočih barvil je uranin uporaben kot sledilo pri odkrivanju razpok v kanalizacijskem in vodovodnem sistemu. [22]

2.4 Priprava in izvedba sledilnega poskusa

V Nemčiji obstaja norma za pripravo, izvajanje in vrednotenje sledilnih poskusov. [26]

Izbira metode sledilnega poskusa, sledila in postopka, ki se jih bomo poslužili pri izvedbi sledilnega poskusa so odvisni od hidrogeološkega problema, ki ga preučujemo in podatkov, ki jih želimo pridobiti. [26]

Sledilni poskusi morajo biti temeljito planirani in pripravljani. Obseg priprav je odvisen od narave poskusa. Manjši poskusi, preko krajših razdalj potrebujejo manj časa za pripravo, manj potrebščin in pripomočkov v primerjavi z obsežnejšimi poskusi. [13]

Sledilni test se ponavadi začne s pregledom raziskovanega področja. Določijo se meje območja, mesto injiciranja sledila in vzorčevanja ter vrsto sledila, ki sega bo uporabilo. Potrebno je definirati točno smer poteka sledila, zato da se prepreči morebitne pomanjkljivosti v mreži vzorčevalnih mest. [13] Opravi se pregled predhodnih sledilnih testov, saj tako lažje ocenimo potrebno količino sledila in se izognemo nepotrebnim dodatnim stroškom in izgubi časa, saj je možno, da je veliko potrebnih informacij že na voljo. [22]

Pred izvedbo sledilnega poskusa je pomembno, da pregledamo vse obstoječe podatke glede hidrogeoloških, geoloških, geofizikalnih in geokemičnih lastnosti preučevanega okolja. Pomemben je pregled geoloških in hidrogeoloških kart, s katerimi se informiramo o kvalitativni in kvantitativni sestavi podzemne vode ter o smeri toka podzemne vode. [26]

Za optimalno pripravo testa je potrebno točno opredeliti namen in cilje sledilnega poskusa. V pripravljalni fazi se oceni potrebno višino sredstev za izvedbo testa.

V stroške so všteti sledilo, vzorčevalne posode, stroški pripravljanih raziskav, analiza vzorcev, pripravo poročila, stroški prevoza, shranjevanja vzorcev, stroške injiciranja in splakovanja sledila ter morebitne odškodnine zaradi škode, ki jo povzroči sledilo. [13]

V Sloveniji je dovoljenje za izvedbo sledilnega poskusa potrebno v primeru, da se sledilni poskus izvaja v vodovarstvenem območju. Dovoljenje za raziskavo podzemne vode v skladu z Zakonom o vodah podeli Agencija RS za okolje (Urad za upravljanje z vodami).

Uspeh sledilnega poskusa je v veliki meri odvisen od mesta injiciranja sledila in mesta vzorčevanja vode. Injiciranje sledila na več mestih hkrati da obširno hidrogeološko sliko vodonosnika. Tak način poskusa se izvaja v kamninskih vodonosnikih. V kraških predelih se sledilo injicira v požiralnike s stalnim pretokom. Podobno velja za vzorčevalna mesta. Bolje je imeti kakšno vzorčevalno mesto več, kot pa premalo. V primeru da se poskus izvaja s podtalno vodo in ni naravne poti do vode, se lahko izvede vrtino ali le izkop do podzemne vode. [13]

2.4.1 Izbira sledila

Pri izbiri sledila je več kriterijev, ki jih je potrebno upoštevati.

Izbira sledila je odvisna od obsega sledilnega poskusa, njegovega namena, koncentracija sledila, ko je ta naravno prisoten, analize tehnike, interakcije sledila s podzemno vodo in vpliv sledila na okolje. Pomembno je še, da ima sledilo take lastnosti, da posnema obnašanje onesnaževala, katerega preučujemo. [23]

Ker idealnega sledila ni, se ga izbere na podlagi več limitirajočih faktorjev. Prva dva taka faktorja sta absorpcija in ionska izmenjava. Anionske snovi niso v večji meri podvržene absorpciji oziroma ionski izmenjavi, medtem ko kationske snovi so. Med fluorescentnimi barvili ima uranin najmanjšo absorbljivost v nevtralnem in alkalnem mediju, zato se ga najpogosteje uporablja za poskuse v poroznih vodonosnikih. Vse alkalne soli so bolj ali manj podvržene ionski izmenjavi. Radioaktivne izotope se preoblikuje v močne komplekse, da se zatre adsorpcijo in ionsko izmenjavo. [13]

Velikost por vodonosnika je pomembna, ko se uporabljajo partikulatna sledila. Uporaba partikulatnih sledil je smiselna, ko se podzemna voda pretaka skozi širše razpoke

oziroma kanale, medtem ko v medzrnskem vodonosniku ni smiselna uporaba teh sledil, saj se bodo delci »filtrirali« med zrni. [22]

Zelo pomembna je kakovost vode, v kateri se izvaja sledilni poskus. Pomemben je predvsem pH, saj lahko kisla voda, ki z ogljikovo kislino preoblikuje uranin v močno absorbirane katione, prisotnost huminskih kislin v vzorcu pa zvišuje mejo detekcije fluorescentnih barvil. Mejo detekcije pri sledilnih poskusih s solmi zvišujejo tudi naravno prisotne soli v vodi. [13]

Pri vzorčenju vode v katerem se nahaja sledilo moramo biti pozorni na material v katerem se bo shranjeval vzorec. Fluorescentno barvilo rodamin B se adsorbira na stene steklenih vzorčevalnih stekleničk, najverjetneje zaradi njegove kationske narave. [23]

Adsorpcija rodamina WT na steklo se poveča v raztopini metanola in acetona, zato je pri izbiri sledila potrebno upoštevati onesaženost vodonosnika s topili. [22]

V prisotnosti ogljikovodikov, se fluorescentna barvila razgrajujejo, vendar še vedno se lahko dobi zadovoljive rezultate. [26]

Prav tako pomemben vpliv predstavlja svetloba. Nekatera fluorescentna barvila so občutljiva na svetlobo. Fotokemična razgradnja je večja za določena barvila – še posebej za piranin, fotin CU in fluorescein. [23] Uporabi se jih pri sledilnih poskusih v podzemnih vodah, kjer ni vpliva svetlobe ali pa ponoči v površinskih vodotokih, ko ni svetlobe. Tudi vzorce vode se shranjuje pred vplivom svetlobe v temi in hkrati tudi preprečimo rast alg. [13]

Eden od pomembnejših kriterijev pri izbiri sledila, je njegova toksičnost.

S sledilnimi poskusi se lahko onesnaži vodni vir, čemur se je potrebno izogniti. Onesnaženju se lahko izognemo le s pravilno uporabo sledil, ki so dokazano netoksična.

Pri izbiri sledila je odločilnega pomena njegova toksičnost za človeka in okolje. To je še zlasti pomembno, ko se sledilne poskuse izvaja v vodnem viru, ki se ga zajema za pitje ali v njegovi bližini. [24]

Podzemne vode lahko dosežejo površje v obliki izvira ali pronicanja in s seboj prinesejo sledilo. Taka voda se lahko izliva v zajetje pitne vode. Iz tega razloga bi bilo najbolje, da se pri sledilnih poskusih uporabljajo le preverjena sledila. [27]

Toksikološka študija zajema primerjavo strukture neke substance s strukturo drugih dobro poznanih karcinogenov ali mutagenov, sledijo še in-vitro in in-vivo testi, s katerimi se določi ali je substanca karcinogena ali mutagena. Z nadaljnimi testi se ugotavlja še ali substanca draži kožo in sluznico in ali substanca vpliva na razmnoževanje in razvoj. [23]

Nemška državna okoljska agencija je testirala toksičnost nekaterih najpogosteje uporabljenih sledil. Ugotavljala je genotoksičnost in ekotoksičnost sledil. Uporabili so standardizirane teste z vodnimi bolhami, ribe zebrice in mikroorganizem *Salmonella spp.* [27]

Nekatera sledila so bolj toksična od drugih. Tista sledila, ki so se uporabljala v preteklosti se jih ne priporoča več. Sledila in njihovi razgradni produkti ne smejo prekoračiti dovoljene meje, ki so predpisani za človeka in okolje. [22]

Genotoksikološki in ekotoksikološki testi so pokazali, da so fluorescentne barvila varna za uporabo. Testirana barvila, ki so se izkazala za varna, so uranin, eozin, amidorodamin G, natrijev naftionat, piranin, tinopal CBS-X in tinopal ABP (tekoči). [27]

Naslednja barvila pa so pokazala vpliv v vsaj enem od izvedenih testov:

- Sulforodamin B: varen je za človeka, vendar so testi pokazali, da je nevaren za okolje (test z vodnimi bolhami – $EC_{50}(48\text{ h}) = 0,7\text{ mg/L}$). [27]
- Rodamin WT: ima genotoksične lastnosti, zato se ga odsvetuje. [27]
- Rodamin B in rodamin 6G: oba sta genotoksična in oklju nevarna (ekotoksična), zato se ju odsvetuje. Delujeta mutageno in karcinogeno. [22][27]

Tabela 3: Rezultati testov sledil [27]

Sledilo	Genotoksičnost		Ekotoksičnost	
	Salmonella test	Citogenetski test	Test z vodno bolho	Test z ribami
Uranin	-	-	-	/
Eozin rumeno	/	/	-	/
Sulforodamin B	-	-	-	+
Amidorodamin G	-	-	-	-
Rodamin WT	+	+	-	-
Rodamin B	-	+	-	-
Rodamin 6G	+	+	+	-
Natrijev naftionat	-	-	-	-
Piranin	-	-	-	-
Tinopal CBS-X	-	-	-	-
Tinopal ABP (tekoči)	-	-	-	-
Polistirenske mikrosfere	-	-	/	/
Spore mahu	-	-	/	/

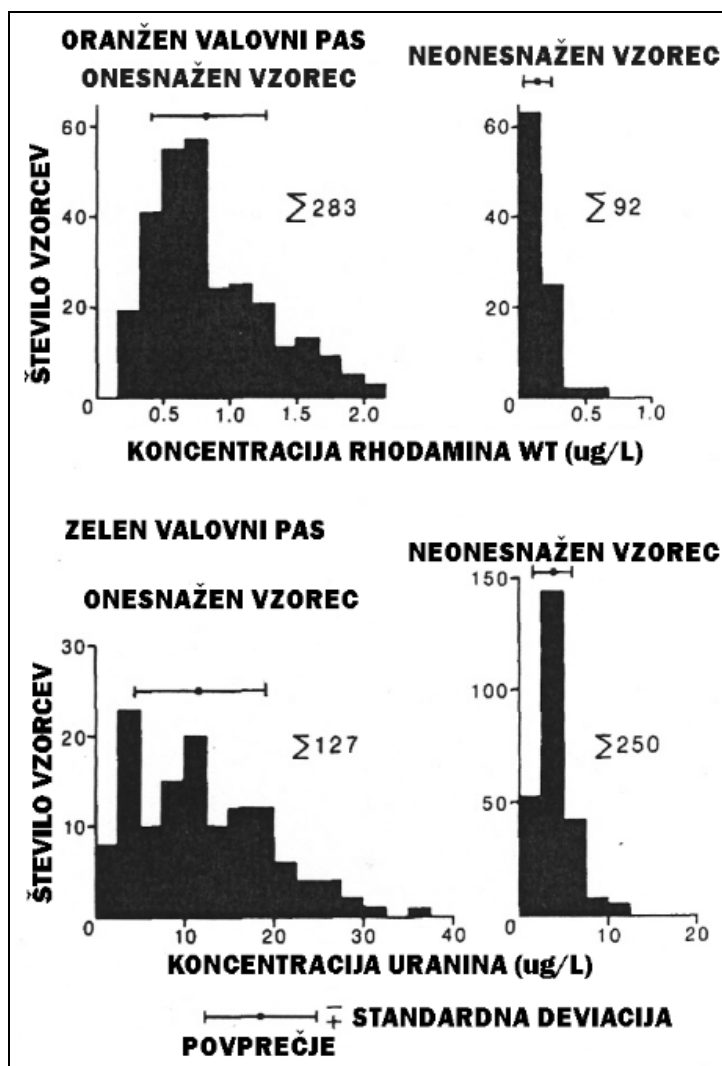
Pri izbiri sledila se ne sme pozabiti na to ali se vodno telo uporablja v kakršne koli namene, saj lahko vnos sledila v tla v bližini zajetja pitne vode povzroči onesnaženje le-tega. Fluorescentna barvila so organskega izvora in ne povzročajo fizioloških poškodb, povzročajo pa lahko nezaupanje prebivalstva, saj si nobeden ne želi imeti obarvane pitne vode. Zato se v sledilnih poskusih uporabi take koncentracije sledila, da po redčenju v vodnem telesu sledilo ni več vidno. [13]

2.4.2 Težave pri uporabi fluorescentnih sledil v vodi, onesnaženi z izcedno vodo

Pri sledilnem poskusu, ki se izvaja v vodi onesnaženi z izcedno vodo, lahko naletimo na težave. Največjo oviro predstavlja visok signal ozadja izcedne vode, saj vsebuje visoke koncentracije raztopljenih organskih spojin, katerih večina fluorescira. Signal ozadja je najbolj moteč pri tistih valovnih dolžinah, ki sovpadajo z modrim valovnim pasom. Signal ozadja je lahko tako visok, da se modro obarvanih fluorescentnih sledil raje ne uporablja v vodonosnikih, ki so onesnaženi z izcedno vodo, katera vsebuje

organske spojine. Slika 9 prikazuje srednjo vrednost in standardno deviacijo meritev vzorcev, ki vsebujejo zelena oziroma oranžna sledila. Vidno je, da sta srednja vrednost in standardna deviacija večja za vzorce, ki so onesnaženi z izcedno vodo, kot pa neonesnaženi vzorci. Zakritje je večje pri zelenem kot pa pri oranžnem sledilu. Torej so za onesnažene vode z organskimi spojinami najprimernejša oranžna sledila. [21]

V izognitev ali zmanjšanje vpliva »fluorescirajočega« ozadja je več poti. V primeru, da sledilo ne predstavlja težav z estetskega vidika, se lahko uporabi višje koncentracije sledila, tako da postane vidno s prostim očesom (50 µg/L). S tem dosežemo močnejši signal sledila. [21]



Slika 9: Primerjava fluorescence ozadja vzorcev ki, so kontaminirani oziroma nekontaminirani z izcedno vodo za oranžna in zelena sledila. [21]

Ko se koncentracija sledila v vzorcu določa s spektrofluorometrom, se lahko določi emisijski spekter vzorca. Če pa uporabimo spektrofluorometer s filtrom, lahko določimo koncentracijo sledila v vzorcu tako, da od vrednosti vzorca odštejemo vrednost ozadja (slepega vzorca) in dobimo le vrednost, ki velja za sledilo. Možno je tudi merjenje pri različnih valovnih dolžinah in izbere se najoptimalnejši rezultat. [21]

2.4.3 Količina sledila

Ustrezno količino sledila in njegovo prekomerno uporabo se ugotovi s pomočjo različnih formul. Formule podajo le približno količino (maso) sledila, ki je potrebna za sledilni poskus v danem okolju.

Optimalna količina injiciranega sledila je 10 do 100 krat višja koncentracija sledila v vzorcu, kot je koncentracija ozadja slepega vzorca na točki vzorčenja. [22]

Najsplošnejša formula, ki se jo lahko uporabi ne glede na tip vodonosnika in hkrati za različne vrste sledil je

$$M = Q \times L \times k \quad (1)$$

kjer je Q pretok vode [m^3/s], L je razdalja [km] in k je koeficient sledila (k za uranin = 0.25, k za fuksin = 5 in k za NaCl = 250). [13]

Za slabo prepustna tla, kjer se kot sledilo uporablja uranin, velja formula

$$M = Q \times L \quad (2)$$

kjer je M masa sledila [kg], Q je pretok vode [m^3/s] in L je razdalja [km]. [13]

Maso sledila lahko izračunamo po eno-dimenzionalni Fickovi disperziji s formulo

$$M = c_m \times A \sqrt{4 \times \Pi \times r \times \alpha} \quad (3)$$

kjer je c_m maksimalni pik koncentracije, A je površina prečnega prereza injekcijske vrtine, r je razdalja med mestoma injiciranja in vzorčenja, α pa je disperzija. [22]

Z UNESCO formulo se izračuna masa uranina, ki se jo uporabi v sledilnih poskusih v poroznih in razpoklinskih vodonosnikih:

$$M = K \times \left[\frac{(Q \times L)}{v} \right] + 0.002 \times V \quad (4)$$

kjer je K koeficient vodonosnika (porozni vodonosnik – 500, razpoklinski vodonosnik – 3000), Q je pretok vode [m^3/s], L je razdalja [km], v je hitrost toka podzemne vode [m/dan] in V je volumen podzemne vode, ki se jo preučuje. [13]

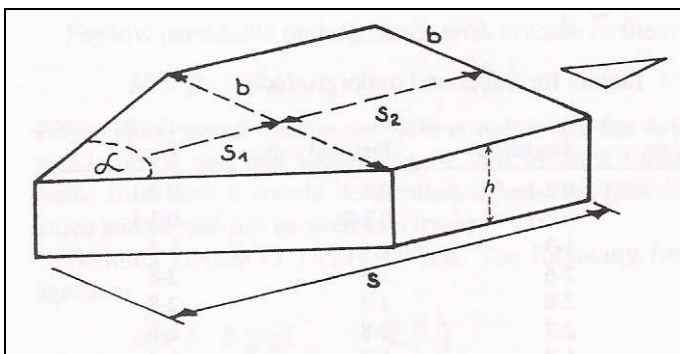
Naslednja formula velja za sledilne poskuse v poroznih vodonosnikih, poudarek pa je na absorpciji sledila. Osredotoča se tudi na razporeditev sledila, ki se zaradi disperzije širi na strani v obliki pahljače (slika 8): [13]

$$M = \text{tg} \frac{\alpha}{2} \times h \times s \times (2 \times s \times C_{max} \times A_m (2s - s_1)) \quad (5)$$

Ker je kot v večini primerov 30° , se formula spremeni v

$$M = 0,268 \times h \times s_1 (2 \times s \times C_{max} + A_m (2s + s_1)) \quad (6)$$

kjer je α kot s katerim se odpira pahljača, h je debelina vodonosnika, s_1 dolžina pahljače, s je razdalja med točko injiciranja in mestom vzorčenja [km], C_{\max} je maksimalna koncentracija [$\mu\text{g/l}$] in A_m je absorbirana količina sledila [mg/m^3]. [13]



Slika 8: Domnevni potek barvila v podzemni vodi. α je kot odpiranje pahljače, b je širina pahljače, s_1 je dolžina pahljače, s je razdalja med mestom injiciranja in mestom vzorčenja in h je debelina vodonosnika. [13]

S formulo:

$$M = \alpha \times L \times A \quad (7)$$

pa se določa potrebna količina sledila na podlagi razdalje med mestom injiciranja in mestom vzorčenja. α predstavlja korekturni faktor za sledilo [g/m] (uranin..1, eosin..2 piranin..5, tinopal..25), L je razdalja med mestom injiciranja in mestom vzorčenja [m] in A pa je prilagoditveni faktor za lastnosti vodonosnika (porozni vodonosnik od 0,1 do 0,5; razpokliski vodonosnik od 0,2 do 4; kraški vodonosnik od 1 do 10) [23]

2.4.4 Injiciranje

Injiciranje sledila se lahko izvede na katerem koli mestu, kjer lahko sledilo pride v podzemno vodo. Ta mesta so vrtine, požiralniki, močno namočena tla in peščena skalnata tla. [26] Injiciranje je lahko direktno ali pa indirektno. Pri direktnem injiciranju se sledilo ponavadi injicira preko vrtine ali izkopa in seže vse do zasičene cone vodonosnika. Najbolj optimalna rešitev je injiciranje skozi vrtino, saj se le tako zagotovi konstantne kontrolirane pogoje. Pri indirektnem injiciranju se sledilo ne injicira v zasičeno cono, temveč v nezasičeno cono vodonosnika. Pred injiciranjem sledila je potrebno mesto injiciranja namočiti in po injiciranju sledila dobro zaliti z vodo. [22]

2.4.5 Vzorčenje

Zelo pomembno je tudi vzorčenje. Vzorčevalec nosi pomemben delež odgovornosti, saj mora biti vzorec reprezentativen. Vzorcevanje mora slediti testnemu planu, bolje je imeti kakšen vzorec več, kot pa manj. Normalno je frekvenca vzorčenja na začetku poskusa večja, proti koncu pa se frekvenca zmanjša. [13]

2.5 Pretok vode v odlagališču odpadkov

Fizična sestava trdnih odpadkov, ki sestavljajo telo odlagališča, je zelo raznovrstna. Posledično je prisotnost in premičnost vode v odlagališču zelo neenakomerna. Iz tega razloga so procesi razgradnje odpadkov, ki so odvisni od količine vlage in transporta snovi v notranjosti odlagališča ravno tako neenakomerni. Ker je vodni tok neenakomeren, je kakovost in sestava izcedne vode odraz le dela odpadkov, koder se vodni tok nahaja. Nenadne spremembe v strukturi odlagališča lahko povzročijo spremembo smeri toka vode, hkrati se lahko spremeni tudi sestava izcedne vode. [20] Zaradi neenakomernega toka vode, odlagališče deluje kot nemešan biološki reaktor, kjer ima voda pomembno vlogo. Povečanje vlažnosti v odlagališču pospeši anaerobne razgradne procese, saj se poveča transport substrata, hranil in mikroorganizmov med mikrookolji v odlagališču, kar poveča stopnjo tvorbe metana. [20]

Kot posledica velike raznovrstnosti odpadkov, ki so sestavni del odlagališča, močno variirata parametra hidravlične prepustnosti in poljska kapaciteta. Oblika odpadkov olajša pretok vode, ker nastajajo utesnjeni rovi in vrzeli. Prostorsko nihanje vsebnosti vlage je veliko in prehaja od z vlago nasičenih prostorov do popolne osušenosti. Poljska kapaciteta je definirana kot največja možna vlažnost, ki jo porozen prostor še zadržuje, preden pride do iztekanja zaradi vpliva gravitacijske sile. V samem odlagališču odpadkov se izcedna voda sprosti preden se doseže poljska kapaciteta [28]. Voda se pretaka po lokalno zasičenih conah odlagališča, tudi če je v večini deponijskega telesa vlažnost veliko pod poljsko kapaciteto. Obstoj hitrejšega toka vode po prednostnih poteh med odpadki so dokazali na terenu in v laboratorijskem merilu. Z več raziskavami je bilo ugotovljeno [20][29][30], da je imel na transport raztopljenih snovi po strukturiranih tleh pomemben vpliv hiter tok po prednostnih poteh, ki je hkrati zaobšel druge dele poroznega prostora. Za opis tega procesa se je uveljavil izraz prednostni tok ('preferential flow'). Voda v preostalih delih tal ali deponijskega telesa teče znatno počasneje ali pa sploh ne. V prednostnih poteh prevladuje adveksijski transport snovi, medtem ko v območjih počasnejšega toka ali celo stagnirajoče vode prevladuje difuzijski transport, ki navzven deluje kot vir ali ponor raztopljenih snovi. Ta fenomen so poimenovali fizikalno ali transportno neravnotežje [31], ki močno omejuje napoved toka in transportnih procesov v poroznem mediju.

3 EKSPERIMENTALNI DEL

3.1 Opis lokacije terenskega dela – Odlagališče odpadkov Dragonja

Odlagališče nenevarnih odpadkov leži na obrobju doline reke Dragonje in sicer na njenem desnem bregu. Do odlagališča vodi pot iz vasi Dragonja po cesti v smeri proti jugovzhodu. Od vasi Dragonja je oddaljeno približno 600 metrov. Odlagališče leži na pobočju hriba, ki se spušča v smeri proti jugovzhodu. Na platoju nad odlagališčem se nahaja vas Sveti Peter in zaselki Kozloviči, Koščiči in Šterenci. Večji del okolice odlagališča je gozdnat, le del terena tik ob severozahodu odlagališča predstavljajo terasasto urejene njive. Severno od odlagališča se začne izrazita grapa, ki na zahodni strani odlagališča zavije proti jugu in se konča na ravnici. Na južni strani odlagališča se razprostira ravnica, na kateri so sadovnjaki in njive. [32]



Slika 10: Posnetek odlagališča odpadkov Dragonja iz zraka z označenimi vzorčevalnimi mesti in mesto injiciranja uranina [33]



Slika 11: Odlagališče odpadkov Dragonja, slikano z obrežja reke Dragonje. Na vrhu griča je viden zaselek Koščiči.

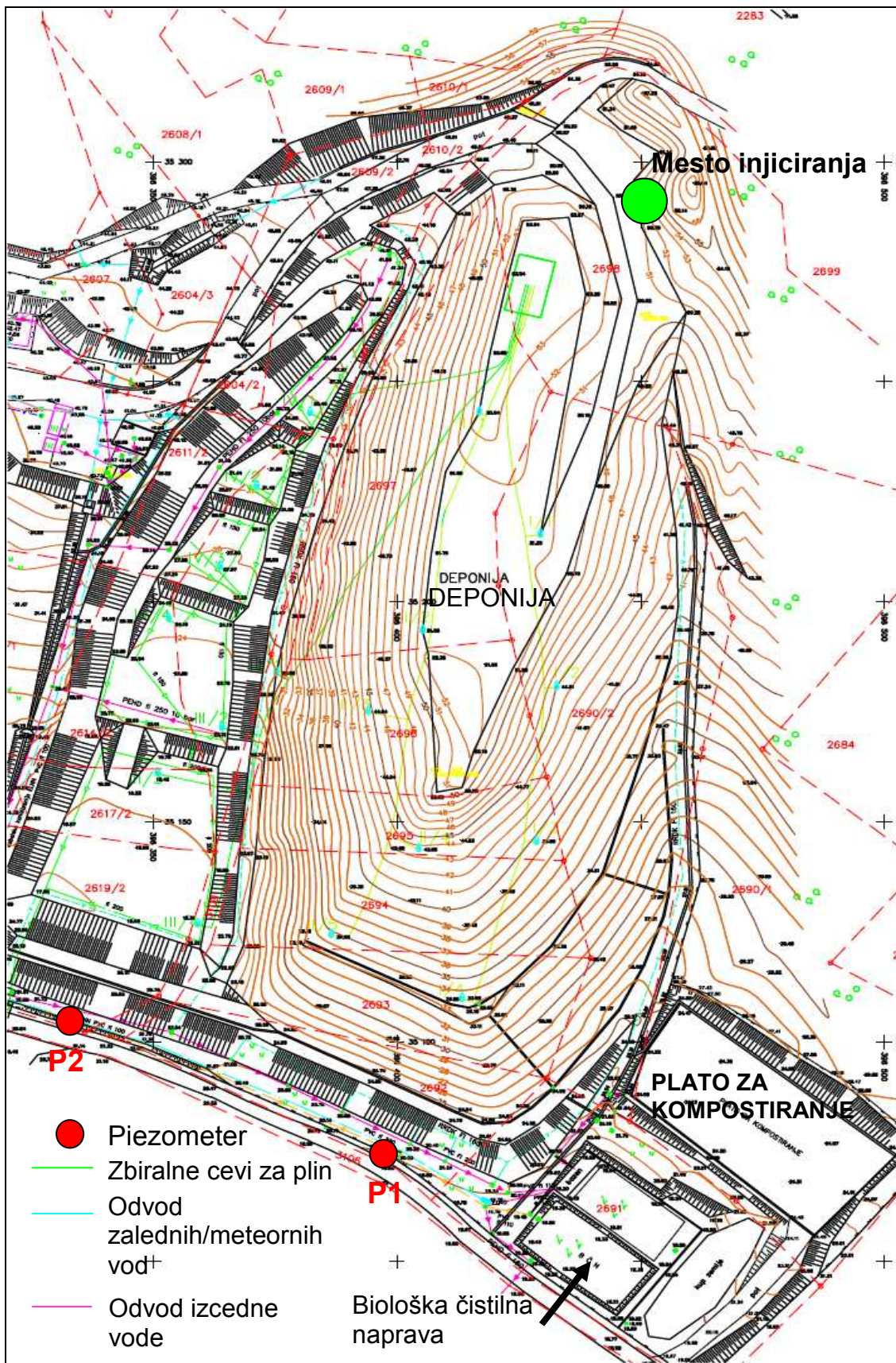
3.2 Splošne značilnosti odlagališča

Odlagališče Dragonja obratuje vse od leta 1964. Sprejema odpadke iz piranske občine, v kateri živi okrog 17.000 prebivalcev. Odlagališče obsega stari in novi del. Stari del odlagališča se nahaja na flišni podlagi in nima ustreznega tesnenja. Deloma so bili urejeni sistemi za odvajanje izcednih in padavinskih vod ter odplinjevalni jaški. Leta 1992 so delno sanirali stari del odlagališča. Izcedne vode so tako speljali v rastlinsko čistilno napravo in pričeli kompaktirati odpadke. V letu 1995 so zgradili novi del odlagališča in uredili zbirni center. Dno novega dela odlagališča je tesnjeno z geobentom in PEHD folijo. Urejen je sistem za zbiranje in odvajanje izcednih ter padavinskih vod. Postavljeni so tudi odplinjevalni jaški. Z odlaganjem odpadkov na novem delu odlagališča se je pričelo leta 1997. Kapaciteta novega dela odlagališča je približno 230.000 m³. Količina odpadkov, ki se jih na leto odloži pa je okrog 8.400 m³. [34]

Odplinjanje in odvajanje izcednih ter padavinskih vod na odlagališču poteka na naslednji način: [34]

- Urejeno je zajemanje odlagališčnega plina preko odplinjevalnih jaškov, odvajanje odlagališčnega plina in sežig na bakli
- Izcedne vode se se zbira in odvaja preko drenažnih cevi v bazen izcednih vod, od koder odtekajo v rastlinsko čistilno napravo. Izcedna voda se po čiščenju v rastlinski čistilni napravi čisti še v čistilni napravi KALDNES. Tu je način čiščenja odpadne vode s pritrjeno biomaso. Biomasa je pritrjena na mobilne polietilenkse nosilce z manjšo gostoto od vode, ki se prosto gibljejo v reaktorju (MBRR – Moving Bed Biofilm Reactor). Čistilna naprava je dvostopenjska s prsotornino 22 m³. Od tega je 5 m³ za odstranjevanje organske obremenitve, 17 m³ pa za nitrifikacijo amonijevega dušika. Po čiščenju v čistilni napravi 'Kaldnes' se vodo spusti po kanalizaciji v čistilno napravo v vasi Dragonja.
- Padavinske vode se zbirajo v kanaletah in se odvajajo po zbirnem kanalu ter zbirnem jašku v površinski odvodnik ali se jih prečrpava na rastlinsko čistilno napravo.
- Zaledne vode se zbirajo iz pobočja nad odlagališčem in odvajajo na enak način, kot se dovajajo padavinske vode.

Na sliki 12 je prikazano odlagališče odpadkov Dragonja. Del odlagališča na desni strani slike, ki ima vrisane izohipse, je stari del odlagališča, stopničasti del na levi strani pa novi del. V spodnjem desnem kotu je vrisana biološka čistilna naprava (BČN) – dva vzporedna bazena, nad BČN je plato za kompostiranje. Zelene črte, ki so vrisane v deponijo so plinjaki za odvajanje odlagališčnega plina, modre črte pa ponazarjajo potek cevi za odvod zalednih in meteornih vod. Črte, ki so vijolične barve predstavljajo odvod izcedne vode iz odlagališča v čistilno naptavo, rdeče črtkane črte pa so meje parcel.



Slika 12: Shema odlagališča odpadkov Dragonja z infrastrukturo [35]

3.3 Podnebje slovenske Istre

Za kraje, ki se nahajajo ob Tržaškem zalivu je značilno prehodno podnebje. Tu se stikajo klimatski vplivi mediterana in celine. Tako podnebje se je v strokovni literaturi uveljavilo pod imenom submediteransko oziroma omiljeno mediteransko (sredozemsko) podnebje. Po Koppenovem klimatskem sistemu se podnebje Severnega Jadrana uvršča med zmerno tople, vlažne klime. [36]

3.3.1 Osnovne značilnosti sredozemskega podnebja

Najosnovnejše značilnosti sredozemskega podnebja so mile, deževne zime in topla oziroma vroča poletja. Povprečne temperature najhladnejšega meseca se gibljejo med 4 in 13°C. [34]

Najtoplejši mesec pa je julij, s povprečno temperaturo višjo od 22°C. Dnevni maksimumi pa dosežejo med 35 in 38°C. [36]

Sredozemski kraji imajo zelo različno letno količino padavin. Izrazit je sezonski značaj padavin, s sušno dobo poleti in mokro pozimi. Padavine se v Sredozemlju zmanjšujejo od zahoda proti vzhodu in od severa proti jugu. Več kot 1000 mm padavin dobijo najbolj namočeni kraji, najbolj sušni pa manj kot 250 mm. Nekatere definicije razlagajo, da ima pravo sredozemsko podnebje pozimi trikrat več padavin kot poleti. [34]

3.3.2 Klimatska členitev Slovenske Istre

Kljub relativno majhni površini, je Slovenska Istra zaradi razgibanega reliefa s klimatskega vidika zelo pestra pokrajina. Tu se prepletajo hribovja, kraške planote, gričevje, fluviokraška podolja, doline rek in obmorske ravnice. Zelo pomemben je tudi stik morja in kopna, odprtost določenih predelov proti morju in oddaljenost od njega. [36]



Slika 14: Klimatska členitev Slovenske Istre [36]

Slovenska Istra se glede na klimo razdeli na pet večjih klimatskih enot: [36]

1. priobalni pas,
2. osrednje flišno gričevje,
3. Podgorska in Pregarska planota,
4. Slavnik in Čičarija,
5. dna dolin in fluviokraških podolij.

Odlagališče odpadkov leži v dolini v priobalnem pasu

Klima priobalnega pasu zajema obalni pas do nadmorske višine 200 – 250 m in spodnje dele dolino do njihove zožitve. Ne obsega pa ravníc v spodnjem toku rek. V tej klimatski enoti se najizraziteje opazi vpliv morja in to se najbolj opazi pri temperaturah. Povprečne minimalne temperature so ob morju za 2,5 do 4°C višje od minimalnih temperatur v zaledju, maksimalne pa so nižje za 0,5°C. Med 1000 in 1100 mm se giblje letna količina padavin, so pa manj pogoste izdatnejše padavine v primerjavi z zaledjem. Glede na višje zaledje je v tem pasu več megle, ki večinoma nastaja pozimi. Obalni polotoki so najbolj izpostavljeni vetrovom in sicer burji ter jugu. Klimatske razmere so vidne tudi na rastlinstvu, tu še uspeva oljka. [36]

V posebno klimatsko enoto uvrščamo vale in fluviokraška podolja (Kubejsko podolje, Movraška, Smokavska, Gračišča, Likinska in Sočerska vala) ter doline (Osapska, Rižanska, dolina Badaševice, Dragonje, Rokave, Roje in Fazana) zaradi močnih nočnih temperaturnih inverzij, ki se pojavljajo v vseh letnih časih in so pomembne za naravno in kulturno rastje. Do zelo močnih inverzij prihaja v fluviokraških podoljih, uvalah in v zgornjih delih dolin, zato to enoto delimo še na dve podenoti. V prvi

podenoti so predeli z močnimi inverzijami, v drugi pa spodnji deli dolin v priobalnem pasu, kjer so inverzije šibkejše. V prvi podenoti so razlike v temperaturi med kraji v inverznem območju in višjimi pobočji do 8°C, v priobalnem pasu pa so te razlike od 3,5 do 5°C. Posledica inverzij po dolinah so slane pozimi in večja nevarnost pozeb. Prav zaradi nevarnosti pozeb se v primerjavi z obalnimi predeli za približno mesec dni kasneje posadi kmetijske kulture. Nižje nočne temperature in pedološke razmere so razlog, da se doline izkorišča predvsem za njive in travnike, medtem ko so pobočja izkoriščena za oljčne nasade, vinograde in sadovnjake. [36]

3.3.3 Prostorska razporeditev padavin v slovenski istri

Mezoreliefne razmere so odločilnega pomena pri prostorski razporeditvi padavin v Slovenski Istri. Skoraj nepomembno vlogo imajo mikroreliefne razmere. Najbolj namočena predela sta Slavnik in Čičarija, ki prejmeta več kot 1600 mm padavin letno. Tu se zračne mase ob višjih pobočjih dvigajo, ohlajajo in oddajajo padavine. Količina padavin se od Slavnika in Čičarije proti obali znižuje, vendar zniževanje oziroma naraščanje padavin v nasprotni smeri ni enakomerno. Obalni pas do izolinije Tinjan – Labor prejme letno v povprečju med 1000 in 1100 mm padavin. Pri naraščanju količine padavin v notrnjosti nima vpliva nadmorska višina posameznih krajev, temveč pomembneje vpliva bližina bolj vzpetega sveta. Padavine tudi hitreje naraščajo na Tržaškem. [36]

Sama količina padavin močno niha med posameznimi obdobji in leti. Podobno nihanje padavin je opaziti med posameznimi letnimi časi. Padavine so najbolj variabilne v letnem času, ko jih je največ. To pa je v jeseni. Največja konstantnost padavin je spomladi. [36]

3.3.4 Padavinski režim

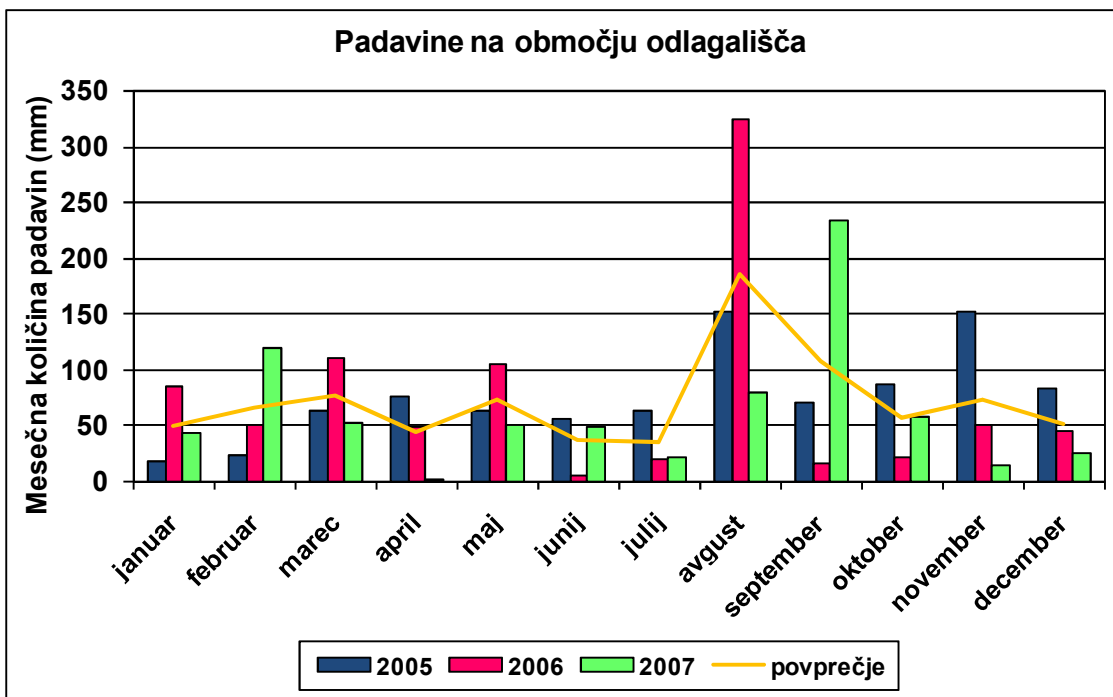
Glede na padavinski režim so opazne poteze submediteranskega padavinksega režima. Mediteranski režim ima izrazitejša sušna obdobja (poleti) in obdobja večje namočenosti (pozimi), medtem ko ima submediteranski režim padavine približno enakomerno razporejene skozi celotno leto. Le jesen iztopa v manjši meri, saj takrat pade okrog 30% letne količine padavin, v ostalih letnih časih pa nekaj nad 20%. [24]

Minimumi in maksimumi padavin niso izraziti. Razlika med njimi znaša okrog 5% letne vsote. Primarni maksimum najbolj iztopa in se na celem območju Slovenske Istre pojavlja v jesenskih mesecih. [36]

Julij, februar in redkeje marec pa so najbolj sušni meseci. Tedaj pade v vseh primerih približno 6% letne vsote padavin. [36]

Tako kot sezonske in letne vsote padavin so tudi mesečne vsote padavin zelo variabilne. Največje variacije padavin so v obdobju med septembrom in marcem, višek je v oktobru ponekod tudi v februarju. Najmanjša variabilnost pa je med marcem in junijem. [36]

Maksimalna količina padavin lahko v vseh mesecih presega dolgoletne povprečja za 100%. Po ekstremnih padavinah izstopajo oktober in november, občasno tudi september. Takrat pade za 3 do 4-krat povprečne letne količine padavin. [36]



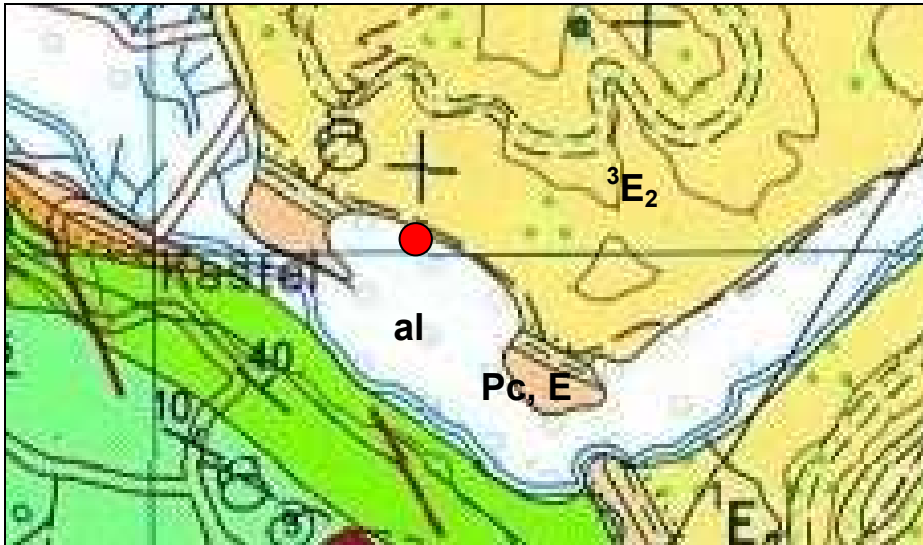
Slika 15: Povprečne mesečne padavine po letih (2005-2007)


3.4 Geološke in litološke značilnosti bližnje okolice odlagališča

Ozemlje, na katerem se nahaja deponija, pripada v širšem geotektonskem smislu Tržaškemu paleogenemu bazenu in sicer na njegovi južni meji. Južno od njega je tektonski prodor Savudrija - Buzet, ki meji na Pazinski paleogeni bazen, meja med njima pa je pretežno tektonska. Skladi eocenskih flišev so nagnjeni proti severu in severozahodu, proti severu pa prehajajo v horizontalno lego. Na splošno predstavljajo območja obeh bazenov večje sinklinorije, ki so prelomljeni ali gubani in v katerih so bili odloženi eocenski klastični sedimenti. [37]

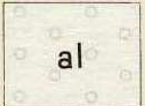
Širšo okolico deponije sestavljajo na jugu, na levem bregu reke Dragonje, cenomanske in turonske plasti apnenca, ki razmeroma strmo padajo proti severu. Apnenec je sive barve, včasih tudi rjavkast, z lečami diagenetskega dolomita in dolomitiziranega apnenca. Apnenci so jedrati ali pa drobno kristalasti. Med apnenci so tudi vložki roženca v obliki tankih plasti. Svetlosive, skoraj bele apnenec prištevamo delno v cenomanske, delno v turonske plasti. Na raziskanem območju ima ta apnenec pogosto rožnato barvo in je debeloskladovit ali pa masiven. Apnenci so obstojni na mehanske vplive, vendar jih kemična erozija močno napada. Posledica skrasevanja so podzemne jame in kraški kanali. [34]

Nad krednimi apnenci so naloženi foraminiferni apnenci paleocensko eocenske starosti. So rjavkaste barve in se deloma nahajajo v obliki plasti, to je skladovito in deloma kot masivni apnenci. Obstojni so proti eroziji, zato jih skrasevanje intenzivneje zajema le površinsko. Pobočja so zato prekrita s škrapljami, mestoma pa tudi melišči. [34]



 3E_2 Menjavanje peščenjaka in laporja, srednje serije eocenskih klastičnih kamnin z vložki fosilifernega apnenega konglomerata in breče ali apnenega peščenjaka

 Pc, E Foraminiferni apnenec: miliolidni, alveolinski in numulitni apnenec

 al Aluvij

Slika 16: Geološka karta območja odlagališča odpadkov [38] in tolmač karte [39]

Po geološki starosti navzgor sledijo eocenske klastične kamnine – fliši. V seriji se menjavajo peščenjak in lapor. Občasno se pojavljajo posamezni vložki kalkarenita ter apnenčevih konglomeratov in breč. Laporji so glinasti, sive in rumenkaste barve, apnenčeve komponente pa so kompaktnije. Peščenjaki so sive, rumenkaste ali modre barve, apnenčevi in drobnozrnati. Nahajajo se v skladih, debeline do 2 metrov. [34]

Na območju deponije sta dva tipa kvartarnih sedimentov. Prvi tip predstavljajo preperine flišnih kamnin. Pobočja gričev prekriva debela plast heterogene preperine, katero sestavljajo peščene, glinene in meljne komponente. Preperina je nastala zaradi mehanskega in kemičnega preperevanja matične flišne podlage. Na območju odlagališča je ocenjena debelina preperine 7,8 metra, podobne debeline preperine pa se nahajajo tudi v okolici. [32] Drugi tip kvartarnih sedimentov pa so aluvialni in morski sedimenti doline reke Dragonje. Nahajajo se na ravninskem delu doline reke Dragonje. Ti sedimenti so posledica poplavljanja morja v geološki preteklosti ter sedimenti, ki jih je reka odložila v času poplavljanja ter so splazeli s pobočij doline. Sedimenti so meljasto – glinasti, rjave barve in vsebujejo organske ostanke. Zaradi takega tipa sedimentacije imamo opraviti z zelo heterogenimi sedimenti, zaradi česar se lokalno heterogeni pogoji hitro spreminjajo. [32]

Pod naplavinami so temno sive do modre plastične glin. V njih so na določenih mestih prisotni ostanki organskega izvora in posamezni prodniki ali drobci matičnih klastičnih ter karbonatnih kamnin. Vrtine P4, P5 in P6 imajo tudi v temnejši glinasti plasti peščene leče, v katerih je ujeta podzemna voda, ki ima vonj po razpadajočem organskem materialu v glini. [37]

Kvartarne naplavine na območju vrtine P5 so debele približno 16 metrov, podlaga je karbonatna plast v eocenskih flišnih sedimentih. Podlaga proti jugozahodu se pogreza, dviga pa se proti severozahodu, zato je na območju vrtine P7 le še 4,3 metra pod površino. Podlaga vrtine P7 je paleocenski apnenec, ki razmejuje karbonatne plasti krede in klastite terciarja. [37]

Nad paleocenskim apnencem se nahaja flišna serija klastitov z vložki karbonatnih peščenjakov. Ta peščenjak je na globini 16 metrov zadela vrtina P5. Med cesto in deponijo sta locirani vrtini P2 in P3, ki sta naleteli na klastične lapornate sedimente v globini 6 metrov. Ta sediment gradi desni bok doline in na njem je postavljena deponija. Deluvialni preperinski pokrov na teh klastih se od aluvija reke Dragonje razlikuje po svetlejši barvi in po vsebnosti ostrorobih delcev matične kamnine. [37]

Maksimalna debelina kvartarnih sedimentov je ocenjena med 20 in 30 metri. [32]

3.5 Hidrogeološke razmere

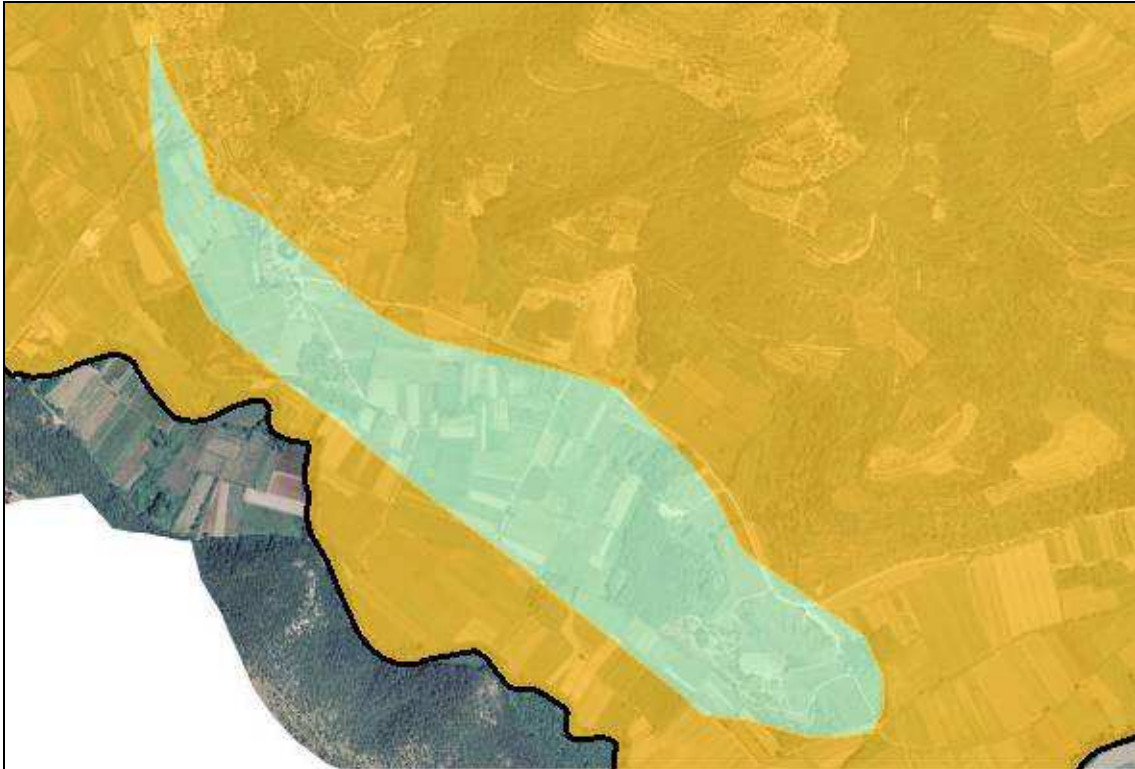
Območje odlagališča odpadkov Dragonja spada pod vodno telo Obala in Kras z Brkini, v povodje Jadransko morje. [40]

Hidrogeološke razmere so v veliki meri odvisne od litoloških in tektonskih razmer obravnavanega področja.

Kredni apnenci so kraško razpoklinski vodonosnik s kanalsko in razpoklinsko poroznostjo. V teh apnencih nastopajo večinoma zakrasele razpoke, posledično imamo v vodonosniku posamezne kaverne. Kot celota je vodonosnik krednih apnencev srednje do slabo prepusten s koeficientom vodoprepustnosti »k« manjšim od 10^{-5} m/s. V intenzivno zakraselih delih vodonosnika pa imamo opraviti s preferenčnimi smermi toka podzemne vode in s tem z relativno hitrim tokom podzemne vode in lokalno dobro prepustnostjo vodonosnika. [32]

Podobno kot kredni apnenci so tudi paleocenski in eocenski apnenci opredeljeni kot kraško razpoklinski vodonosnik s kanalsko in razpoklinsko poroznostjo. Ta litološka enota ima zelo podobne hidrogeološke lastnosti kot kredni apnenci. [32]

Zelo nizko prepustnost pa ima flišni lapor. Na podlagi analogije s podobnimi tereni lahko njegovo prepustnost ocenimo na manj kot 10^{-10} m/s, zato ga lahko s praktičnega vidika obravnavamo kot neprepustnega. [32]



Oranžno obarvano – fliš ■: plasti, ki tvorijo neznačilne vodonosnike z lokalnimi ali omejenimi viri podzemne vode ali plasti dejansko brez virov podzemne vode
 Modro obarvano – aluvij ■: plasti (medzmske), ki tvorijo neznačilne vodonosnike z lokalnimi ali omejenimi viri podzemne vode slabše izdatnosti (vodonosni sistem Sečovlje Dragonja)

Slika 17: Hidrogeološka karta (Atlas okolja) [33]

Fliš kot celoto lahko obravnavamo kot slabo prepustno vodonosno strukturo, saj je njegov koeficient prepustnosti ocenjen na manj kot 10^{-7} m/s. Med posameznimi litološkimi členi fliša pa so prisotne velike razlike v prepustnosti. Nekoliko hitrejši tok podzemne vode znotraj flišov je možen le v kalkarenitnih in karbonatnih brečah ter konglomeratih (koeficient prepustnosti je med 10^{-5} m/s in 10^{-6} m/s). [32]

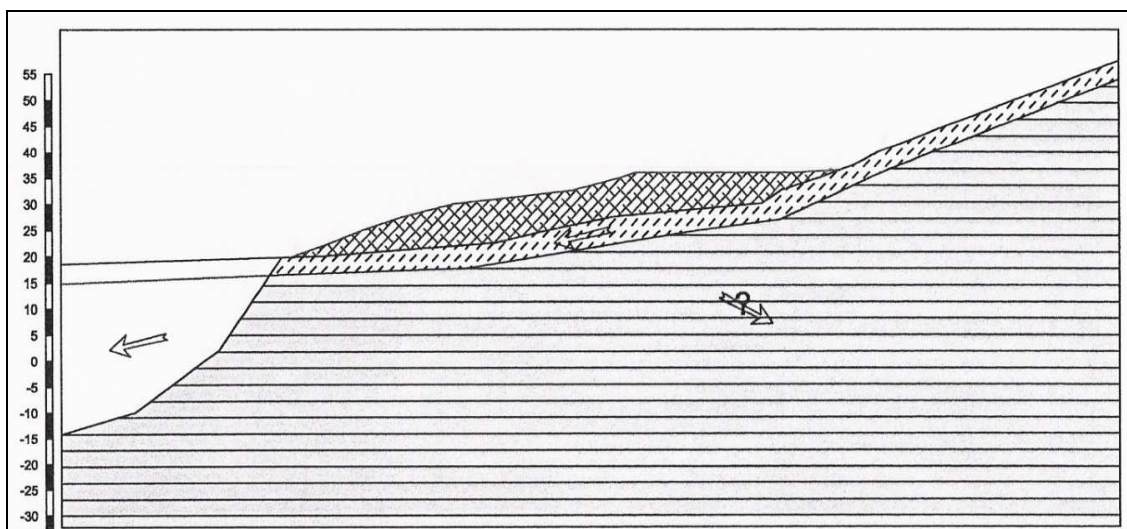
Hidravlične lastnosti kvartarnih sedimentov in preperine fliša se lokalno zelo spreminjajo. Ocenjeni koeficient prepustnosti v peščenem delu preperine znaša manj kot 10^{-5} m/s, v meljastih in glinenih predelih pa so koeficienti prepustnosti nižji od 10^{-7} m/s. V bolj heterogenem (zgornjem) delu aluvialnega vodonosnika Dragonja se prepustnosti gibljejo znotraj dekade 10^{-7} m/s, v spodnjem slabše prepustnem delu pa so prepustnosti manjše od 10^{-8} m/s. [32]

3.5.1 Smer toka podzemne vode




Na vplivnem območju odlagališča Dragonja sta dva tipa vodonosnih struktur, ki sta med seboj geomorfološko ločena. Na območju pobočja hriba Nad valo, kjer se nahaja samo telo odlagališča, imamo tok podzemne vode v preperini flišnih kamnin in tok vode v razpoklinskih vodonosnih strukturah. Zaradi narave toka podzemne vode v tem predelu se lahko poda le generalno smer toka vode na podlagi strukturnih razmer. Domneva se, da je generalna smer toka podzemne vod vezana na vpad plasti. Torej

se voda v fliših najverjetneje drenira v smeri proti severozahodu. Flišno območje je prekrito z debelo preperinsko plastjo v kateri se oblikuje tok vode. Na podlagi analogije s podobnimi razmerami drugod se predpostavlja, da se sklenjena gladina podzemne vode v preperini ne oblikuje. Voda se preceja vzdolž prepustnejših leč peskov in meljev ter posredno napaja tudi vodo v fliših. Tok podzemne vode je vzporeden vpadu plastnic pobočja. [32]

Slabo prepustni hidrodinamsko odprti vodonosnik (rečne naplavine Dragonje) pa se nahaja na območju Mlak južno od odlagališča. Ta vodonosnik se napaja z vodo iz smeri pobočja. Ocenjena hitrost podzemne vode pod odlagališčem je manj kot 1 mm/dan. [32]



Legenda:

	GLADINA PODZEMNE VODE
	SMER TOKA PODZEMNE VODE
	PREDPOSTAVLJENA SMER TOKA PODZEMNE VODE
	DEPONIJA
	ALUVIJ
	PREPERINA FLIŠA
	EOCENSKI FLIŠ

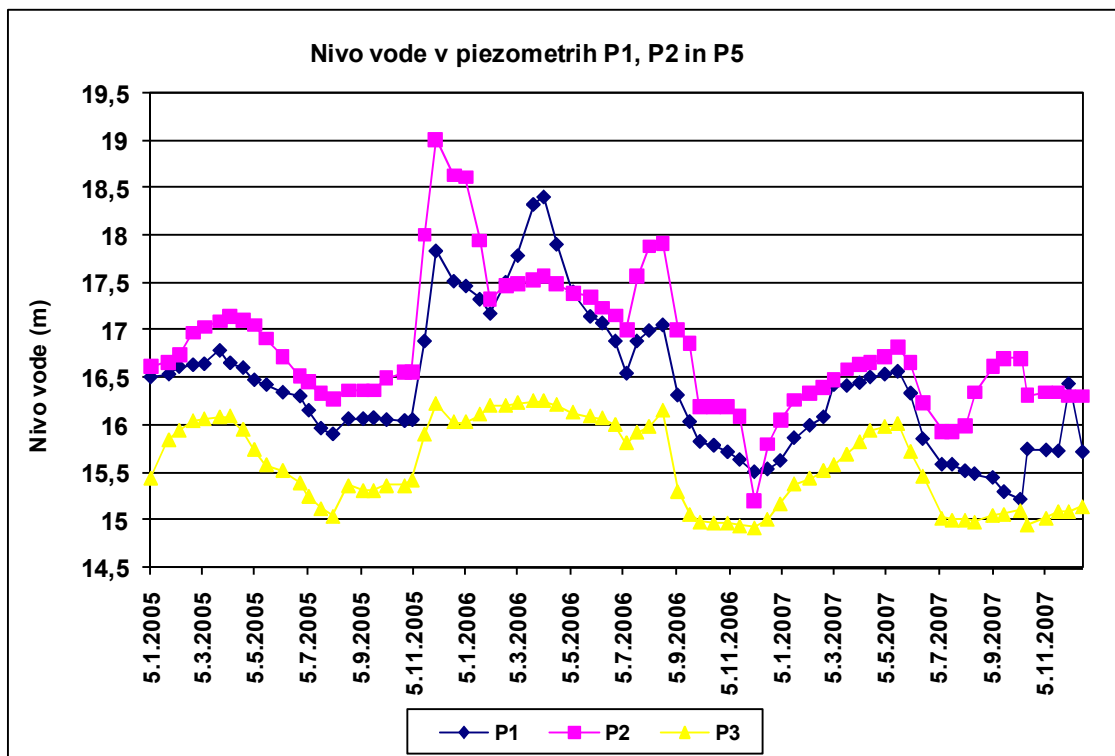
Slika 18: Smer toka podzemne vode [41]

3.6 Opazovalna mreža vrtin

Za potrebe monitoringa podzemne vode je bilo v okviru hidrogeoloških raziskav izdelanih sedem vrtin in vse so bile opremljene kot piezometri. Vrtina P1 je bila narejena leta 1989, vrtine od P2 do P7 pa so bile narejene v letu 1992. Danes so v uporabi le še tri vrtine in sicer P1, P2 in P5, ostale pa so bile poškodovane iz različnih razlogov. Lega vrtin je prikazana na sliki 10 in karti v prilogi A. [32]

Vrtina oziroma piezometer P1 se nahaja na vznožju starega dela deponije, to je med deponijo in cesto. Premer cevovte piezometra P1 je 100 milimetrov, globina do podzemne vode je 2,78 metra, nivo podzemne vode pa je 16,66 metra. Nadmorska višina, na kateri se nahaja P1 znaša 19,44 m. Lega piezometra P2 je podobna piezometru P1, le da se nahaja na vznožju novega dela odlagališča na nadmorski višini 20,00 metrov. Premer cevovte piezometra P2 je 50 milimetrov, globina do podzemne vode je 3,29 metra, nivo podzemne vode je 16,71 metra. Piezometer P5 pa je od novega dela deponije oddaljen približno 70 metrov proti jugu. Nahaja se sredi polja ob dovodni poti na nadmorski višini 16,95 metra in ima poškodovano ustje. Premer cevi znaša 50 milimetrov. Globina do podzemne vode je 0,95 metra, nivo vode pa 16 metrov. [32]

Nivoji podzemne vode v piezometrih P-1, P-2 in P-5 za obdobje 2005 – 2007 so prikazani na sliki 19. V tabeli 5 so podane minimalne, povprečne in maksimalne vrednosti nivojev vode za posamezen piezometer.



Slika 19: Nivoji vode v piezometrih v letih 2005, 2006 in 2007 [42]

Tabela 4: Minimalne, srednje in maksimalne vrednosti nivojev vode za posamezen piezometer

Vrednosti nivojev vode za posamezen piezometer v obdobju 2005 - 2007			
	P-1	P-2	P-5
Minimalna vrednost [m]	15,22	16,31	14,93
Srednja vrednost [m]	16,41	16,81	15,58
Maksimalna vrednost [m]	18,41	19,02	16,26

3.7 Ničelno stanje podzemne vode

Ničelno stanje, kot ga zahteva Pravilnik o obratovalnem monitoringu onesnaževanja podzemne vode, ni bilo mogoče določiti, saj izkop, ki je bil narejen v zaledju deponije ni dosegel podzemne vode. Kakovost podzemne vode ni možno dobiti niti iz podatkov državnega monitoringa onesnaženosti podzemnih vod. [32]

3.8 Stanje podzemne vode na območju odlagališča

Pravilnik o obratovalnem monitoringu onesnaževanja podzemne vode (Ur. l. RS 49/2006), v nadaljevanju pravilnik, narekuje, da je potrebno spremembo vsebnosti onesnaževala v podzemni vodi izračunati za vsako meritev onesnaževala v podzemni vodi, ki je vključena v program obratovalnega monitoringa. Izračuna se jo kot razmerje med izmerjeno spremembo vrednosti koncentracije onesnaževala in vrednostjo koncentracije istega onesnaževala v neonesnaženi podzemni vodi, kjer ni posledic zaradi posrednega ali neposrednega izliva. V primeru, da je koncentracija onesnaževala na vplivnem območju odlagališča manjša od povprečne vrednosti onesnaževala na področju, kjer ni vpliva onesnaževal na podzemno vodo, se spremembo vrednosti za to onesnaževalo ne ugotavlja. [42]

Onesnaženja po pravilniku ni možno izračunati, ker ni vzpostavljenega gorvodnega (ničelnega) piezometra. Ker ni možno izračunati spremembe vsebnosti onesnaževal, ni možno izvesti niti vrednotenja spremembe vsebnosti onesnaževal in oceniti vpliva odlagališča na podzemno vodo po določitih pravilnika. To pa še ne pomeni, da odlagališče nima vpliva na podzemno vodo. Meritve, ki jih je opravil Zavod za zdravstveno varstvo Maribor kažejo, da odlagališče vpliva na podzemno vodo, ne da pa se določiti, v kakšni meri znaša ta vpliv. [42]

Da vpliv odlagališča na podzemno vodo obstaja, nam povedo vrednosti meritev elektroprevodnosti, ki so relativno visoke v primerjavi z neonesnaženimi podzemnimi vodami. Najvišja zabeležena vrednost elektroprevodnosti, je bila izmerjena v piezometru P1 leta 2006 in je znašala 4100 $\mu\text{s/cm}$. V splošnem pa se vrednosti elektroprevodnosti v letih od 2005 do 2007 gibljejo med 635 $\mu\text{s/cm}$ in 4100 $\mu\text{s/cm}$. [42]

Parametri, ki presegajo mejne vrednosti določene v Uredbi o standardih kakovosti podzemne vode (Ur. l. RS 100/2005, 25/2009) v piezometru P1 so amonij (4,1 mg/L, 0,74 mg/L in 1 mg/L), kalij (10 mg/L, 28 mg/L in 18 mg/L), ortofosfat (0,21 mg/L), mineralna olja (11 $\mu\text{g/l}$ in 31 $\mu\text{g/l}$), dietiltoluamid-DEET (0,18 $\mu\text{g/l}$) in joksini (0,26 $\mu\text{g/l}$). Mejne

vrednosti za podzemne vode so v piezometru P2 presegali amonij (27 mg/l, 0,35 mg/l in 0,24 mg/l), ortofosfat (6,6 mg/l) in mineralna olja (19 µg/l in 30 µg/l). V piezometru P5 pa je mejno vrednost presegel le amonij (0,73 mg/l in 0,96 mg/l). [42]

Nekateri drugi parametri, ki v Uredbi o standardih kakovosti podzemne vode (Ur. l. RS 100/2005, 25/2009) nimajo definirane, pa izkazujejo povišane ali zelo visoke vrednosti. Eden od takih je mangan, ki je leta 2006 v piezometru P2 dosegel vrednost 1300 µg/l. Sledijo mu aluminij s 120 µg/l v piezometru P2 leta 2006, natrij s 520 mg/l v P1 leta 2007, klorid s 1200 µg/l v P1 leta 2006 in barij z 260 µg/l v P1 leta 2007. [42]

Večina preostalih parametrov, za katere je po programu monitoringa podzemnih vod za odlagališče nenevarnih odpadkov Dragonja potrebno izvajati meritve, ne dosegajo oziroma presegajo meje detekcije. Ti parametri so: [42]

- lahkohlapni klorirani ogljikovodiki (npr. triklorometan, tribromometan...)
- pesticidi – skupno (npr. atrazin, alaklor, metolaklor, diazinon, malation...)
- estri ftalne in fosforne kisline (npr. dietilftalat, benzilbutil ftalat...)

Celoten seznam parametrov, za katere se izvaja meritve v podzemni vodi in so vključeni v program monitoringa podzemnih vod za odlagališče nenevarnih odpadkov Dragonja, se deli na tri skupine: [42]

1. Terenske meritve: temperatura, pH-vrednost, elektroprevodnost, redoks potencial, kisik, nivo podzemne vode in prehodnost.
2. Osnovni parametri: barva, motnost, raztopljeni snovi, celotni organski ogljik (TOC), adsorbiljni organski halogeni (AOX), amonijev dušik, natrij, kalij, kalcij, magnezij, železo, hidrogenkarbonati, nitratni dušik, sulfat, klorid, ortofosfat in bor.
3. Indikativni parametri: nitritni dušik, fluorid, cianid, sulfid, bromid, aluminij, antimon, arzen, baker, barij, berilij, cink, kadmij, kobalt, kositer, celotni krom, krom – šestvalentni, mangan, molibden, nikelj, selen, srebro, svinec, talij, telur, titan, vanadij, uran, živo srebro, mineralna olja, fenoli, pentaklorofenol, lahkohlapni aromatski ogljikovodiki (BTX), lahkohlapni halogenirani ogljikovodiki (LKCH), triklorobenzeni, poliklorirani bifenioli (PCB), policiklični aromatski ogljikovodiki (PAH), pesticidi (organoklorini, triazinski, organofosforini, acetamidi, derivati fenoksiocetne kisline, fenil urea), organokositrove spojine, endokrine substance (nonilfenoli, oktilfenoli), estri ftalne in fosforne kisline ter identifikacija organskih spojin.

Na koncentracijo onesnaževal vpliva še nivo podzemne vode, saj z nihanjem koncentrirajo oziroma redčijo polutante v vodi. Razlika se kaže tudi med posameznimi piezometri, ki se razlikujejo zaradi disperzije, saj so razdalje od odlagališča različne. Večji del povišanih koncentracij onesnaževal je bil izmerjen v piezometru P1, ki se nahaja za starim delom odlagališča brez tesnjenega dna. [42]

Naslednje tabele prikazujejo vrednosti nekaterih onesnaževal po letih. V prilogi D so rezultati meritev vseh analiziranih parametrov za leta 2002, 2005, 2006 in 2007.

Tabela 5: Koncentracija onesnaževal v podzemni vodi za piezometer P1 v letih 2005, 2006 in 2007 z mejnimi vrednostmi [42]

Parameter	Enota	Merilno mesto		PIEZOMETER P1							Povprečje	Mejna vrednost za podzemno	Mejna vrednost za pitno
		Datum	Izražen kot	22.8.2005	1.12.2005	12.6.2006	3.10.2006	10.7.2007	17.10.2007				
Elektroprevodnost	µS/cm			1800	855	1240	4100	1440	1630	1844,1667	2500		
Raztopljene snovi	mg/l			1100	500	760	2500	870	2200	1321,6667			
Amonij	mg/l		NH4	1,2	0,03	0,09	4,1	0,74	1	1,19333333	0,2	0,5	
Nitrit	mg/l		NO2	0,02	0,016	0,095	0,026	<0,007	0,001	2,167		0,5	
Fluorid	mg/l		F	0,2	0,19	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,198		1,5	
Aluminij	µg/l		Al	<10	49	15	12	<10	30	21		200	
Arzen	µg/l		As	<2	<2	<2	5	1	6	3		10	
Baker	µg/l		Cu	3	7	5	3	<1	<1	3,33		2	
Barij	µg/l		Ba	93	73	85	240	63	260	135,66667			
Čink	µg/l		Zn	10	20	29	<10	<10	<10	14,83			
Kobalt	µg/l		Co	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1			
Kositer	µg/l		Sn	<1	<1	<1	1	<1	<1	1			
Krom (skupno)	µg/l		Cr	4	3	1,3	5,8	2,7	22	6,4666667	30	50	
Mangan	µg/l		Mn	1000	14	47	460	740	500	460,16667		50	
Nikelj	µg/l		Ni	3,1	4,7	5	7,3	2,7	11	5,63333333		20	
Selen	µg/l		Se	<2	<2	<2	14	1,7	14	5,95		10	
Mineralna olja	µg/l			11	6	7	31	6	<6	11,16	10		

Tabela 6: Koncentracija onesnaževal v podzemni vodi za piezometer P2 v letih 2005, 2006 in 2007 z mejnimi vrednostmi [42]

Parameter	Enota	PIEZOMETER P2										Povprečje	Mejna vrednost za podzemno	Mejna vrednost za pitno
		Merilno mesto		Datum					Izražen kot					
		Datum	Izražen kot	22.8.2005	1.12.2005	12.6.2006	3.10.2006	10.7.2007	17.10.2007					
Elektroprevodnost	µS/cm			1130	635	755	1230	1170	1440	1060	2500			
Raztopljene snovi	mg/l			620	360	430	730	810	1200	691,66667				
Amonij	mg/l		NH4	<0,01	0,13	0,05	27	0,35	0,42	4,66	0,5			
Nitrit	mg/l		NO2	0,059	0,039	0,052	0,082	0,049	0,052	0,0555	0,5			
Fluorid	mg/l		F	0,28	0,33	0,36	0,3	0,3	0,21	0,2966667	1,5			
Aluminij	µg/l		Al	30	24	<10	120	23	17	37,33	200			
Azen	µg/l		As	<2	<2	<2	4	<1	2	2,16	10			
Baker	µg/l		Cu	2	4	2	5	<1	<1	2,5	2			
Barij	µg/l		Ba	110	59	63	100	110	160	100,33333				
Cink	µg/l		Zn	10	71	20	11	10	<10	22				
Kobalt	µg/l		Co	1	<1	<1	3	1	1	1,33				
Kositer	µg/l		Sn	<1	3	<1	3	<1	<1	1,66				
Krom	µg/l		Cr	3	2	<1	3,7	2,2	11	3,81	30	50		
Mangan	µg/l		Mn	170	4	10	1300	200	210	315,66667		50		
Nikelj	µg/l		Ni	5,3	2,9	3,8	5,5	5,8	5,7	4,8333333		20		
Selen	µg/l		Se	<2	<2	<2	<2	1,2	7,5	2,78		10		
Mineralna olja	µg/l			19	9	8	30	<6	<6	13	10			

Tabela 7: Koncentracije onesnaževal v podzemni vodi za piezometer P5 v letih 2005, 2006 in 2007 z mejnimi vrednostmi [42]

		Merilno mesto	PIEZOMETER P5		Povprečje	Mejna vrednost za podzemno	Mejna vrednost za pitno vodo
		Datum	12.6.2006	10.7.2007			
Parameter	Enota	Izražen kot					
Elektroprevodnost	µs/cm		840	924	882		2500
Raztopljene snovi	mg/l		480	540	510		
Amonij	mg/l	NH4	0,73	0,96	0,845	0,2	0,5

Tabela 8: Povprečne koncentracije onesnaževal v podzemni vodi v letih 2005, 2006 in 2007 [42]

		Povprečna vrednost parametra v letih 2005, 2006 in 2007		Povprečna vrednost parametra v letih 2006 in 2007	Mejna vrednost za podzemno vodo	Mejna vrednost za pitno vodo
Parameter	Enota	P1	P2	P5		
Elektroprevodnost	µS/cm	1844,16	1060	882		2500
Raztopljene snovi	mg/l	1321,66	691,66	510		
Amonij	mg/l	1,19	4,66	0,84	0,2	0,5
Nitrit	mg/l	2,16	0,05			0,5
Fluorid	mg/l	0,198	0,29			1,5
Aluminij	µg/l	21	37,33			200
Arzen	µg/l	3	2,16			10
Baker	µg/l	3,33	2,5			2
Barij	µg/l	135,66	100,33			
Cink	µg/l	14,83	22			
Kobalt	µg/l	1	1,33			
Kositer	µg/l	1	1,66			
Krom (skupno)	µg/l	6,46	3,81		30	50
Mangan	µg/l	460,16	315,66			50
Nikelj	µg/l	5,63	4,83			20
Selen	µg/l	5,95	2,78			10
Mineralna olja	µg/l	11,16	13		10	

3.9 Sledilni poskus – metode dela

3.9.1 Izračun količine uranina, potrebnega za injiciranje

Koncentracijo uranina, ki smo ga injicirali sem izračunal s formulo

$$M = \alpha \times L \times A, \quad (7)$$

kjer je L razdalja med točko injiciranja uranina in mestom vzorčenja, α je faktor za uranin in ta je vedno 1 ter A. A je faktor »stanja« vodonosnika, ki ga preučujemo in obsega vrednosti od 0,1 do 10. Za faktor A sem izbral več vrednosti (od 2 do 5) in se na podlagi rezultatov odločil katero količino bom injiciral.

$$M = 1 \text{ kg/km} \times 0,225 \text{ km} \times 2 = 0,45 \text{ kg}$$

$$M = 1 \text{ kg/km} \times 0,225 \text{ km} \times 3 = 0,675 \text{ kg}$$

$$M = 1 \text{ kg/km} \times 0,225 \text{ km} \times 4 = 0,9 \text{ kg}$$

$$M = 1 \text{ kg/km} \times 0,225 \text{ km} \times 5 = 1,125 \text{ kg}$$

Z izračuni sem prišel do več vrednosti, ki se gibljejo med približnom 0,5 kg in 1 kg. Za injiciranje smo se odločili, da bomo uporabili 1 kg uranina, saj so tla slabo prepustna in v vodi je veliko organskih snovi na katere se uranin adsorbira.

3.9.2 Injiciranje

Sledilni poskus se je začel na dan 11. junija 2008. Na ta dan smo na vrhu deponije oziroma za starim delom deponije z rovokopačem izkopali luknjo dimenzij 2,5x2,5 metra (slika 20). Segli smo tako globoko, dokler nismo prišli do matične kamnine, na kateri stoji deponija. Globina luknje je na najglobljem delu znašala približno 2,5 metra.

V 50 litrih vode smo raztopili 990 gramov uranina (slika 21), preostalih 10 gramov pa shranili za potrebe analize vzorcev. Skupno smo torej uporabili 1 kilogram uranina. Barva koncentrirane raztopine uranina je rjavo-rdeča, medtem ko je razredčena raztopina uranina rumeno-zelene barve. Raztopino uranina smo injicirali tako (slika 22), da smo jo enostavno zlili v luknjo in dolili še 600 litrov vode. Ko je barvilo povsem odteklo, smo luknjo znova zasuli z izkopanimi odpadki.



Slika 20: Izkop za injiciranje uranina



Slika 21 : Priprava sledila – raztapljanje uranina



Slika 22: Injiciranje in spiranje uranina

3.9.3 Vzorčenje

Za vzorčevanje podzemne vode in analizo le-te, sem uporabil že obstoječe vrtine (piezometre), ki se nahajajo pod deponijo na aluvijalnem nanosu. Podrobnejše lastnosti vrtin so opisane pod točko 3.8. Narejenih je bilo sedem vrtin, v uporabi so še tri , preostale štiri pa so bile v preteklih letih iz različnih vzrokov poškodovane. V uporabi so vrtine P1, P2 in P5 (slika 10 in 23)

Vzorce sem jemal v povprečju enkrat na teden oziroma dva do tri dni po večjem nalivu. To sem med trajanjem sledilnega poskusa opravil 44 krat.

Vodo sem črpal z električno črpalko, ki jo je napajal generator električne energije. Vzorceval sem v 100 ali 150 ml stekleničke iz rjavega stekla. Pred samim zajemom vzorca sem izmeril še globino, na kateri se je nahajala podzemna voda. Gladino vode sem izmeril z merilcem z elektirčnim kontaktom. Na zečetku merilnega traku se nahaja sonda, ki je pod napetostjo enosmernega električnega toka. V samem merlinem traku so vgrajene žice, ki so povezane s svetlobnim in zvočnim signalom. Ko sonda pride v stik z vodo, se električni krog zapre in sprožita se oba signala. Po vzorčenju sem stekleničke zavil v aluminijasto folijo in vzorce do analize shranjeval v hladilniku.



Slika 23: Vzorčevanje vode na piezometru P5

3.9.4 Laboratorijsko delo – analiza vzorcev

Analizo vzorcev (določitev koncentracije uranina) sem opravil na Inštitutu za raziskovanje Krasa v Postojni. Zaradi motnosti oziroma prisotnosti sedimenta v vzorcih, so le-ti morali pred analizo mirovati 3 do 4 dni. Nato sem analizo opravil s spektrofluorometrom, kateri meri fluorescenco uranina.

Spektrofluorometer *Perkin Elmer LS30 4T luminescence spectrometer* deluje tako, da vir svetlobe (Xe žarnica) proizvaja svetlobo širokega energijskega spektra. Fotoni se zaletavajo ob eksitacijski monokromator, kateri selektivno prepušča svetlobo v ozkem področju, katero smo sami določili oziroma izbrali. Prepuščena svetloba gre skozi nastavljive reže s katerimi se uravnava magnituda in resolucija ter stem se dodatno omeji razpon prepuščene svetlobe. Filtrirana svetloba gre skozi kiveto z vzorcem in povzroči fluoresciranje analita, ki se nahaj v vzorcu. Emitirana svetloba gre ponovno skozi emisijski monokromator, kateri se nahaja pod kotom 90° glede na izvor svetlobe. S tem se znebimo signala ozadja in minimiziramo šum. Emitirana svetloba se še enkrat usmeri preko nastavljivih rež zato da omejimo svetlobo le na želeno valovno dolžino, ki jo merimo. Končno »pade« svetloba na fotopomnoževalko. Signal se ojača, nastane električna napetost, ki je proporcionalna intenziteti merjene emisije. [43]

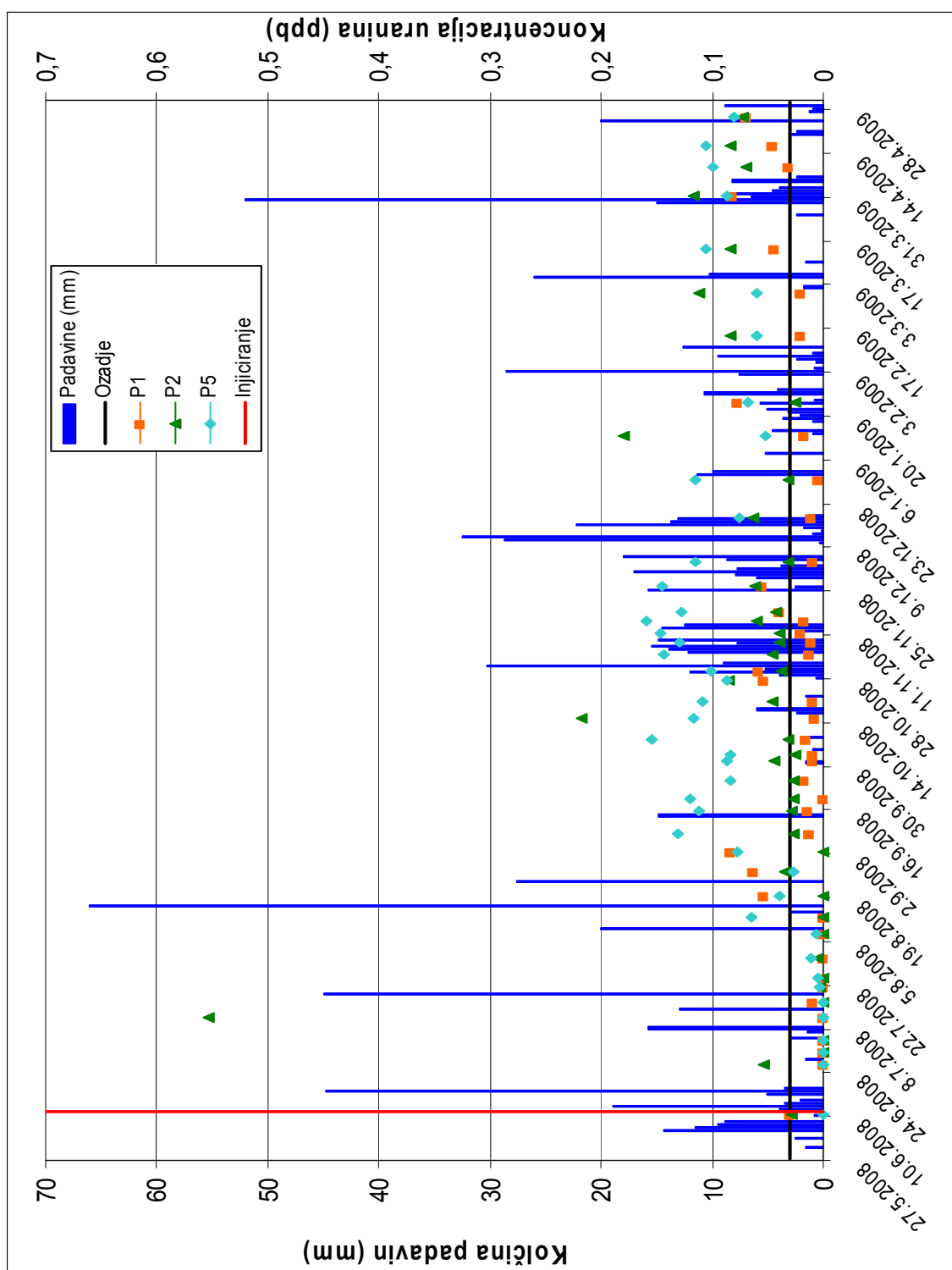


Slika 24: Spektrofluorometer Perkin Elmer LS 30 4T z vzorcem med analizo

Za določitev koncentracije uranine sem potreboval še umeritveno krivuljo. Za pripravo umeritvene krivulje potrebujemo standardne razopine uranina z znano koncentracijo. Umeritvena krivulja in koncentracije standardnih raztopin so v prilogi C.

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

Injicirani uranin je bil detektiran v vseh treh vzorčevalnih piezometrih oziroma vrtinah. Na sliki 25 je z rdečo navpično črto označen dan injiciranja uranina (11.6.2008), črna vodoravna črta, ki označuje koncentracijo 0,03 ppb, pa predstavlja ozadje vzorca vode, ki ne vsebuje uranina. Posledično so vse koncentracije uranina v vzorcih, ki so pod koncentracijo 0,03 ppb manj zanesljive.



Slika 25: Graf s koncentracijo uranina v vzorcih vode na posameznem piezometru in količina padavin

Tabela 9: Razmerja časov med padavinami in disperzijo uranina

Padavine	Vrtina	Pik	Razlika dni
18.6.2008	P1	16.7.2008	28
	P2	11.7.2008	23
	P5	12.8.2008	55
19.7.2008	P1	2.9.2008	45
	P2	27.8.2008	39
	P5	8.9.2008	51
16.8.2008	P1	25.9.2008	40
	P2	15.9.2008	30
	P5	8.10.2008	53
24.8.2008	P1	8.10.2008	45
	P2	1.10.2008	38
	P5	15.10.2008	52
14.9.2008	P1	30.10.2008	46
	P2	15.10.2008	31
	P5	4.11.2008	51

Padavine	Vrtina	Pik	Razlika dni
18.10.2008	P1	26.11.2008	39
	P2	15.11.2008	28
	P5	4.12.2008	47
1.11.2008	P1	4.12.2008	34
	P2	26.11.2008	25
	P5	18.12.2008	48
11.12.2008	P1	24.1.2009	44
	P2	13.1.2009	33
	P5	14.2.2009	65
27.1.2009	P1	14.3.2009	46
	P2	28.2.2009	32
	P5	31.3.2009	63
5.3.2009	P1	14.4.2009	42
	P2	31.3.2009	26
	P5	25.4.2009	52

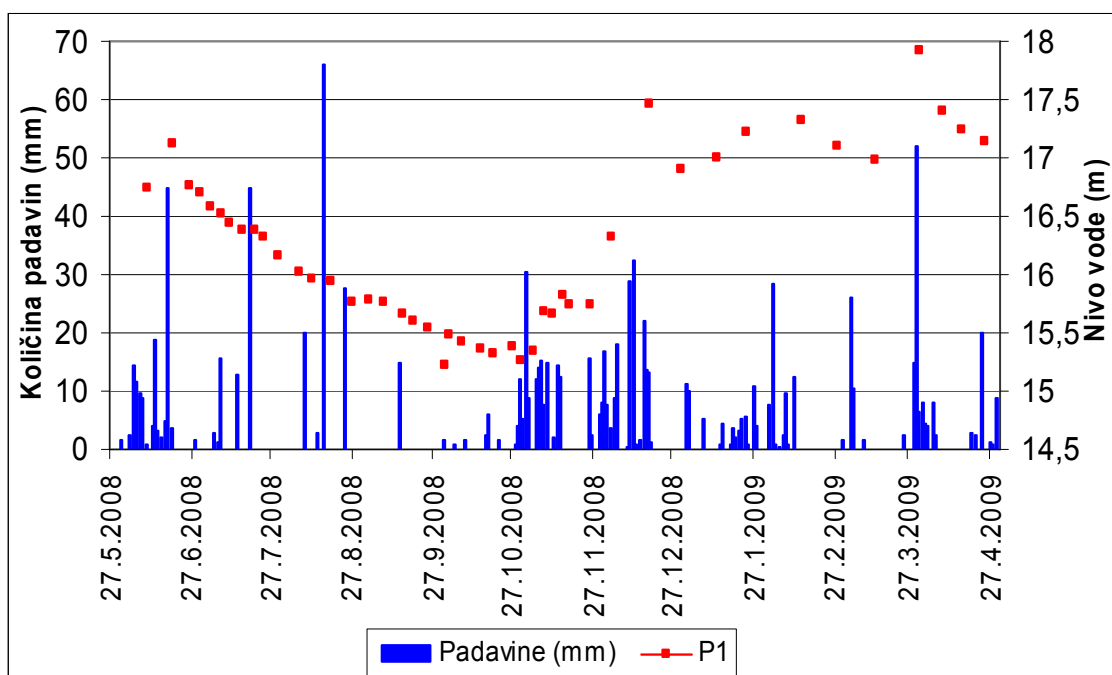
Iz slike 25 je vidno, da koncentracije uranina po posameznih vrtinah glede na obdobje močno varirajo. Do najvišjih koncentracij v vodi prihaja v vrtini P2, kjer se doseže tudi maksimalna koncentracija v celotnem času vzorčevanja, to je 0,55 ppb 11.7.2008. Vrtine se med seboj razlikujejo tudi po času, ki je potreben, da se po padavinah koncentracija uranina v vrtinah zviša. Uranin najkrajši čas potuje do vrtine P2, najdlje pa potuje do vrtine P5. To je jasno prikazano v tabeli 9 s primerjavo števila dni, ki so potrebni, da padavine »potisnejo« uranin do vrtin. Zato da uranin doseže vrtino P1 potrebuje v povprečju 41 dni, P2 doseže približno v 28 dneh in P5 doseže v 50 dneh. Različne so tudi povprečne dnevne hitrosti potovanja sledila od mesta injiciranja pa do mesta vzorčenja. Te hitrosti so prikazane v tabeli 11. Največjo povprečno dnevno hitrost potovanja doseže na vzorčevalnem mestu P2, ki znaša 7,26 m/dan, sledi P5 s 3,04 m/dan in P1 z 2,68 m/dan. Razlike v času so zaradi različne oddaljenosti piezometrov: P2 je direktno dolvodno od injicirnega mesta, medtem ko je P1 stran od direktnega toka sledila in se zato zazna le rob oblaka sledila. P5 je najbolj oddaljen piezometer, zato sledilo do njega potuje najdlje. Padavine sledilo najprej sperejo skozi odpadke na odlagališču, potem sledilo potuje po preperinski plasti fliša, ko pride do aluvialne ravnice pa skozi nezasičeno cono sedimentov do podzemne vode v aluvialnih naplavinah (priloga D). Zaradi tega in zaradi slabše prepustnosti so časi potovanja do posameznih merskih mest (piezometrov) relativno dolgi.

Na hitrost potovanja in koncentracijo uranina vpliva tudi geološka sestava tal. Aluvijalni vodonosnik (sedimenti) ima na različnih globinah različno vodoprepustnost. Na površju, to je do 1 m globine so slabo prepustni za vodo ($k=4,06 \cdot 10^{-7}$ m/s), od 1 m pa do 2 m pod površjem imajo sedimenti še manjšo prepustnost ($k=1,25 \cdot 10^{-7}$ m/s). Pod dvema metri pa je prepustnost še manjša ($k=2,56 \cdot 10^{-8}$). Da so sedimenti res slabo prepustni nam pove podatek, da se po črpanju iz vrtine nivo vode do statične točke dviguje zelo počasi. Poleg tega, se uranin v glinastih sedimentih sorbira na organske delce.

V vrtini P2 so opazna največja nihanja koncentracij uranina (slika 25). Po določenem obdobju padavin koncentracija uranina v vrtini P2 hitro naraste in nato hitro upade, kar nakazuje na hiter tok vode. Voda se do vrtine P2 najverjetneje pretaka po prednostnem toku – hiter tok, ki si je utrl pot v poroznem prostoru.

V vrtini P1 zaznamo le rob dispergiranega oblaka sledila, saj je smer uranina od mesta injiciranja v ravni črti po pobočju navzdol proti vrtini P2 in nato vrtini P5 (priloga A).

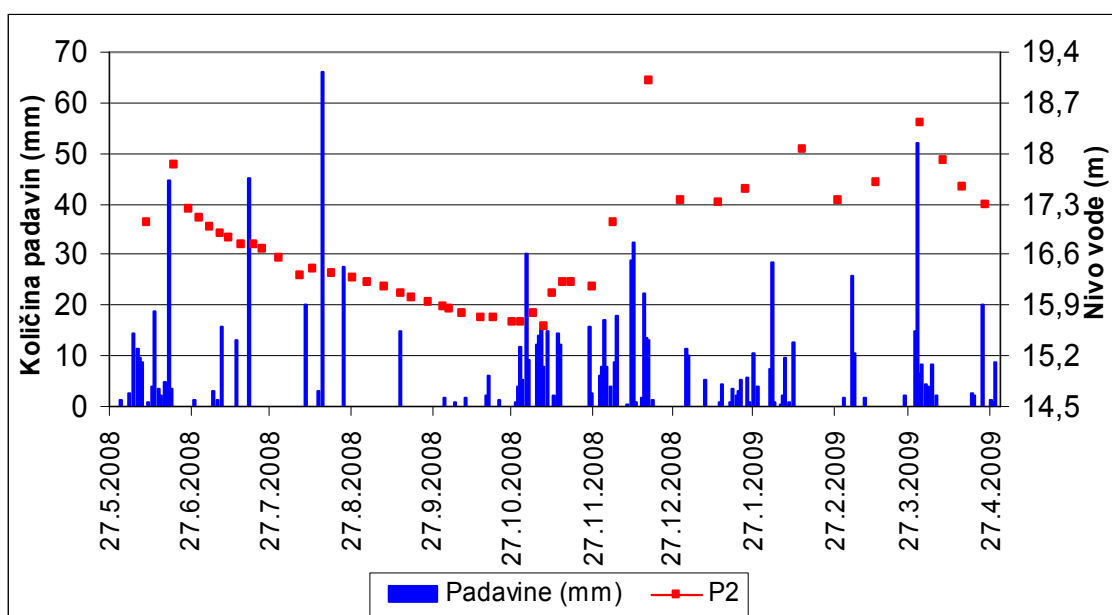
Na dinamiko transporta uranina do vrtine P5 imajo pomemben vpliv sedimenti v aluvijalnem nanosu. Tu se uranin pomeša z vodo, nato se širi s tokom podzemne vode in zaradi disperzije. Tok podzemne vode uranin prenaša na jug, proti reki Dragonji. Koncentracije uranina v tej vzorčevalni vrtini ne nihajo tako močno kot v P2, vendar so se koncentracije od začetka vzorčenja konstantno počasi zviševale in se v oktobru 2008 začele ponovno zniževati. Zniževale so se do marca 2009 z manjšimi nihanji.



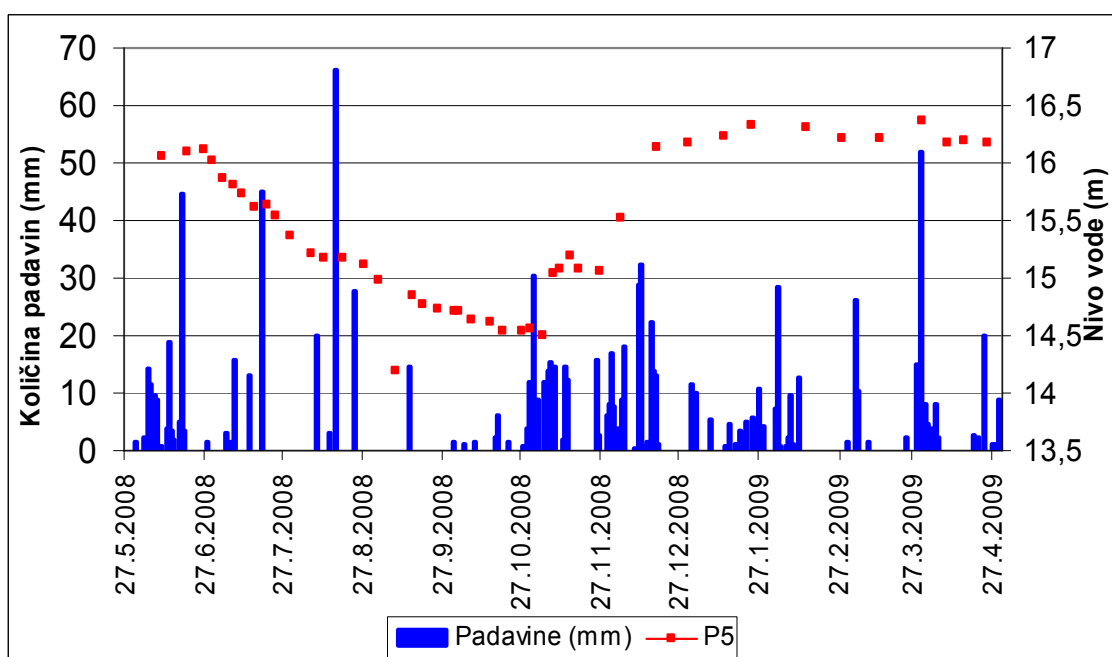
Slika 26: Graf nivojev vode v piezometru P1 in količina padavin v času izvajanja poskusa

Tabela 10: Minimalne, maksimalne in povprečne vrednosti nivojev vode za posamezno vrtino

	P1		P2		P5	
	Dan	Nivo (m n. v.)	Dan	Nivo (m n. v.)	Dan	Nivo (m n. v.)
Min	1.10.2008	15,21	8.11.2008	15,6	8.9.2008	14,19
Maks.	31.3.2009	17,93	18.12.2008	19	31.3.2009	16,37
Povp.		16,23		16,65		15,4



Slika 27: Graf nivojev vode v piezometru P2 in količina padavin v času izvajanja poskusa

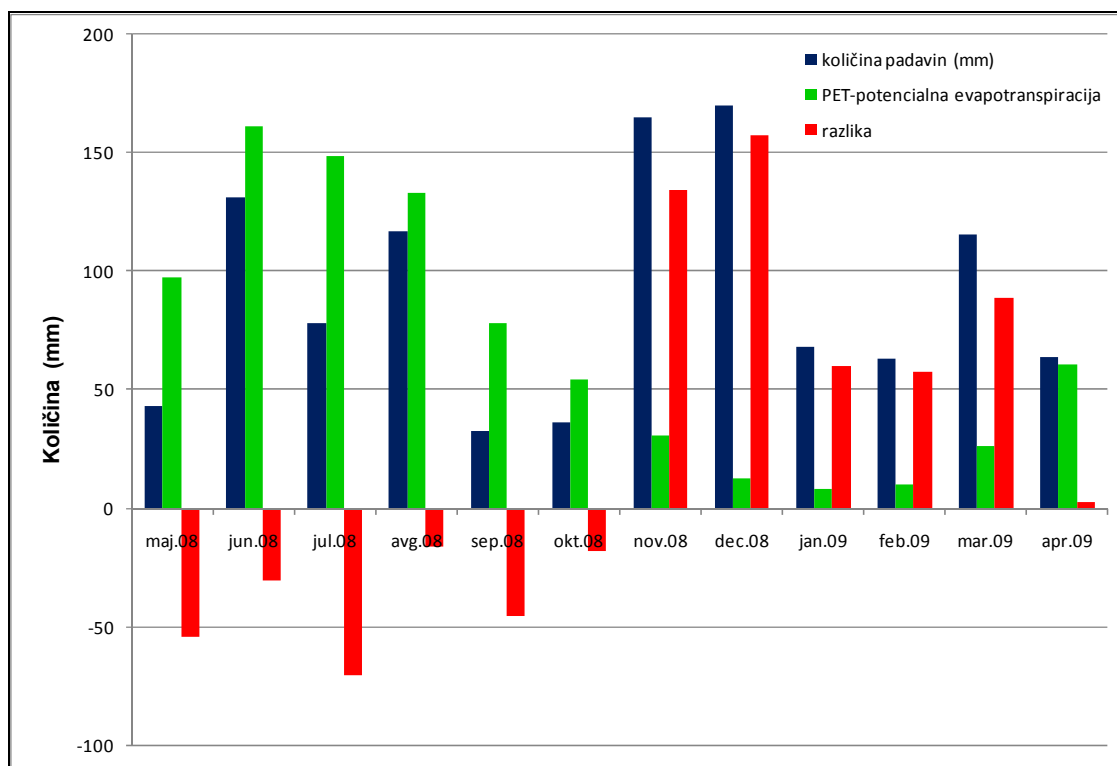


Slika 28: Graf nivojev vode v piezometru P5 in količina padavin v času izvajanja poskusa

Slike 26, 27 in 28 prikazujejo nihanje nivojev podzemne vode v obdobju od junija 2008 do aprila 2009. V osnovi so si vsi trije grafi podobni. Od začetka merjenja nivojev (junij) je voda v podtalju upadala. Ob močnejšem deževju je opazen rahel kratkotrajen dvig gladin vode. Nivo vode upada vse do konca oktobra, ko se začne jesensko deževno

obdobje. To obdobje traja s krajšimi prekinitvami vse do druge tretjine decembra. V tem času se nivo vode vztrajno zvišuje in doseže maksimalne vrednosti konec decembra. Po decembru 2008 ostaja nivo vode v vrtini P5 na konstantni ravni do maja 2009. Opazna so le minimalna nihanja. Tudi v vrtinah P1 in P2 se nivo vode v decembru dvigne do letnih maksimumov, vendar do maja v obeh vrtinah nivo niha za meter ali več, nikoli pa se ne spusti na minimum iz novembra (glej tabelo 10).

Na nivo podzemne vode vode in količino padavin, ki se infiltrira skozi odlagališče in tla do podzemne vode ter posledično koncentracijo uranina v vodi, vpliva potencialna evapotranspiracija (slika 29). Količino infiltrirane vode lahko ocenimo iz vodne bilance, tako, da izračunamo razliko med vrednostmi evapotranspiracije in padavin. Najvišje vrednosti evapotranspiracije so v mesecu juniju, juliju in avgustu, vendar je evapotranspiracija višja kot količina padavin vse do oktobra, torej je vodna bilanca negativna. Vendar vsa padavinska voda ni izhlapela, saj se je del infiltriral v tla/odlagališče, en del pa je zaradi naklona pobočja površinsko odtekel proti spodnjemu delu odlagališča. V tem času so bile tudi koncentracije uranina v vzorcih vode relativno nizke, narasle so le po obilnejših kratkotrajnih obdobjih padavin. Nato koncentracije uranina narastejo, ko pozno jeseni oziroma v začetku zime (november, december) padejo velike količine dežja.



Slika 29: Padavine in potencialna evapotranspiracija v času sledilnega poskusa

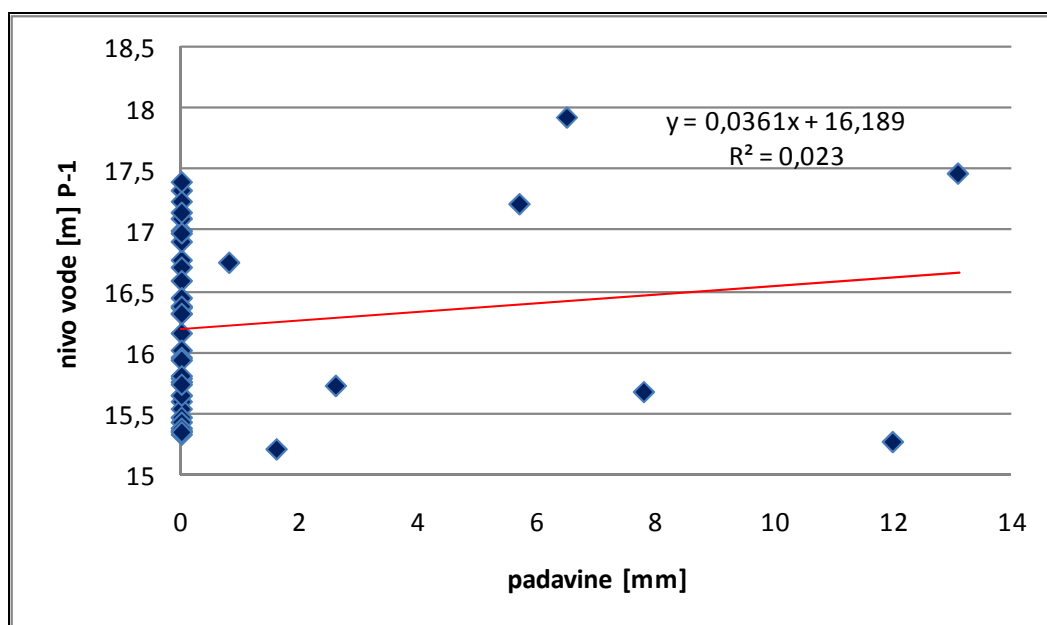
Tabela 11: Hitrosti pretakanja vode in sledila v času maksimalne dosežene koncentracije uranina na vzorčevalnih mestih

Vzorčevalno mesto	Pot [m]	t [d]	v [m/d]	v [m/h]	v [cm/h]
P1	225	84	2,68	0,11	11,16
P2	225	31	7,26	0,3	30,24
P5	295	97	3,04	0,12	12,67

Medsebojno povezanost padavin, nivojev podzemne vode in koncentracije uranina sem ugotavljal s korelacijo in njene rezultate prikazal na točkastih diagramih z linerano regresijsko premico.

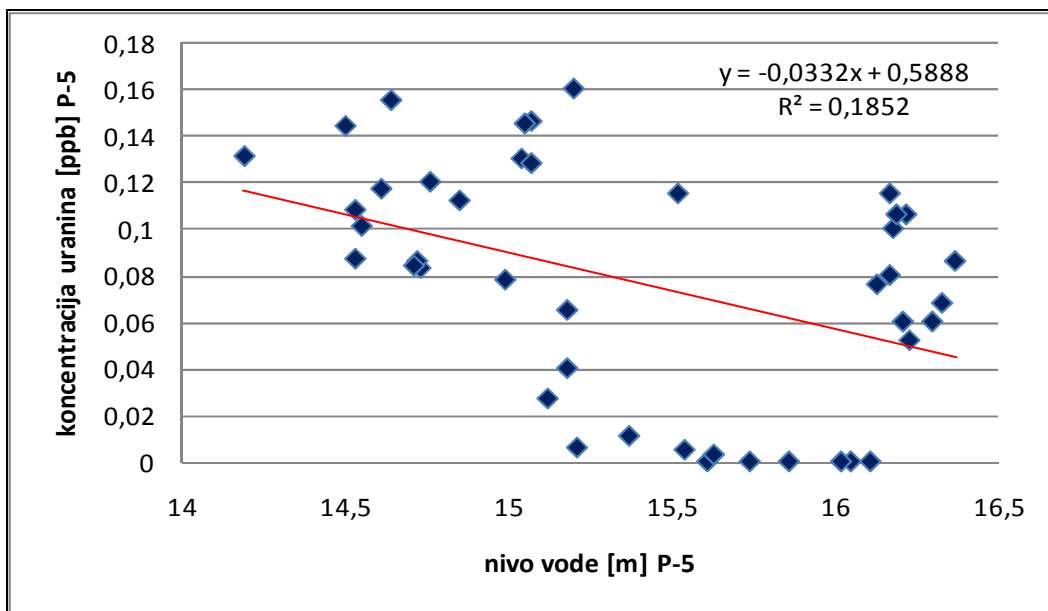
Slika 30 podaja korelacijo med količino padavin in nivojem vode v vrtini P-1 (ostale primerjave so v prilogi G). Iz slike 30 in grafov v prilogi G je razvidno, da ni povezave (korelacije) med količino padavin in nivojem vode v vrtinah oziroma je ta zelo majhna. Dodana je regresijska premica, ki je pozitivna, kar nakazuje na to, da sta obe vrednosti naraščali. Slaba korelacija ne pomeni, da nivo podzemne vode ni povezan s padavinami, vendar je čas infiltracije padavin zelo različen. Zaradi različne predhodne vlažnosti je lahko čas infiltracije za enako količino padavin različen. Predhodna vlažnost vpliva tudi na razmerje infiltrirane vode s površinskim odtokom. Delno bi se korelacija morda povečala z upoštevanjem evapotranspiracije, vendar ni bilo na voljo dovolj podatkov za izračun dnevne evapotranspiracije.

Na slikah so podane tudi regresijske enačbe. Faktor a (sečišče z y osjo) podaja nivo statičnih zalog podzemne vode [44], ki ne odstopa veliko od povprečnih nivojev podzemne vode. Naklon premice na grafih kaže na stopnjo infiltracije. Za vrtino P-5 je naklon majhen, kar kaže na nizko stopnjo infiltracije.



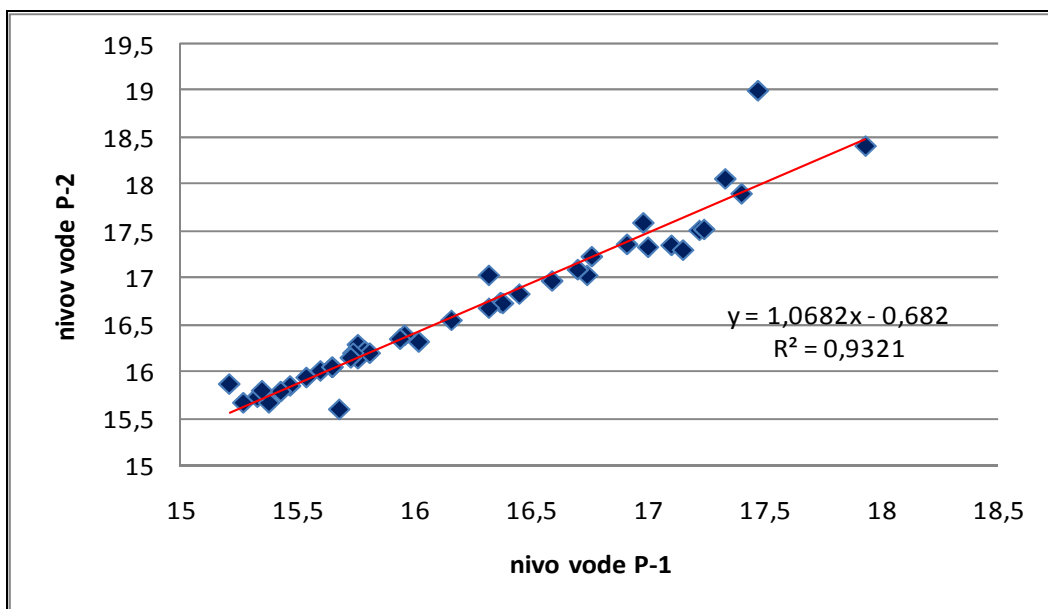
Slika 30: Primerjava kolčine padavin z nivojem vode na vrtini P-1

Slika 31 podaja korelacijo med nivojem vode in koncentracijo uranina v vrtini P-5 (ostale primerjave so v prilogi G). Ravno tako ni povezave med nivojem vode in koncentracijo uranina v vrtinah. Tudi v tem primeru je razlog specifična infiltracija padavin.

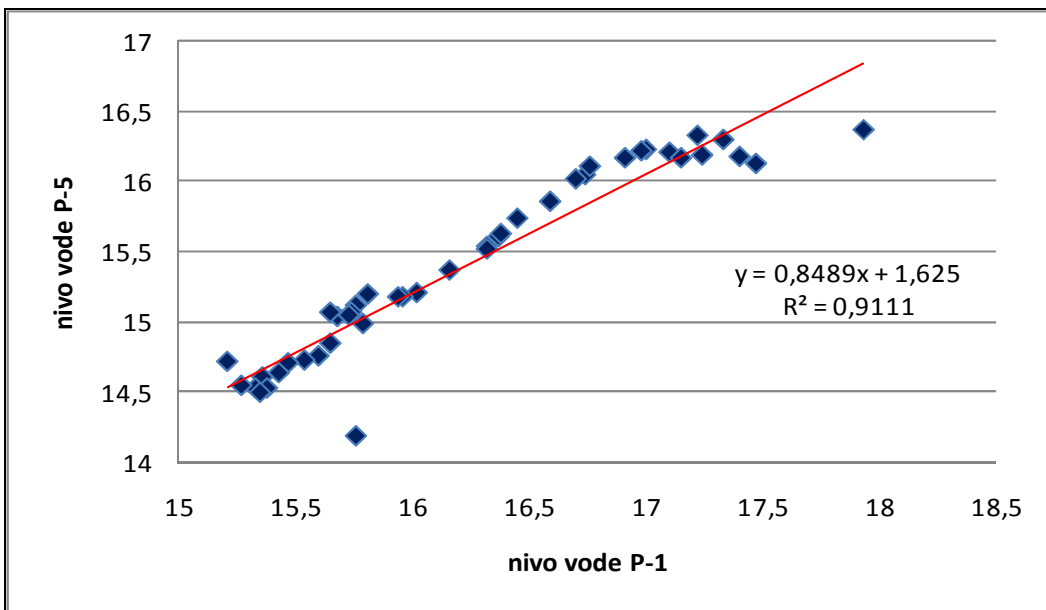


Slika 31: Primerjava nivoja vode s koncentracijo uranina na vrtini P-5

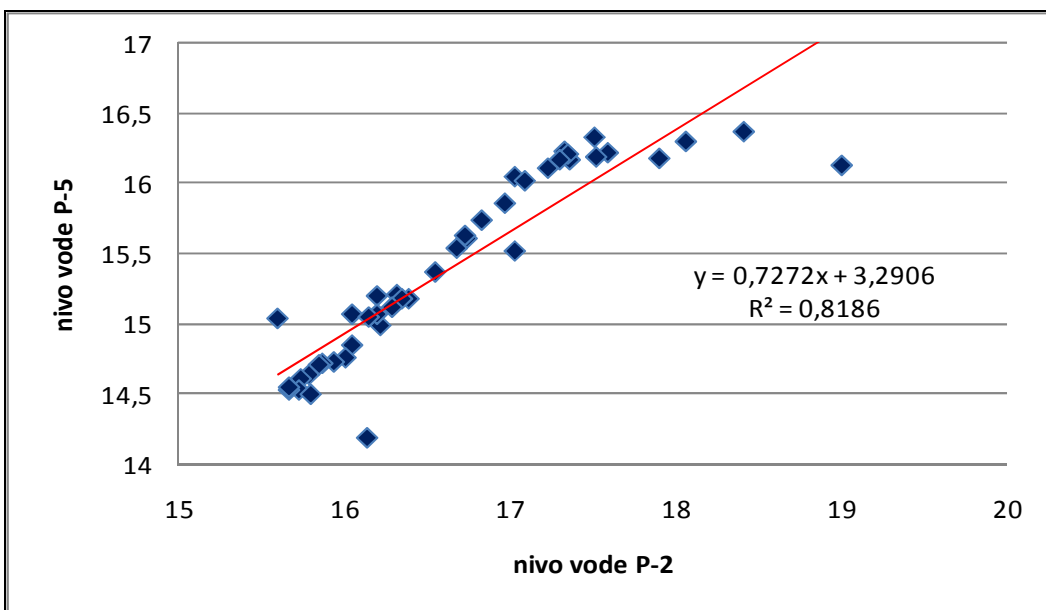
Slike 32, 33 in 34 prikazuje povezavo med nivoji podzemne vode v vrtini. Vidno je, da povezava med nivoji vode je, vendar se nekoliko razlikujejo.



Slika 32: Primerjava nivoja vode vrtine P-1 z nivojem vode vrtine P-2



Slika 33: Primerjava nivoja vode vrtine P-1 z nivojem vode vrtine P-5



Slika 34: Primerjava nivoja vode vrtine P-2 z nivojem vode vrtine P-5

5 ZAKLJUČKI

S sledilnim poskusom sem ugotavljal dinamiko prenosa onesnaževal iz odlagališča odpadkov v podzemno vodo v aluvijalnem vodonosniku. Uranin sem injiciral za odlagališčem in vodo vzorčeval iz vrtin pod odlagališčem (dolvodno), dve se nahajata med odlagališčem in aluvijem, ena pa na samem aluviju. Vzorce vode sem analiziral s spektrofluorometrom, na podlagi rezultatov pa ugotavljal dinamiko prenosa uranina od mesta injiciranja v podzemno vodo.

Prenos uranina v podzemno vodo je odvisen od več faktorjev in sicer količine padavin, potencialne evapotranspiracije, prepustnosti sedimentov, infiltracije padavin v odlagališče odpadkov in nasičenosti flišne preperine pod odlagališčem z vodo. Uranin se je najprej pojavil v vrtini P2, nato P1 in nazadnje v P5, različni so tudi časi potovanja uranina do vrtin. Do P2 je uranin v povprečju potoval 28 dni, do P1 41 dni in do P5 50 dni. Ravno tako so nivoji vode odvisni od količine padavin, saj so ti vse od junija pa do oktobra upadali, šele po daljšem deževnem obdobju v jeseni so ponovno narasli.

Korelacije med posameznimi vrtinami glede na količino padavin, nivoje vode in koncentracije uranina v vzorcih vrtin niso pokazale direktne povezave, ker ni mogoče točno določiti padavin, ki so res botrovale k migraciji uranina do vrtin. Poleg tega je sestava kvartarnih sedimentov (aluvijalni nanos) heterogena, kar lahko popolnoma spremeni dinamiko toka podzemne vode na dveh vrtinah, čeprav so blizu druga drugi. Torej med vrtinami ni mogoče vzpostaviti statistične povezave. To se vidi na slikah 32, 33 in 34 kjer prihaja do rahle razlike med nivoji vode dveh vrtin ravno zaradi heterogenih hidroloških lastosti. Zaradi tega je zelo pomembno poznavanje hidrogeoloških lastnosti podzemnega vodnega telesa.

Slike 30, 31 in slike v prilogi G podajajo korelacije med padavinami in nivoji vode, padavinami in koncentracijo uranina ter nivoji vode in koncentracijo uranina, vendar je iz slik razvidno, da korelacije ni, se pa iz slik da razbrati stopnjo infiltracije in statične zaloge podzemne vode. Medtem pa slike 32, 33 in 34 prikazujejo korelacijo med nivoji vode posameznih vrtin, tu pa je korelacija jasno vidna.

Z analizo rezultatov sledilnega poskusa sem ugotovil, da je opazovalna mreža vrtin neustrezna oziroma pomanjkljiva za natančno in učinkovito izvajanje monitoringa podzemne vode. Vrtine oziroma piezometri so poškodovani, ustje vrtine P2 je odlomljeno, manjka pokrov. Predvsem pa je vrtin številčno premalo za ustrezen monitoring. Poleg tega je premer vrtin premajhen za standardno vzorčevalno opremo.

Težavo predstavlja tudi to, da ni gorvodne vrtine, s katero bi se določilo naravno ozadje parametrov v podzemni vodi, ki so določeni v programu monitoringa.

Vrtine tudi niso očiščene ter verjetno tudi nikoli niso bile aktivirane, zato je na dnu vrtin veliko usedline, ki je pri črpanju vzorca vode povzročala težave, saj se je pri ustavljanju črpalne cevi v vrtino dvignila s tal in pomešala z vodo, tako da je bila večina vzorcev motnih. Motnost vzorcev je problematična pri določanju koncentracije uranina s fluorescenco. Motnost vzorcev se odpravi enostavno s filtracijo, vendar moramo vedeti, da s filtracijo izgubimo ves uranin, ki se je absorbiral na površino organskih delcev usedline. Analize sem opravil brez filtriranja. Vzorce sem pustil mirovati približno teden dni preden sem jih s spektrofluorometrom analiziral.

Del uranina se lahko izgubi zaradi delovanja mikroorganizmov. V primeru, da se uranin ne hrani na hladnem (4°C), mikroorganizmi razkrajajo uranin v vzorcu. To sem opazil s ponovno analizo vzorcev, ko vzorcev nisem več hranil pri 4°C ampak pri 10°C. Rezultati analiz so bili za več kot polovico nižji v primerjavi s prvim merjenjem.

Rezultati analiz vode, ki jih je po programu monitoringa izvedel Zavod za zdravstveno varstvo Maribor, so pokazali, da določeni parametri ne ustrezajo zahtevam Uredbe o standardih kakovosti podzemne vode (Ur. l. RS 100/05, 25/2009) in Pravilnika o pitni vodi (Ur. l. RS 19/2004). Največkrat je mejne vrednosti presegele amonij in sicer v vseh treh vrtinah. Mejna vrednost za amonij je po Uredbi o standardih kakovosti podzemne vode 0,2 mg/L, po Pravilniku o pitni vodi pa 0,5 mg/L. Najvišjo vrednost je amonij dosegel 3.10.2006, ko je znašal 27 mg/L. Poleg amonija so še mineralna olja preseгла zakonsko predpisano mejno vrednost. Po Uredbi o standardih kakovosti podzemne je mejna vrednost za mineralna olja predpisana na 10 µg/L. Mineralna olja so bila dobljena v vrtinah P1 in P2, najvišjo vrednost pa so dosegla v P1 in sicer 31 µg/L. V vrtini P1 se pojavljata še pesticida joksini in dietiltoluamid-DEET. Mejna vrednost za pesticide je po Uredbi o standardih kakovosti podzemne vode in Pravilniku o pitni vodi določena na 0,1 µg/L, presežata jo za 0,16 µg/L in 0,08 µg/L (celotni rezultati analiz so v prilogi D). [45][46]

Na podlagi rezultatov sledilnega poskusa lahko sklepamo, da se iz odlagališča odpadkov zaradi padavin in razkroja odlagališnega materiala v podzemno vodo izcejajo različni polutanti, kar vodo onesnaži in onemogoči njeno uporabo.

Koncentracije uranina v vzorcih vode so zaradi različnih dejavnikov relativno nizke, zato bi bilo potrebno injicirati večjo količino uranina. Eden od takih dejavnikov je prisotnost glinastih delcev na katere se uranin adsorbira. Hkrati bi se izognili motnjam pri analizi vzorcev zaradi motnosti.

6 LITERATURA

1. Suman Mor, Khaiwal Ravindra, R.P. Dahiya, A Chandra. Leachate Characterization and assessment of groundwater pollution near municipal solid waste landfill site. Environmental monitoring and assessment 118, 1-3 (2006) 435-456
2. Salama R. B., Davis G. B., Barber C. Characterizing the hydrogeological variability of a sand aquifer in the region of a domestic waste disposal site. Groundwater management: Quantity and quality 188, (1989)
3. Direktiva Sveta o odlaganju odpadkov na odlagališčih 1999/31/ES
4. Direktiva evropskega parlamenta in sveta o odpadkih 2006/12/ES
5. Odločba Sveta z dne 19. decembra 2002 o določitvi meril in postopkov za sprejemanje odpadkov na odlagališčih (na podlagi člena 16 in Priloge II k Direktivi 1999/31/ES)
6. Uredba o odlaganju odpadkov na odlagališčih. Ur. l. RS št. 32/2006, 98/2007, 62/2008
7. Cintec Inc. (citirano: 25. marec, 2009)
http://www.cintec.ca/english/images/Pict_tech_schem.gif
8. Sanitation districts of Los Angeles county (citirano: 25. marec 2009)
http://www.lacsd.org/images/liner_20pic.jpg
9. BFI Canada Ltd. (citirano: 25. marec 2009)
<http://www.iesi.com/Theme/Bfi/files/Images/Leachate%20Collection.JPG>
10. Energy systems research unit (citirano: 25. marec, 2009)
http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/04-05/landfill/map4.jpg
11. Ecology global network (citirano: 25. marec, 2009)
<http://ecology.com/ecology-today/wp-content/uploads/2008/10/methane-gas-burn-epa.jpg>
12. Pravilniko o obratovalnem monitoringu onesnaževanja podzemne vode, Ur. l. RS št. 49/2006
13. Kass W. 1998. Tracing technique in geohydrology. Rotterdam, Balkema: 581 str.
14. Abelin, H., Birgersson, L., Gidlund, J., Neretnieks, I. 1991a: A Large-Scale Flow and Tracer Experiment in Granite, 1. Experimental Design and Flow Distribution.- Water Resour. Res., 27: 3107-3117.
15. Cacas M.C., Ledoux E., de Marsily G., Tillie B., Barbreau A., Calmels P., Gaillard B., Margrita B., Durand E., Feuga B., Peaudecerf P. Flow and transport in fractured Rocks: An in situ experiment in the Fanay-Augeres mine and its interpretation with a Discrete fracture network model. – Mem. 22nd Congr. IAH, 22 (1990) 13-37

16. Čenčur Curk B., Pregl M., Petrič M., Kogovšek J. 2007. Hidrogeološki monitoring odlagališč na krasu. V: *mednarodna konferenca "gospodarjenje z odpadki, okoljska geotehnologija in trajnostni razvoj" : ICWMEGGSD'07 - GZO'07, avgust 28.-30., 2007, Ljubljana, Slovenija*. Ljubljana: Naravoslovnotehniška fakulteta, oddelek za geotehnologijo in rudarstvo, 12 str.
17. Kogovšek J., Petrič M. Directions and dynamics of flow and transport of contaminants from the landfill near Sežana (SW Slovenia). *Acta carsologica* 36, 3 (2007) 413-424
18. Kogovšek J., Petrič M. Tracer test on the mala gora landfill near Ribnica in south-eastern Slovenia. *Acta carsologica* 35, 2 (2006) 91-101
19. Prestor J., Janža M. Vpliv Ljubljanskega odlagališča komunalnih odpadkov »Barje« na podzemno vodo. *Geologija* 45, 2 (2002) 505-512
20. Rosqvist H., Bendz D. An experimental evaluation of the solute transport volume in biodegraded municipal solid waste. *Hydrology and earth system sciences* 3, (1999) 429-438
21. Smart P. L. Applications of fluorescent dye tracers in the planning and hydrological appraisal of sanitary landfills. *Q.J. eng. Geol.* 18, (1985) 275-286
22. Ward R.S., Williams A.T., Barker J.A., Brewerton L.J. 1998. Groundwater tracer tests: a review and guidelines for their use in British aquifers. Keyworth/Nottingham, British geological survey – Environmental agency
23. Schudel B., Biaggi D., Dervej T., Kozel R., Mueller I., Henning-Ross J., Schindler U. 2002. Einsatz künstlicher Tracer in der Hydrogeologie – praxishilfe. Serie geologie nr. 3 BWG, Bern : 75 str.
24. Holmbeck-Pelham S.A., Rasmussen T.C., Fowler L.A. Regulation of injected ground water tracers. *Ground water* 38 (št. 4), (2000) 541-549
25. ChemicalRegister – the online chemical buyer's guide (citirano: 27. avgust 2009) <http://www.chemicalregister.com/upload/cr/518-47-8.png>
26. Planung, durchführung und auswertung von markierungsversuchen bei der Wassergewinnung. 2002. Bonn, Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V.: 27 str.
27. Behrens H., Beims U., Dieter H., Dietze G., Eikmann T., Grummt T., Hanisch H., Henseling H., Käß W., Kerndorff H., Leibundgut C., Müller-Wegener U., Rönnefahrt I., Scharenberg B., Schleyer R., Schloz W., Tilkes F. Toxicological and ecotoxicological assessment of water tracers. *Hydrogeology journal* 9 (2001) 321-325
28. El-Fadel M., Findikakis A.N., Leckie J.O. modeling leachate generation and transport in solid waste landfills. *Environmental technology* 18 (1997) 669-686
29. Zojer H., Ramspacher P., Fank J. 1991. Die kombinierte Lysimeteranlage Wagna. in: Bericht ueber die Gumpensteiner Lysimetertagung, 55-60. Gumpenstein: BAL.

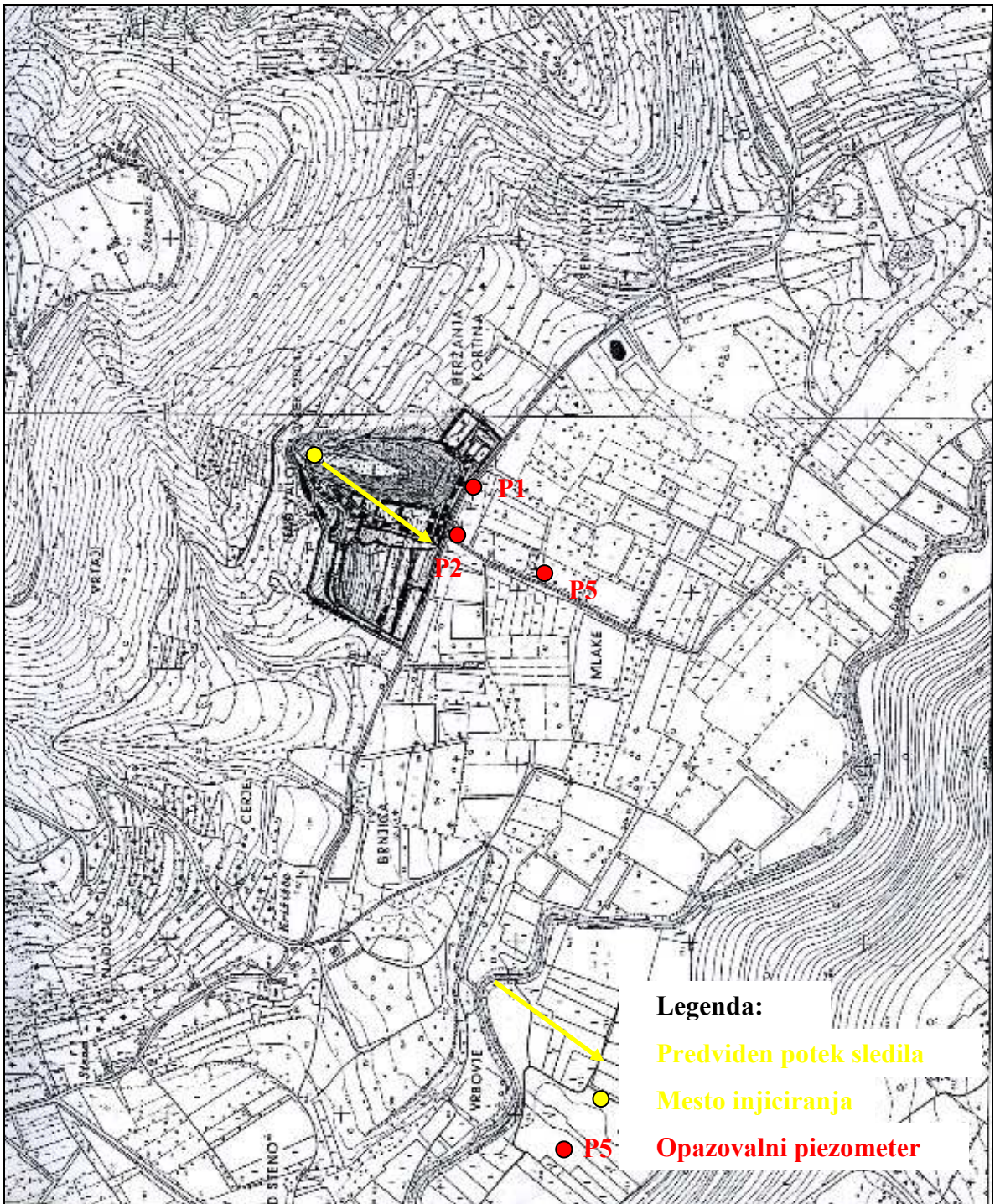
30. Seiler K.-P., Loewenstern S.V., Schneider S. 2000. The role of by-pass- and matrix flow in the unsaturated zone for groundwater protection. in: Sililo et al. (eds). Groundwater: Past Achievements and Future Challenges. Rotterdam: Balkema
31. Brusseau M.L., Rao P.S.C. Modeling solute transport in structured soils: A review. Geoderma 46 (1990) 196-192
32. Program monitoringa podzemnih vod za odlagališče nenevarnih odpadkov Dragonja. 2003 Maribor, Zavod za zdravstveno varstvo Maribor – Inštitut za varstvo okolja: 27 str.
33. Agencija Republike Slovenije za okolje, atlas okolja (citirano: 15. marec 2009) [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)
34. Poročilo o monitoringu podzemnih vod na odlagališču nenevarnih odpadkov Dragonja v letu 2006. 2007 Maribor, Zavod za zdravstveno varstvo Maribor - Inštitut za varstvo okolja: 35 str.
35. Cankar D., Kozarski A., Drma' J. 2002. Odplinjanje, situacija, končno stanje. Ljubljana, IBE d.d., svetovanje, projektiranje in inženiring.
36. Ogrin D. 1995. Podnebje Slovenske Istre. Zgodovinsko društvo za južno Primorsko – Knjižnica Annales 11: 381 str.
37. Poročilo o rezultatih hidrogeoloških raziskav za sanacijo odlagališča odpadkov v Dragonji. 1992. Ljubljana, Geološki zavod Ljubljana: 18 st
38. Pleničar M., Polšak A., Šikič D. 1965. Osnovna geološka karta SFRJ, list Trst 1:100000. Zvezni geološki zavod Beograd.
39. Pleničar M., Polšak A., Šikič D. 1973. Osnovna geološka karta v M 1:100000. Tolmač lista TRST. Zvezni geološki zavod Beograd, 50p.
40. Poročilo o kakovosti podzemne vode v Sloveniji v letu 2006. 2008. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje: 159 str.
41. Brenčič M., Gale U., Mali N. 2003. Konceptualni model toka podzemne vode na območju deponije Dragonja. Ljubljana, Geološki zavod Slovenije, oddelek za hidrogeologijo
42. Poročilo o monitoringu podzemnih vod za odlagališče nenevarnih odpadkov Dragonja za leto 2007. 2008. Maribor, Zavod za zdravstveno varstvo Maribor - Inštitut za varstvo okolja: 46 str.
43. Tutorial on fluorescence and fluorescent instrumentation. Fluorescent microsphere resource center. University of Washington, Division of pulmonary & critical care medicine. Seattle (citirano: 7. Februar 2009) <http://fmrc.pulmcc.washington.edu/DOCUMENTS/FMRC299.pdf>
44. Vrhovnik P. 2009. Ljubljana, Statistična analiza hidrogeoloških podatkov Murskega vodnega telesa, diplomsko delo, Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta
45. Uredba o standardih kakovosti podzemne vode. Ur.l.RS št. 100/2005, 25/2009

46. Pravilnik o pitni vodi. Ur. l. RS št. 19/2004, 35/2004, 26/2006, 92/2006, 25/2009

Priloge

Priloga A

Karta z vrisanim odlagališčem odpadkov, mestom injiciranja sledila, predvidenim potekom sledila in mesti vzorčenja



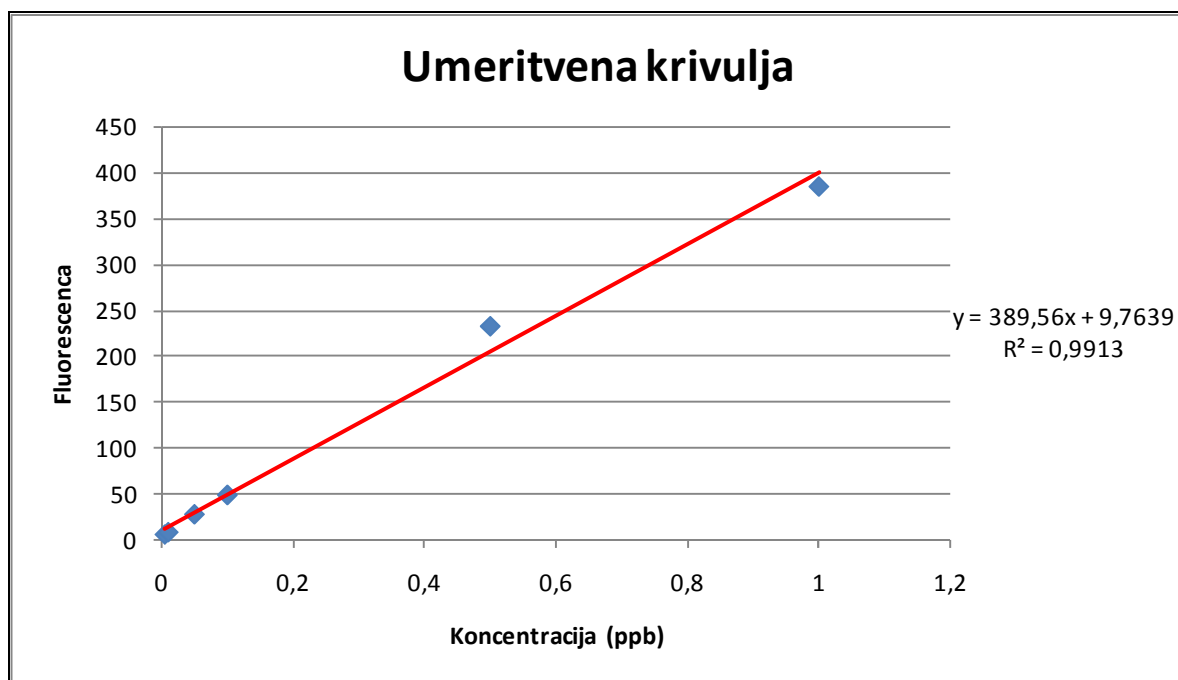
Slika 35: Karta z vrisanim odlagališčem odpadkov, mestom injiciranja sledila, predvidenim potekom sledila in mesti vzorčenja

Priloga B

Vrednosti standardnih raztopin za umeritveno krivuljo in umeritvena krivulja

Tabela 12 : Vrednosti standardnih raztopin

Koncentracija (ppb)	Fluorescenca
0,005	5,3
0,01	7,8
0,05	27,4
0,1	48,5
0,5	232,8
1	385,4



Slika 36: Umeritvena krivulja

Priloga C

Tabele z rezultati meritev vseh parametrov po programu monitoringa za vrtine P1, P2
in P5 v letih 2002, 2005, 2006 in 2007

Tabela 13: Koncentracije parametrov za piezometer P1

Parameter	Enota	Izražen kot	PIEZOMETER P1												Mejne vrednosti za podzemno vodo
			4.11.2002	16.12.2002	22.8.2005	1.12.2005	12.6.2006	3.10.2006	10.07.2007	17.10.2007					
			11:00 02/10743	13:30 02/12335	11:40 05/09734	10:15 05/14456	12:05 06/05374	11:00 06/11066	10:40 07/06923	7:15 07/11741					
Kalij	mg/l	K	13	18	10	28	18	4,9	7,7	3,6	10				
Kalcij	mg/l	Ca	78	9	120	66	87	310	54	310	-				
Magnezij	mg/l	Mg	5	6	8	6	7	15	4	16	-				
Železo	mg/l	Fe	0,17	0,56	0,87	<0,1	0,1	2,1	1,4	3,2	-				
Hidrogenkarbonat	mg/l	HCO ₃	550	560	750	510	790	770	680	740	-				
Nitrat	mg/l	NO ₃	<2	<2	<2	3	<2	<2	<2	<2	50				
Sulfat	mg/l	SO ₄	40	41	56	21	37	41	43	43	-				
Klorid	mg/l	Cl	190	70	150	13	25	1200	120	1000	-				
Ortofosfat	mg/l	PO ₄	<0,02	<0,02	0,06	<0,03	<0,03	0,21	-	<0,03	0,2				
Bor	mg/l	B	0,72	0,88	1	0,62	0,93	0,22	0,47	0,55	-				
INDIKATIVNI PARAMETRI															
Nitrit	mg/l	NO ₂	<0,007	0,023	0,02	0,016	0,095	0,026	<0,007	0,01	-				
Fluorid	mg/l	F	0,48	0,25	0,2	0,19	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	-				
Kovine			-	-	-	-	-	-	-	-	-				
Aluminij	ug/l	Al	210	380	<10	49	15	12	<10	30	-				
Arzen	ug/l	As	<2	<2	<2	<2	<2	5	1	6	-				
Baker	ug/l	Cu	5	8	3	7	5	3	<1	<1	-				
Barij	ug/l	Ba	67	91	93	73	85	240	63	260	-				
Cink	ug/l	Zn	24	60	10	20	29	<10	<10	<10	-				
Kobalt	ug/l	Co	<1	5	<1	<1	<1	<1	<1	<1	-				
Krom (skupno)	ug/l	Cr	<1	2,3	4	2,6	1,3	5,8	2,7	22	30				

se nadaljuje

nadaljevanje

Parameter	Enota	Izražen kot	PIEZOMETER P1												Mejne vrednosti za podzemno vodo (1)
			4.11.2002	16.12.2002	22.8.2005	1.12.2005	12.6.2006	3.10.2006	10.07.2007	17.10.2007					
			11:00 02/10743	13:30 02/12335	11:40 05/09734	10:15 05/14456	12:05 06/05374	11:00 06/11066	10:40 07/06923	7:15 07/11741					
Mangan	ug/l	Mn	26	220	1000	14	47	460	740	500	-	-	-		
Nikelj	ug/l	Ni	7,5	9,6	3,1	4,7	5	7,3	2,7	11	-	-	-		
Svinec	ug/l	Pb	<1	1,6	<1	<1	<1	<1	<1	<1	-	-	-		
Titan	ug/l	Ti	57	68	<1	3	2	3	1	4	-	-	-		
Vanadij	ug/l	V	<1	<1	6,3	4	<1	1,5	2	5,3	-	-	-		
Mineralna olja	ug/l		<5	<5	11	6	7	31	6	<6	10	-	-		
Lahkohlapni klorirani ogjikovodiki - LKCH	ug/l		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Triklorometan	ug/l		0,4	1,1	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	-	-	-		
Pesticidi (skupno)	ug/l		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,18	0,26	0,5	-	-		
Dietiltolamid-DEET	ug/l		-	-	-	-	-	-	0,18	<0,04	0,1	-	-		
Joksinil	ug/l		<0,02	<0,02	-	-	-	-	-	0,26	0,1	-	-		
Estri ftalne in fosforme kisline															
Dietilheksiftalat	ug/l		0,5	<0,2	<0,4	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	-	-	-		

Tabela 14: Koncentracije parametrov za piezometer P2

Parameter	Enota	Izražen kot	PIEZOMETER P2										Mejne vrednosti za podzemno vodo (1)
			4.11.2002 12:00 02/10744	16.12.2002 14:20 02/12336	22.8.2005 12:15 05/09733	1.12.2005 13:00 05/14457	12.6.2006 12:30 06/05376	3.10.2006 12:20 06/11067	10.07.2007 11:20 07/06924	17.10.2007 8:10 07/11742			
TERENSKÉ MERITVE													
Temperatura zraka	°C		16	6	-	5	25	19	25	8	-	-	
Temperatura vode	°C		18,4	16	19	18	18,5	23,3	19,3	17,4	-	-	
Videz			MOTNA	MOTNA	MOTNA	BISTRA	MOTNA	MOTNA	MOTNA	MOTNA	SIVA	RJAVOSIVA	
pH			6,7	6,7	6,9	7,1	7,2	6,7	6,9	7,1	-	-	
Elektroprevodnost	µS/cm		1360	1140	1130	635	755	1230	1170	1440	-	-	
Redoks potencial	mV		-	-	150	420	330	130	160	160	-	-	
Nivo vode	m		2,45	2,64	3,63	0,98	2,76	3,8	4,06	3,68	-	-	
Prehodnost	m		5,45	6,45	6,43	6,42	6,4	6,4	6,38	6,38	-	-	
OSNOVNI PARAMETRI													
Barva	m-1		<0,1	0,2	0,3	0,4	0,1	1	0,1	0,2	-	-	
Motnost	NTU		<1	3	<1	5	2	15	2	4	-	-	
Raztopljene snovi	mg/l		-	-	620	360	430	730	810	1200	-	-	
Skupni organski ogljik - TOC	mg/l	C	3,4	2,9	2,1	7,3	2,3	110	2,8	4,1	-	-	
Adsorbirani organski halogeni - AOX	µg/l	Cl	16	120	<10	50	30	100	-	100	-	-	
Amonij	mg/l	NH ₄	0,1	<0,01	<0,01	0,13	0,05	27	0,35	0,42	-	0,2	
Natrij	mg/l	Na	25	29	48	21	19	45	31	200	-	-	

se nadaljuje

nadaljevanje

Parameter	Enota	Izražen kot	PIEZOMETER P2										Mejne vrednosti za podzemno vodo	
			4.11.2002	16.12.2002	22.8.2005	1.12.2005	12.6.2006	3.10.2006	10.07.2007	17.10.2007	17.10.2007			
			12:00	14:20	12:15	13:00	12:30	12:20	11:20	8:10	8:10			
Kalij	mg/l	0,7	0,3	0,9	0,9	0,5	3,9	0,7	1,5	10				
Kalcij	mg/l	300	62	170	95	120	160	170	200	-				
Magnezij	mg/l	40	27	35	9	15	22	27	22	-				
Železo	mg/l	0,1	0,67	0,39	<0,1	<0,1	1,4	<0,1	1	-				
Hidrogenkarbonat	mg/l	520	240	300	400	460	680	410	590	-				
Nitrat	mg/l	4	7	<2	3	5	<2	<2	5	50				
Sulfat	mg/l	81	82	32	24	26	<1	34	42	-				
Klorid	mg/l	260	71	100	11	22	81	140	380	-				
Ortofosfat	mg/l	0,02	0,03	<0,03	<0,03	<0,03	6,6	<0,03	<0,03	0,2				
Bor	mg/l	0,02	0,03	0,06	0,04	0,03	0,04	0,02	0,14	-				
INDIKATIVNI PARAMETRI														
Nitrit	mg/l	0,13	0,013	0,059	0,039	0,052	0,082	0,049	0,052	-				
Fluorid	mg/l	0,28	0,27	0,28	0,33	0,36	0,3	0,3	0,21	-				
Kovine	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
Aluminij	ug/l	780	680	30	24	<10	120	23	17	-				
Arzen	ug/l	<2	<2	<2	<2	<2	4	<1	2	-				
Baker	ug/l	30	4	2	4	2	5	<1	<1	-				
Barij	ug/l	170	120	110	59	63	100	110	160	-				
Cink	ug/l	11	<10	10	71	20	11	10	<10	-				
Kobalt	ug/l	3	2	1	<1	<1	3	1	1	-				
Krom (skupno)	ug/l	<0,1	3,4	2,7	2,4	<1	3,7	2,2	17	30				

se nadaljuje

nadaljevanje

Parameter	Enota	Izražen kot	PIEZOMETER P2												Mejne vrednosti za podzemno vodo (1)
			4.11.2002	16.12.2002	22.8.2005	1.12.2005	12.6.2006	3.10.2006	10.07.2007	17.10.2007					
			12:00 02/10744	14:20 02/12336	12:15 05/09733	13:00 05/14457	12:30 06/05376	12:20 06/11067	11:20 07/06924	8:10 07/11742					
Mangan	ug/l	Mn	340	80	170	4	10	1300	<1	2	-	-	-		
Nikelj	ug/l	Ni	15	11	5,3	2,9	3,8	5,5	<1	<1	-	-	-		
Selen	ug/l	Se	2,1	<2	<2	<2	<2	<2	110	160	-	-	-		
Svinec	ug/l	Pb	5,8	2,4	<1	1,1	<1	<1	<1	<1	-	-	-		
Titan	ug/l	Ti	160	170	17	2	2	10	10	<10	-	-	-		
Vanadij	ug/l	V	1,7	2,4	3,4	4,9	1,4	1,2	1,4	3,5	-	-	-		
Mineralna olja	ug/l		<4	<5	19	9	8	30	<6	<6	10	-	-		
Lahkolapni klorirani ogljikovodiki - LKCH	ug/l		-	-	-	-	<1	<1	-	-	-	-	-		
Triklorometan	ug/l		1	4,7	<0,3	7,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	-	-	-		
Estri ftalne in fosfome kisline			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Diethylstilbstat	ug/l		0,4	<0,2	0,5	<0,4	<0,2	0,6	-	<0,2	-	-	-		
Pesticidi (skupno)	ug/l		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,06	0,5	-	-		
Joksini	ug/l		-	-	-	-	-	-	-	0,06	0,1	-	-		

Tabela 15: Koncentracije parametrov za piezometer P5

Parameter	Enota	Izražen kot	PIEZOMETER P5					Mejne vrednosti za podzemno vodo (1)
			4.11.2002 13:00	16.12.2002 15:00	12.6.2006 15:00	10.07.2007 12:10		
			02/10745	02/12337	06/05375	07/06925		
TERENSKA MERITVE								
Temperatura zraka	oC		16	4	25	26	-	
Temperatura vode	oC		15,3	14	18,2	17,4	-	
Videz			MOTNA	MOTNA	RAHLO MOTNA		-	
pH			7	6,8	7	6,9	-	
Elektroprevodnost	uS/cm		840	830	840	924	-	
Redoks potencial	mV		-	-	200	200	-	
Nivo vode	m		0,64	0,68	0,88	1,92	-	
Prehodnost	m		12,02	12	11,96	11,95	-	
OSNOVNI PARAMETRI								
Barva	m-l		<0,1	<0,1	<0,1	0,2	-	
Motnost	NTU		2	6	2	4	-	
Raztopljene snovi	mg/l		-	-	480	540	-	
Skupni organski ogljik - TOC	mg/l	C	1,9	1,7	2,1	3,9	-	
Adsorbirani organski halogeni - AOX	ug/l	Cl	<10	25	35	150	-	
Amonij	mg/l	NH ₄	0,59	0,73	0,73	0,96	0,2	
Natrij	mg/l	Na	41	36	33	31	-	
Kalij	mg/l	K	0,7	0,8	0,4	0,6	10	

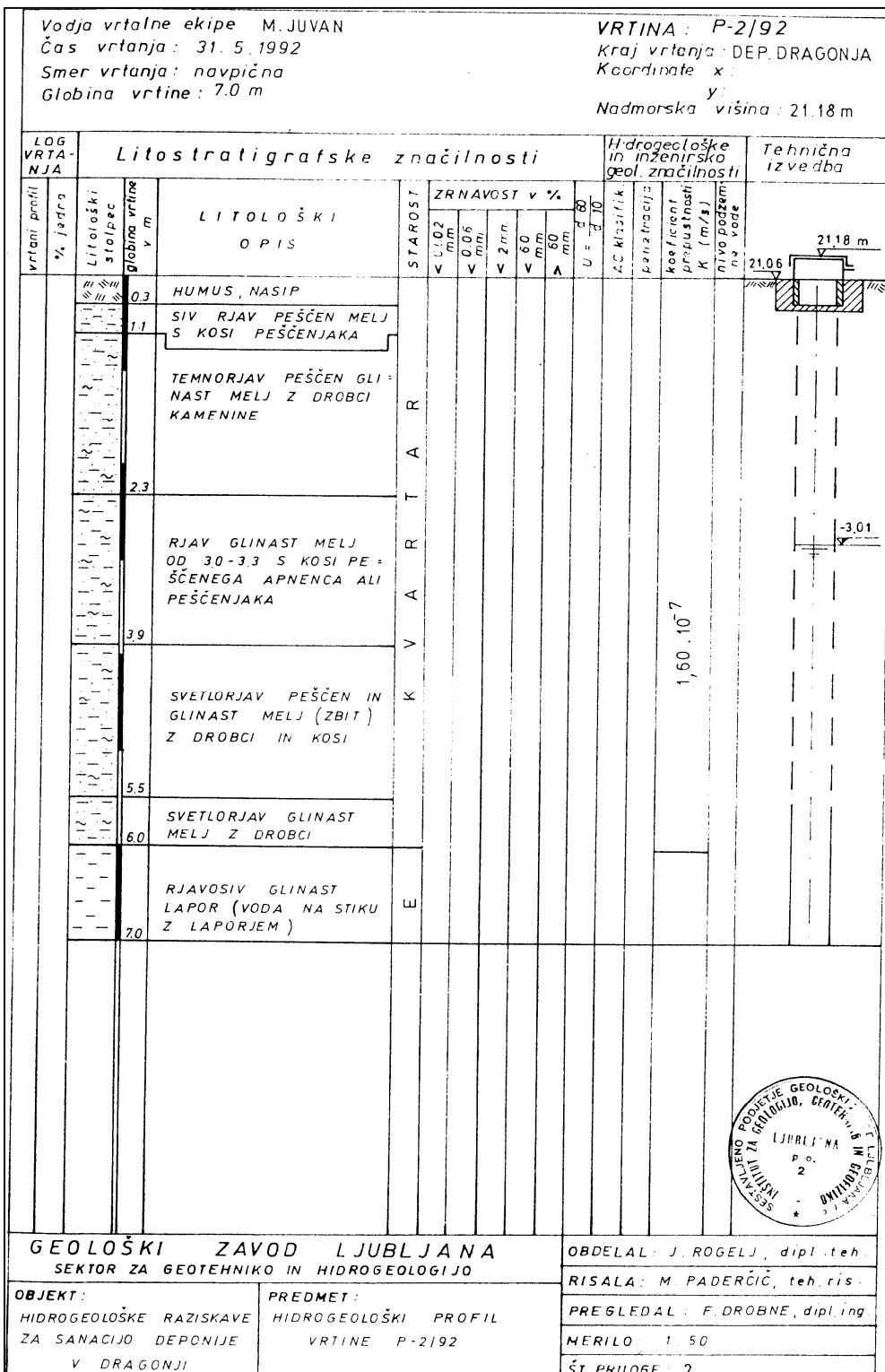
se nadaljuje

nadaljevanje

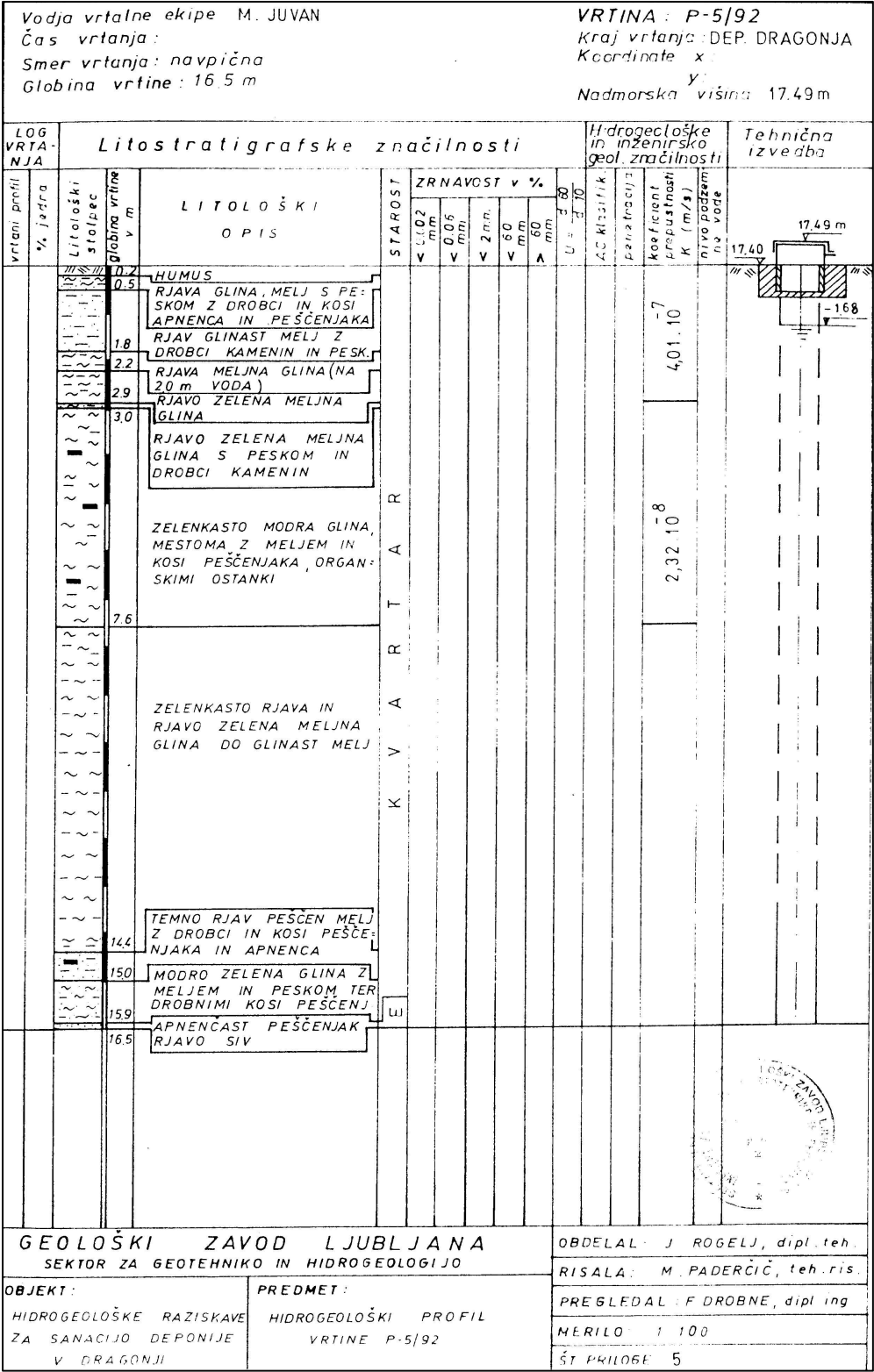
Parameter	Enota	Izražen kot	PIEZOMETER P5				Mejne vrednosti za podzemno vodo 1)
			4.11.2002 13:00	16.12.2002 15:00	12.6.2006 15:00	10.07.2007 12:10	
			02/10745	02/12337	06/05375	07/06925	
Kalcij	mg/l	Ca	74	27	140	140	-
Magnezij	mg/l	Mg	6	14	9	20	-
Železo	mg/l	Fe	0,09	1,9	0,91	5,4	-
Hidrogenkarbonat	mg/l	HCO ₃	550	320	560	600	-
Nitrat	mg/l	NO ₃	3	<2	<2	<2	50
Sulfat	mg/l	SO ₄	6	7	8	4	-
Klorid	mg/l	Cl	18	16	15	23	-
Ortofosfat	mg/l	PO ₄	<0,02	0,04	<0,03	<0,03	0,2
Bor	mg/l	B	0,03	0,03	0,02	0,05	-

Priloga D

Hidrogeološki profili vrtin



Slika 37: Hidrogeološki profil vrtine P2



Slika 38: Hidrogeološki profil vrtine P5

Priloga E

Rezultati analiz vzorcev – vsebnost uranina.

Tabela 16: Koncentracije uranina v vzorcih

	P1	P2	P5
10.6.2008	0,03	0,029	0
26.6.2008	0	0,053	0
30.6.2008	0	0	0
4.7.2008	0	0	0
11.7.2008	0	0,554	0
16.7.2008	0,009	0	0
21.7.2008	0	0,003	0,003
24.7.2008	0	0	0,005
30.7.2008	0	0,005	0,011
7.8.2008	0	0	0,006
12.8.2008	0	0	0,065
19.8.2008	0,053	0	0,04
27.8.2008	0,063	0,035	0,027
2.9.2008	0,083	0	0,078
8.9.2008	0,012	0,027	0,131
15.9.2008	0,014	0,029	0,112
19.9.2008	0	0,027	0,12
25.9.2008	0,018	0,027	0,083
1.10.2008	0,01	0,044	0,086
3.10.2008	0,01	0,025	0,084
8.10.2008	0,015	0,032	0,155
15.10.2008	0,008	0,217	0,117
20.10.2008	0,01	0,045	0,108
27.10.2008	0,053	0,085	0,087
30.10.2008	0,058	0,038	0,101
4.11.2008	0,013	0,045	0,144
8.11.2008	0,011	0,04	0,13
11.11.2008	0,02	0,039	0,146
15.11.2008	0,018	0,06	0,16
18.11.2008	0,04	0,042	0,128

	P1	P2	P5
26.11.2008	0,055	0,061	0,145
4.12.2008	0,01	0,031	0,115
18.12.2008	0,011	0,063	0,076
30.12.2008	0,005	0,032	0,115
13.1.2009	0,018	0,179	0,052
24.1.2009	0,078	0,026	0,068
14.2.2009	0,02	0,083	0,06
28.2.2009	0,02	0,112	0,06
14.3.2009	0,044	0,083	0,106
31.3.2009	0,082	0,117	0,086
9.4.2009	0,032	0,07	0,1
16.4.2009	0,045	0,083	0,106
25.4.2009	0,07	0,072	0,08

Priloga F

Nivoji vode v piezometrih

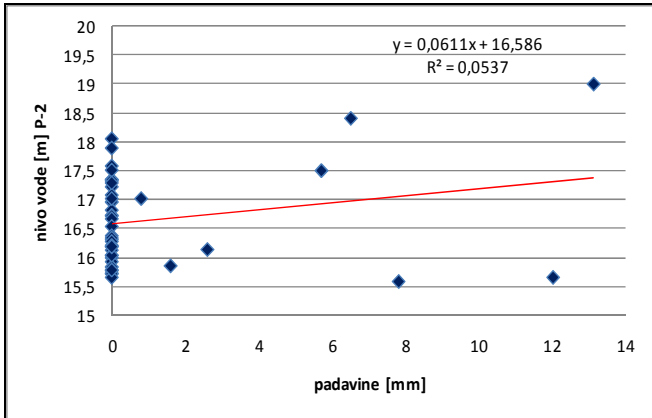
Tabela 17: Nivoji podzemne vode

	P1	P2	P5
8.6.2008			
10.6.2008	16,74	17,03	16,05
20.6.2008	17,13	17,83	16,09
26.6.2008	16,76	17,23	16,11
30.6.2008	16,7	17,09	16,02
4.7.2008	16,59	16,97	15,86
8.7.2008	16,51	16,88	15,8
11.7.2008	16,45	16,83	15,74
16.7.2008	16,37	16,74	15,61
21.7.2008	16,38	16,73	15,63
24.7.2008	16,32	16,68	15,54
30.7.2008	16,16	16,55	15,37
7.8.2008	16,02	16,32	15,21
12.8.2008	15,96	16,39	15,18
19.8.2008	15,94	16,35	15,18
27.8.2008	15,76	16,29	15,12
2.9.2008	15,79	16,22	14,99
8.9.2008	15,76	16,14	14,19
15.9.2008	15,65	16,05	14,85
19.9.2008	15,6	16,01	14,76
25.9.2008	15,54	15,94	14,73
1.10.2008	15,21	15,87	14,72
3.10.2008	15,47	15,85	14,71
8.10.2008	15,43	15,79	14,64
15.10.2008	15,36	15,74	14,61
20.10.2008	15,33	15,73	14,53
27.10.2008	15,38	15,67	14,53
30.10.2008	15,27	15,67	14,55
4.11.2008	15,35	15,8	14,5
8.11.2008	15,68	15,6	15,04
11.11.2008	15,65	16,05	15,07
15.11.2008	15,81	16,2	15,2
18.11.2008	15,74	16,2	15,07

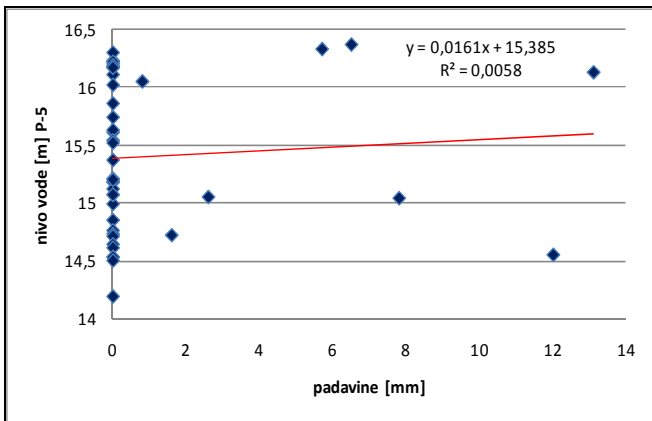
	P1	P2	P5
15.10.2008	15,36	15,74	14,61
20.10.2008	15,33	15,73	14,53
27.10.2008	15,38	15,67	14,53
30.10.2008	15,27	15,67	14,55
4.11.2008	15,35	15,8	14,5
8.11.2008	15,68	15,6	15,04
11.11.2008	15,65	16,05	15,07
15.11.2008	15,81	16,2	15,2
18.11.2008	15,74	16,2	15,07
26.11.2008	15,73	16,15	15,05
4.12.2008	16,32	17,03	15,52
18.12.2008	17,47	19	16,13
30.12.2008	16,91	17,36	16,17
13.1.2009	17	17,33	16,23
24.1.2009	17,22	17,51	16,33
14.2.2009	17,33	18,06	16,3
28.2.2009	17,1	17,35	16,21
14.3.2009	16,98	17,59	16,22
31.3.2009	17,93	18,41	16,37
9.4.2009	17,4	17,9	16,18
16.4.2009	17,24	17,52	16,19
25.4.2009	17,15	17,3	16,17

Priloga G

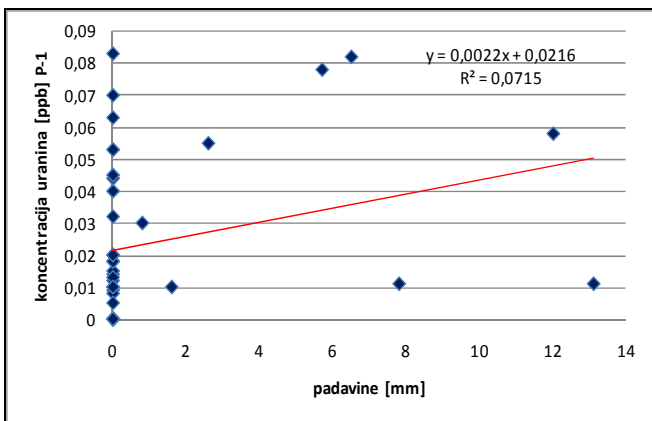
Primerjava med nivoji vode, količino padavin in koncentracijo uranina na posameznih vrtinah



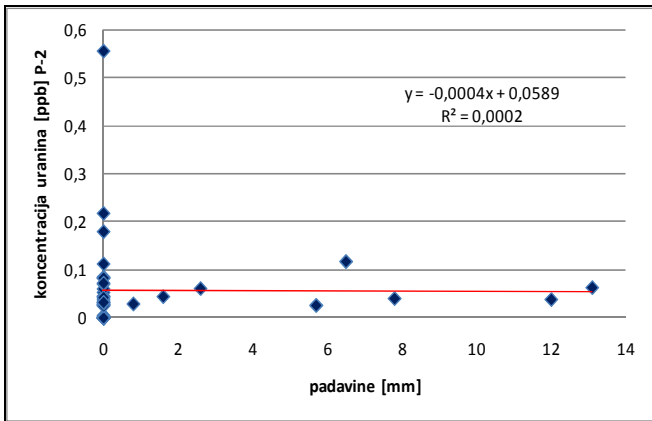
Slika 39: Primerjava padavin z nivojem vode v vrtini P-2



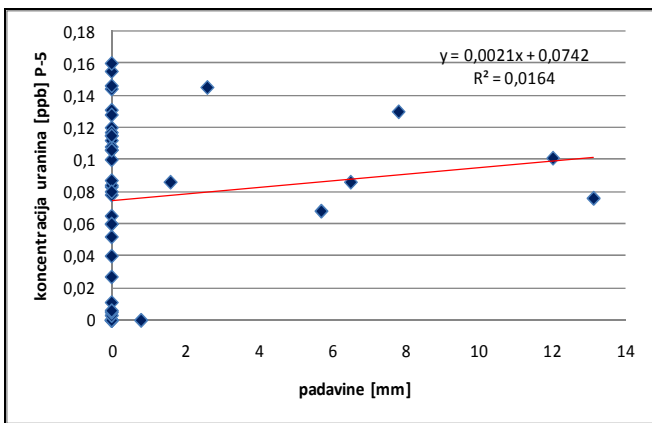
Slika 40: Primerjava padavin z nivojem vode v vrtini P-5



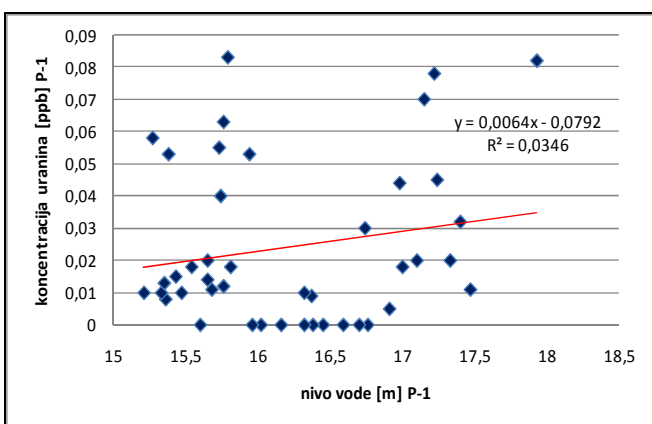
Slika 41: Primerjava padavin s koncentracijo uranina v vrtini P-1



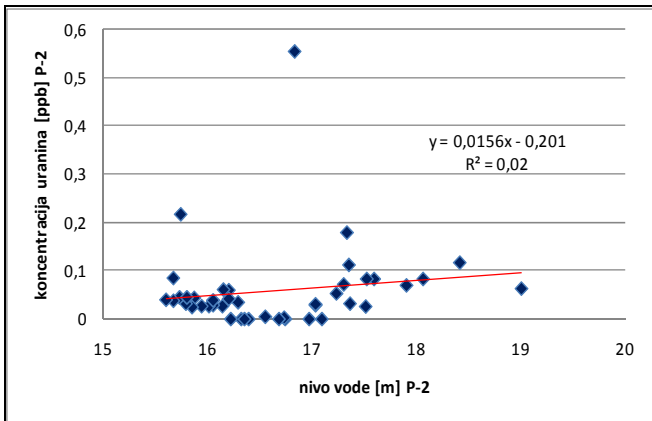
Slika 42: Primerjava padavin s koncentracijo uranina v vrtini P-2



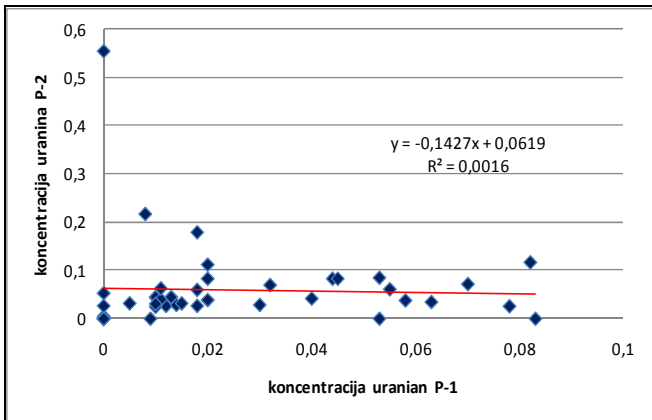
Slika 43: Primerjava padavin s koncentracijo uranina v vrtini P-5



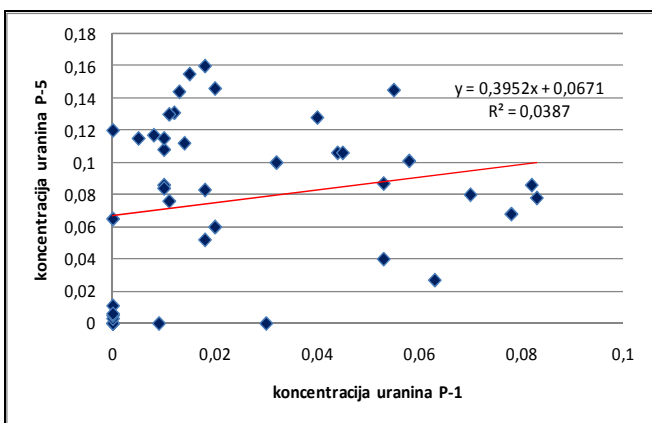
Slika 44: Primerjava nivoja vode s koncentracijo uranina v vrtini P-1



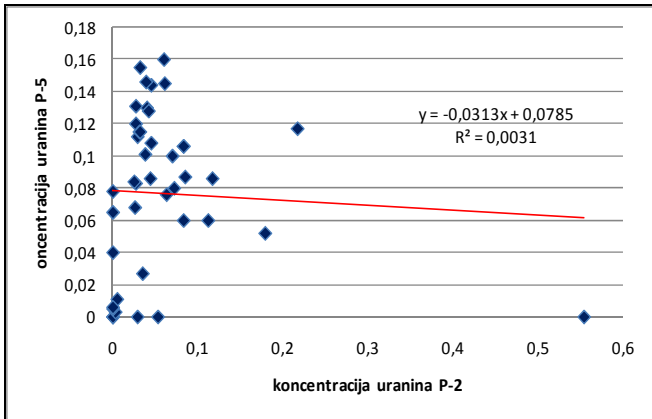
Slika 45: Primerjava nivoja vode s koncentracijo uranina v vrtini P-2



Slika 46: Primerjava konc. uranina v vrtini P-1 s konc. uranina v vrtini P-2



Slika 47: Primerjava konc. uranina v vrtini P-1 s konc. uranina v vrtini P-5



Slika 48: Primerjava konc. uranina v vrtini P-2 s konc. uranina v vrtini P-5