

UNIVERZA V NOVI GORICI
FAKULTETA ZA ZNANOSTI O OKOLJU

Nika TOMAŽIČ

**UGOTAVLJANJE VPLIVA GNOJENJA Z MINERALNIM
GNOJILOM NA KAKOVOST VODE V NEZASIČENI CONI
KRAŠKEGA VODONOSNIKA TRNOVSKE PLANOTE**

DIPLOMSKO DELO

Mentorica: Barbara Čenčur Curk

Nova Gorica, 2007

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem mentorici dr. Barbari Čenčur Curk. Od najinega prvega srečanja, ko sem jo prosila za mentorstvo, pa do konca si je vedno vzela čas, če sem potrebovala njene nasvete in konkretno pomoč.

Zahvaljujem se asistentki Mojci Bavcon Kralj za pomoč v laboratoriju na Univerzi v Novi Gorici in asistentoma Gregu in Boštjanu z inštituta IRGO, ki sta mi pomagala pri terenskem delu.

POVZETEK

Onesnaževanje podzemnih voda je naraščajoč problem povsod po svetu. Eden najbolj problematičnih in razširjenih potencialnih onesnaževal podzemnih vod so nitrati. Ker več kot 40 % slovenskega ozemlja sestoji iz karbonatnih kamnin, so vodonosniki v teh kamninah zelo pomembni, hkrati pa so zaradi svoje "narave" zelo ranljivi. Za kraško-razpoklinske sisteme je značilna velika hitrost toka vode ter kratki zadrževalni časi in s tem majhna samočistilna sposobnost. V diplomskem delu sem poskušala ugotoviti, ali je morebitno povečanje nitrata v vodi nezasičene cone rezultat gnojenja. Izvedla sem enkratno gnojenje z mineralnim gnojilom KAN in kasneje v laboratoriju analizirala vzorce vode, ki sem jih odvzemala v eksperimentalnem rovu na Sinjem Vrhu (ca 10 m pod površjem) na vzorčevalnih mestih vzdolž rova (15 mest). Rezultati meritev pretokov so pokazali, da je tok vode in z njo prenos snovi skozi nezasičeno cono odvisen od stanja zasičenosti le-te. Pasti mora dovolj padavin, ki trajajo nekaj dni, da povzročijo zasičenje in migracijo snovi. Veliko povečanje vsebnosti nitrata v vodi smo zaznali na večih merilnih mestih. Koncentracije, ki so presegale predpisano vrednost 50 mg/l, so bile na MM2 (116,6 mg/l), MM10 (86,3 mg/l) in MM11 (66,0 mg/l). Zaradi premajhnih količin vode za analizo izotopske sestave dušika v nitratu večine omenjenih povišanj nitrata v vodi ne moremo zanesljivo pripisati gnojenju.

KLJUČNE BESEDE: onesnaževanje podzemnih vod, nitrati, karbonatne kamnine, vodonosnik s kraško-razpoklinsko poroznostjo.

ABSTRACT

The pollution of underground water has become a serious problem all over the world. Nitrates are one of the most problematical/ controversial and widespread potential pollutants of underground water. Aquifers in carbonate rocks are very important, as more than 40 % of Slovenian territory is composed of these rocks. At the same time characteristics of these aquifers make them very vulnerable. High velocity of water flow and short residence times in fractured and karstified rocks mean small self-cleaning ability. The dissertation deals with the impact of synthetical fertilizer on possible increases of nitrates in water. Fertilising of the meadow was performed at the experimental research site Sinji Vrh, where water was sampled in the research tunnel ca 10 m below the surface. Further analyses of nitrates in captured samples were carried out in a laboratory. The results of water fluxes indicate that flow of water and consequently the transport of pollutants through unsaturated zone depend upon its saturation. Saturating and substance migration occur after enough precipitations with sufficient duration. Greater enlargement of nitrates in water was observed on several sampling points. It was observed only three times that concentrations were above regulation limit (50 mg/l); on MM2 (116,6 mg/l), MM10 (86,3 mg/l) and on MM11 (66,0 mg/l). Due to a shortage of water it was not possible to analyse isotope composition of nitrogen in nitrate and therefore most of the above-mentioned increases of nitrate in water cannot be ascribed to fertilizing.

KEY WORDS: pollution of groundwater, nitrates, carbonate rock, aquifer in fractured and karstified rocks.

KAZALO

ZAHVALA.....	II
POVZETEK- ABSTRACT	III
KAZALO	IV
KAZALO PRILOG.....	V
1 UVOD.....	1
1.1 Namen naloge.....	2
2 TEORETIČNE OSNOVE	3
2.1 Nitrati v podzemnih vodah	3
2.1.1 Cikel dušika	3
2.1.2 Transformacije dušika v tleh	5
2.1.3 Viri dušika v podzemnih vodah	7
2.1.4 Agrarno obremenjevanje z nitrati (dušikova gnojila).....	8
2.1.5 Migracije dušikovih spojin	10
2.1.6 Problemi zaradi onesnaženja z nitrati	11
2.1.7 Izotop dušika	12
2.1.7.1 Izotopske sestave različnih virov dušika	13
2.2 Izbira gnojila KAN.....	14
2.2.1 Pridobivanje gnojila KAN	14
2.2.2 Delovanje gnojila KAN	14
2.2.3 Primerjava KAN-a z ureo in amonsulfatom	15
2.3 Kraški teren.....	15
2.3.1 Lastnosti kraških kamnin.....	16
2.3.1.1 Tok fluida in prenos snovi.....	17
2.3.1.2 Kraški vodonosnik.....	18
3 EKSPERIMENTALNI DEL	21
3.1 Opis lokacije terenskega dela.....	21
3.1.1 Lega terenskega eksperimentalnega poligona Sinji Vrh.....	21
3.1.2 Opis makrolokacije	22
3.1.2.1 Meteorološke razmere.....	24
3.1.2.2 Geologija	25
3.1.2.3 Hidrogeologija.....	28
3.1.3 Pokrajinske značilnosti in kmetijska raba zemljišč na Trnovskem gozdu.....	30
3.1.4 Dosedanje raziskave onesnaževanja vod zaradi kmetijstva.....	30
3.2 Metoda dela.....	30
3.3 Vzorčenje	33
3.4 Laboratorijsko delo	33
3.4.1 Analiza nitratnega iona	33
3.4.2 Analiza izotopske sestave celokupnega dušika	34
4 REZULTATI IN RAZPRAVA	36
4.1 Rezultati meritev pretokov na posameznem merilnem mestu.....	36
4.2 Rezultati meritev vsebnosti nitrata v vodi na posameznem merilnem mestu	39
4.3 Rezultati izotopskih analiz	42
5 ZAKLJUČKI.....	45
6 LITERATURA IN VIRI	46

KAZALO PRILOG

PRILOGA A: Cikel dušika v tleh in podzemni vodi

PRILOGA B: Hidrogeološka zgradba Slovenije

PRILOGA C: Zaledje izvira Hubelj

PRILOGA D: Visoki kras

PRILOGA E: Litološki stolpec

PRILOGA F: Vrednosti padavin v času poskusa; merska postaja na Sinjem Vrhu

PRILOGA G: Vrednosti standardnih raztopin za umeritveno krivuljo. Graf umeritvene krivulje.

PRILOGA H: Za vsa posamezna merilna mesta: - tabela časov, hitrosti pretakanja in vsebnosti nitratov v vodi, - graf pretokov in vsebnosti nitratov v vodi

PRILOGA I: Rezultati analize izotopske sestave celokupnega dušika v vzorcih vode

1 UVOD

V drugi polovici dvajsetega stoletja se je globalna populacija podvojila z manj kot 3000 milijonov na 6000 milijonov. Tudi potreba po hrani je narasla ter še narašča. To pa vodi v intenzivno kmetijstvo, kar povečuje pritisk na okolje. Sodobna struktura in proizvodnja kmetijskih sistemov se ne more ohraniti brez prihoda in razširjene uporabe sintetičnih ali mineralnih gnojil. ¹

Kmetijstvo je pomembno za vsako narodno gospodarstvo. Zaseda 35 % zemeljske površine, od tega je 11 % direktne kulture/obdelave in 24 % pašnikov. ¹

Dušik (N) je osnoven gradnik vseh nukleinskih kislin, aminokislin in proteinov in je zato bistven za reprodukcijo in rast vseh organizmov. Pojavlja se v tleh in je tesno povezan s talno organsko materijo. Dušik, ki ga lahko rastline absorbirajo in uporabijo, je v enostavnih ionskih oblikah kot amonijev ion (NH_4^+) in nitratni ion (NO_3^-). Od elementov, ki so osnovni za rast kmetijskih pridelkov, je dušik zahtevan v največjih količinah. Izjema so le pridelki, ki oblikujejo velike podzemne založne organe, to je krompir, ki poleg dušika potrebuje tudi velike količine fosforja (P) in kalija (K). ¹

Dušik vsebujoče snovi so vključene v praktično vso biokemijo posejanih pridelkov. Te snovi so klorofil, ki je osnoven za fotosintezo, nukleinske kisline, v katerih je zakodiran vzorec za rast rastlin in razvoj, ter različni rastlinski proteini (od membranskih lipoproteinov do encimov kot je ribuloza 1,5-difosfat karboksilaza- oksigenaza, ki igra glavno vlogo pri pretvorbi atmosferskega ogljikovega dioksida (CO_2) v organski ogljik (C) v procesu fotosinteze. ¹

Oskrba z dušikom povečuje donos pridelka. Pospešena je hitra rast nadtalne vegetacije in podaljšano je trajanje pokritosti s pridelkom. Pomanjkanje dušika se kaže v splošnem v rumenjenju listov rastlin. Rumenenje se začne na konicah in se z naraščanjem pomanjkanja širi na celotne listne površine. V hujših primerih celotna rastlina zakrni in listi ostanejo majhni. Prekomerne količine dušika pa niso vedno dobre. Pojavi se vegetativna rast z velikimi mesnatimi celicami ter tanko steno, kar povzroči, da so listi in stebila boljše tarča za insekte in različne bolezni. Stebla so mehansko manj močna, zaradi česar so pridelki v vlažnem in vetrovnem vremenu nagnjeni k rjavosti. Pri sladkorni pesi se prekomerna količina dušika kaže v zmanjšani vsebnosti sladkorja, pri krompirju pa se razvije preveč prevelikih gomoljev. ¹

Dušik je torej glavno rastlinsko hranilo. Z dodajanjem gnojil se pokažejo največji odzivi pri donosu pridelka, vendar pa je lahko hitro zgubljen iz kmetijskega ekosistema.

Onesnaženje podzemnih vod je naraščajoč problem povsod po svetu. Ključna problema sta obsežna raba podzemnih vod, kar vodi do prekoračitve meje in upadanja nivoja podzemnih vod, in onesnaženje čistih podzemnih vod, kar pa vodi do neželenih učinkov na porabnike ali zmanjšanje uporabe podzemne vode. Eden najbolj problematičnih in razširjenih potencialnih onesnaževal podzemnih vod so nitrati. ²

Pri proučevanju pojavljanja nitratov v podzemnih vodah je pomembno razumevanje cikla dušika s kemijsko-mikrobiološkega vidika, prepoznavanje dušikovega cikla povezanega s tlemi in okoljem podzemnih vod, prepoznavanje naravnih in s človekom

povezanih virov nitratov v podzemnih vodah ter ugotavljanje učinkov (povezanih z zdravjem ljudi in drugih) prekomernih koncentracij nitratov v podzemnih vodah. ²

Z naraščanjem kmetijske proizvodnje zadnjih 5 let so se povečale tudi koncentracije nitratov v rekah, jezerih in podzemnih vodah. Obstaja močan dokaz, da je vzrok za to kmetijstvo. Dušik se izgublja iz kmetijskega ekosistema z izpiranjem (v obliki NO_3^-), v manjšem obsegu s plinsko emisijo (N_2) ali z erozijo (ko se N poveže s talnimi delci). Vse to predstavlja ekonomski primanjkljaj, saj dušik ni uporabljen/izkoriščen za proizvodnjo hrane. ¹

Kljub temu da je dušik pomembno rastlinsko hranilo, pa je tudi okoljski onesneževalec, ki povzroča ekološke motnje.

Več kot 40% slovenskega ozemlja je sestavljenega iz karbonatnih kamnin, zato so podzemni zbiralniki vode zelo pomembni. Razvoj kmetijstva in obširna proizvodnja vodita do potencialne onesnaženosti dragocenih vodnih virov zaradi uporabe gnojil in pesticidov. ¹

1.1 Namen naloge

Glavni namen diplomske naloge je bil raziskati »obnašanje« nitratov in njihov prehod skozi kraška tla ter pod njo ležečo nenasičeno cono kraške kamnine.

Zastavljeni cilji:

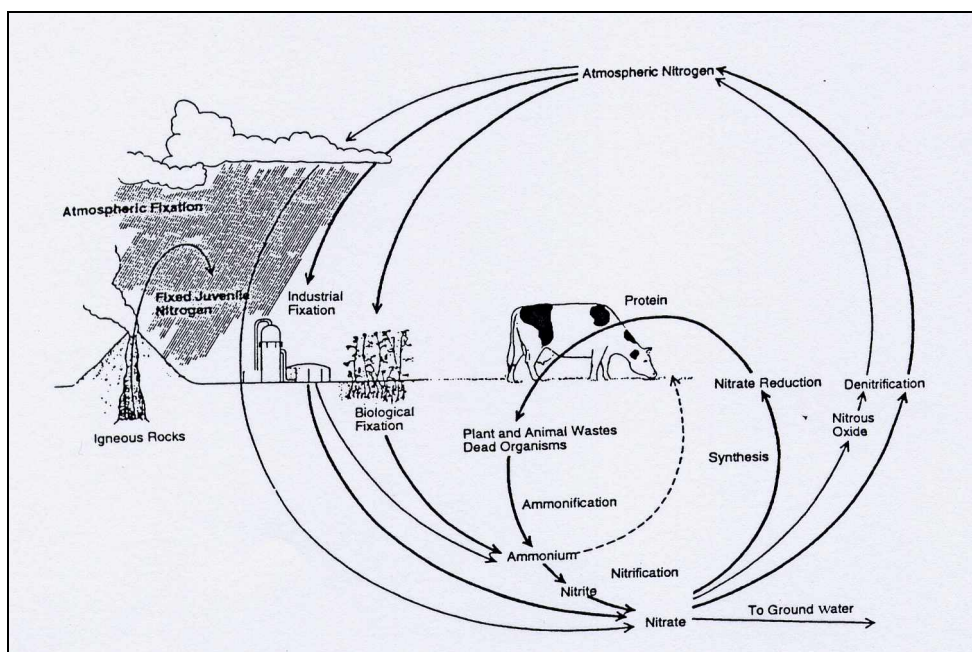
- Pognojiti zakoličeno površino travnika nad umetnim rovom z maksimalno dovoljeno količino mineralnega gnojila KAN.
- Odvzemanje vzorcev vode v umetnem rovu v obdobju približno treh mesecev.
- Analizirati vsebnost nitratov in izotopsko sestavo celokupnega dušika v vzorcih vode.
- Ugotoviti, ali je morebitno povečanje nitratnega iona v vodi rezultat gnojenja.

2 TEORETIČNE OSNOVE

2.1 Nitrati v podzemnih vodah

2.1.1 Cikel dušika

V okolju se nahaja dušik v različnih oblikah. S ciklom dušika lahko opišemo gibanje in transformacijo dušikovih spojin v biosferi. Cikel dušika je prikazan na sliki 1. Atmosfera služi kot »shramba« plinastega dušika. Dušik predstavlja 79% atmosfere. Ker pa višje rastline ne morejo asimilirati atmosferskega dušika, se mora le-ta prej vezati z vodikom ali kisikom. Zaradi svojih različnih oksidacijskih stanj se nahaja dušik v različnih oblikah. Večina sprememb iz enega oksidacijskega stanja v drugega v biosferi je povzročena z biološkimi reakcijami. Navedene oblike dušika so pomembne v zvezi z okoljem zemlja-voda.²



Slika 1: Cikel dušika^{2:2}

Tabela 1: Oblike dušika^{2:2}

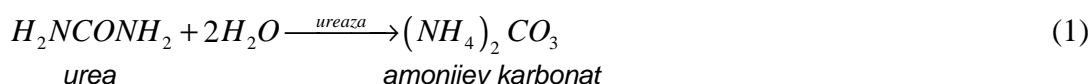
Oblika dušika	Formula	Oksidacijsko stanje
Amoniak	NH_3	-3
Amonijev ion	NH_4^+	-3
Dušik (plin)	N_2	0
Nitritni ion	NO_2^-	+3
Nitratni ion	NO_3^-	+5

Neioniziran molekularni amoniak je v ravnotežju z amonijevim ionom. Porazdelitev tega pa je odvisna od pH in temperature biosfere. Dejansko je pri pH do 7 zelo malo amoniaka.²

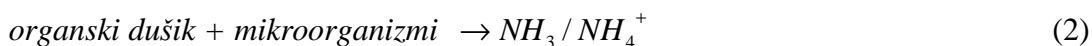
Pri transformacijah dušikovih spojin lahko sodelujejo določeni mikroorganizmi ali s pridobitvijo ali z izgubo energije.

Fiksacija dušika se nanaša na vključitev inertnega, plinastega dušika v kemijsko obliko, ki je dostopna rastlinam in živalim. Fiksacija plinastega dušika v organski dušik se večinoma zgodi s specializiranimi mikroorganizmi ter s povezavo teh organizmov in rastlin. Le manjšo, vendar pomembno vlogo igrajo atmosferska fiksacija z bliskanjem (produkt je nitrat) in procesi industrijske fiksacije (produkta sta amoniak in nitrat).²

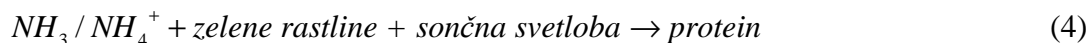
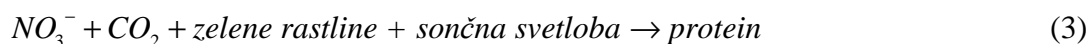
Amonifikacija je sprememba dušika iz organske oblike v amoniak. Reakcija hidrolize vključuje ureo.²



V splošnem se dogaja amonifikacija, katere produkt je amoniak/amonijev ion (NH_3/NH_4^+), med dekompozicijo živalskih in rastlinskih tkiv ter živalskih odpadnih snovi.²

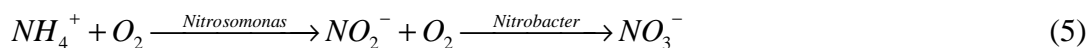


Sinteza oziroma asimilacija zajema biokemične mehanizme, ki uporabljajo amoniak (NH_3) ali nitratne oblike dušika za tvorbo rastlinskih proteinov in drugih dušik-vsebujočih oblik.²



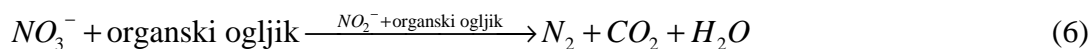
Živali potrebujejo proteine od rastlin in drugih živali. Živali namreč niso sposobne (razen nekaj izjem) pretvoriti anorganski dušik v organsko obliko.²

Nitrifikacija se nanaša na biološko oksidacijo amonijevih ionov (NH_4^+). Poteka v dveh korakih. V prvem koraku se amonijev ion oksidira v nitritno obliko, v drugem koraku pa se le-ta oksidira naprej v nitratno obliko (NO_3^-). V procesa sta vključeni dve specifični kemoautotrofni bakteriji (*Nitrosomonas*, *Nitrobacter*).²



Reakcije transformacije so običajno združene in potekajo hitro do končne nitratne oblike dušika. Ravni nitrita ob kateremkoli času so sorazmerno nizke. Nitrat, ki nastaja, je lahko uporabljen v sintezi, da pospeši rast rastlin, lahko pa je njegova količina naknadno zmanjšana z denitrifikacijo.²

Denitrifikacija je biološka redukcija nitrata (NO_3^-) v plinski dušik (N_2). Redukcija lahko poteka v več korakih. V proces je vključenih precej heterotrofnih bakterij, ki uporabljajo kot vir energije organski ogljik. ²



Če sta prisotna tako kisik kot nitrat, bodo bakterije pri oksidaciji organske snovi prednostno uporabile kisik, ker bodo tako dobile več energije. Zato so za potek denitrifikacije potrebni anoksični pogoji. ²

Amonifikacija, sinteza, nitrifikacija in denitrifikacija so primarni procesi, ki se uporabljajo pri čiščenju onesnaženih podzemnih vod za nadzor dušika in/ali odstranitev dušika. ²

Procesi, ki lahko povzročijo spremembo v okolju (ker bodo nastali pogoji gnali spremembe in se bodo zgodile transformacije), so padavine, usedanje prahu, sedimentacija, veter, tok površinske in podzemne vode, otekanje po tleh in izhlapevanje. Razmere, ki vplivajo na navedene procese, so temperatura, pH, mikrobna flora, oksidacijsko/redukcijski potencial ter razpoložljivost substrata, hranil in kisika. ²

2.1.2 Transformacije dušika v tleh

Znotraj dušikovega cikla v tleh, prikazanega v prilogi A, se zgodi vrsta pomembnih bioloških in kemičnih transformacij, ki vplivajo na količino dušika, ki je dostopna rastlinam za privzem, in na nevarnost prehajanja dušika v širše okolje. Najpomembnejši transformaciji, ki vključujeta transformacije dušika med organskimi in anorganskimi oblikami v tleh, sta mineralizacija in imobilizacija. ¹

Tla običajno vsebujejo dušik v dveh oblikah: organski in anorganski. Organska materija v tleh je naseljena z različnimi heterotrofnimi organizmi, ki dobijo svojo energijo iz dekompozicije organskih molekul. Med dekompozicijo se bistveni hranilni elementi (tudi dušik) pretvorijo iz organske v anorgansko obliko. To imenujemo mineralizacija, ki se vrši, ko so tla dovolj vlažna in topla za mikrobno aktivnost, v veliki meri običajno spomladi, in manj jeseni. Mineralizacija organskega dušika vključuje degradacijo proteinov, aminokislin, nukleinskih kislin in drugih dušikovih spojin do amonijevega iona (NH_4^+). NH_4^+ je nadalje podvržen različnim razpadom, vključno z nadaljnjo transformacijo z imobilizacijo, nitrifikacijo ali fiksacijo, in direktnim izgubam iz prsti zaradi privzema rastlin ali izhlapevanja. Mineralizacija je ključni proces, ki vzdržuje količino razpoložljivega dušika za rastline in izgube s spiranjem. ¹

Imobilizacija dušika je definirana kot transformacija anorganskih dušikovih spojin (NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^-) v organske oblike dušika. Zgodi se, ko je razpoložljiv z ogljikom bogat material. ¹

Tako mineralizacija kot tudi imobilizacija sta močno odvisni od razpoložljivega ogljika. Ko mikroorganizmi razgradijo material bogat z ogljikom, absorbirajo tudi NH_4^+ iz tal in ga hitro pretvorijo v mikrobno biomaso. Kasneje, ko mikrobna biomasa odmre, vstopi NH_4^+ v aktivno fazo organske materije tal in je spet podvržen dekompoziciji. Nekaj mikrobnega dušika lahko vstopi v pasivno fazo in tvori humus, lahko pa je tudi

sproščen kot mineralni dušik. Nenehna sprememba NH_4^+ tako oblikuje stranski cikel znotraj celotnega dušikovega cikla in daje neto učinek/količino (neto mineralizacija, neto imobilizacija). To vpliva na oskrbo drugih dušikovih cikličnih procesov z NH_4^+ .¹

Ko je mikrobná populacija omejena z razpoložljivim ogljikom, se večina mineraliziranega NH_4^+ hitro oksidira v NO_3^- s procesom nitrifikacije. To je dvostopenjski proces, kjer sta prisotni dve pomembni skupini bakterij: *Nitrosomonas*, ki oksidira NH_4^+ v NO_2^- , in *Nitrobacter*, ki oksidira NO_2^- v NO_3^- . Ker je oksidacija NO_2^- hitrejša kot oksidacija NH_4^+ , so v tleh prisotni le preostanki NO_2^- . Eden najpomembnejših virov NO_3^- v kmetijstvu je mineralizacija organskega dušika v tleh in v ostankih pridelkov.¹

Amonij je lahko odsorbiran na površino glinenih delcev in zemljine organske materije, od koder je lahko zamenljiv z drugimi kationi v raztopini tal. Poleg tega je amonijev ion približno enake velikosti kot kalijev ion in tako z lahkoto vstopa v vmesne dele glinenega materiala. Razpad tega vmesnega prostora, npr. z izsušitvijo, uspešno fiksira NH_4^+ in NH_4^+ zelo težko vstopa v raztopino tal.¹

Obstaja veliko poti, s katerimi je dušik odvzet iz tal. Najbolj zaželena pot je s privzemom rastlin in naknadno odstranitvijo s pašo ali žetvijo. Ta dva procesa sta ekonomsko donosna, poleg tega pa dušik ni neposreden vir onesnaževanja. Dušik, ki je na razpolago rastlinam za privzem, pa je vedno nagnjen tudi k izgubi iz tal. Obstajajo tri poti: spiranje NO_3^- , plinske emisije med denitrifikacijo in nitrifikacijo ter izhlapevanje NH_4^+ .¹

Zaradi kemijskih in bioloških procesov je nitrat (NO_3^-) v splošnem najbolj razširjena oblika mineralnega dušika v dobro dreniranih in prezračenih tleh. Veliko ga pride iz procesa nitrifikacije, dodan pa je tudi neposredno z gnojili in v manjših količinah z atmosfersko depozicijo. Med rastjo pridelki hitro privzemajo NO_3^- ter tako zmanjšujejo možnost za izgube. Ko pa rastline nehajo rasti, je v zemlji razpoložljiv NO_3^- do vzeten za izgube, npr. s spiranjem.¹

Nitrat je zelo topen anion in se, za razliko od NH_4^+ , težko adsorbira ali fiksira na delcih tal. Ker težko reagira z mineralno in organsko površino, ostaja v raztopini tal v relativno visokih koncentracijah. NO_3^- se zato prevladujoče giblje skozi tla z mehanizmom masnega toka, kar pomeni gibanje ionov v raztopini tal navzdol s hidravličnim gradientom.¹

Kmetijska tla so nagnjena k spiranju precejšnje količine NO_3^- z odvedeno vodo in to je pogosto glavni vzrok za izgube dušika iz tal. Spiranje se zgodi pod dvema pogojema. Prvi pogoj je, da je gibanje vode v tleh veliko, kar pomeni, da je dotok vode večji od evapotranspiracije. Razen tega vplivata tekstura in struktura tal na hidravlično prevodnost in kapaciteto vode tal. Izgube nitrata s spiranjem so večinoma večje v slabo strukturiranih peščenih tleh kot pa v dobro strukturiranih glinenih tleh. Drugi pogoj pa je, da je količina NO_3^- v tleh visoka zaradi mineralizacije organskega dušika ali zaradi prisotnosti prekomernega ali neporabljenega gnojila. Spiranje topnih organskih dušikovih oblik je glavna pot neželenih izgub dušika iz kmetijskih tal.¹

Še ena pot, po kateri lahko večje količine dušika uidejo iz kmetijskih tal, so plinske emisije dušikovega oksida (NO), didušikovega oksida (N_2O) in molekularnega dušika (N_2). Prevladujoča vira teh emisij sta mikrobná nitrifikacija in denitrifikacija.¹

Denitrifikacija je razgradnja redukcija NO_3^- in je glavni naravni proces, pri katerem se oksidiran N vrne v atmosfero. To se zgodi pod anaerobnimi pogoji v tleh, ko pri mikrobnem dihanju NO_3^- nadomesti O_2 kot termalni akceptor elektronov. Pogoji, ki podpirajo (dajejo prednost) denitrifikacijo, so prisotnost zadostne količine NO_3^- , prisotnost denitrifikacijskih mikroorganizmov, visoke vsebnosti talne vode (malo kisika v tleh) in slaba struktura tal. Slednja dva pogoja se odražata v majhni zračni poroznosti in potencialnih anaerobnih pogojih. Glavni faktorji, ki določajo stopnjo denitrifikacije, so temperatura tal in količina lahko dostopnega prisotnega ogljikovega substrata. Denitrifikacija je lahko zelo pomemben proces izgube dušika v kmetijskih tleh, posebno iz težkih tal pri vlažnih pogojih.¹

Kljub temu, da NH_4^+ ni v splošnem podvržen spiranju, ker se zadržuje na negativno nabitih kationih v tleh, uhaja dušik iz kmetijskih sistemov v obliki NH_3 , vključno z emisijami iz tal. Največje plinske emisije NH_3 so iz živinorejskih sistemov zaradi razpada uree v živalskem urinu in fekalijah. Izgube NH_3 so večje, kjer se pojavljajo večje koncentracije amoniakalnega dušika.¹

2.1.3 Viri dušika v podzemnih vodah

Podzemna voda je v Sloveniji najpomembnejši in dragocen vir pitne vode, saj se z njo oskrbuje več kot 90 odstotkov prebivalstva. V primerjavi s površinskimi vodami jo odlikujejo mnoge prednosti, kot na primer sorazmerno stalna sestava, organizmu primerna vsebnost mineralnih snovi, manj suspendiranih snovi ter nižja vsebnost skupnega organskega ogljika (TOC) in mikroorganizmov. Neonesnažene podzemne vode so brez vsakršne fizikalne ali kemijske obdelave primerne kot pitna voda, medtem ko površinske vode (reke, jezera) brez ustreznih tehnoloških postopkov ne izpolnjujejo zahtev za pitno vodo. Praviloma vsak postopek obdelave iz vode odstrani določene snovi ali organizme, istočasno pa v vodo vnaša tudi nezaželeno in težje kontrolirane spojine.³

Mehanizmi onesnaženja podzemne vode so mnogoteri, odvisni od vrste vodonosnika, sestave in debeline nezasičene cone, topografije, skratka odvisni od ranljivosti vodonosnika. Obremenjenost vodonosnika je odvisna tudi od vira onesnaževanja (točkovni ali razpršeni viri) ter od fizikalnih in kemijskih lastnosti snovi, ki onesnažujejo podzemno vodo.³

Onesnaženje doseže vodonosnik po različnih poteh, in sicer s spiranjem s površja, z infiltracijo površinske vode, z zatekanjem voda iz zaledja ali pa z neposrednim odvajanjem odpadnih voda v podzemno vodo.³

S površja se snovi, ki onesnažujejo vodo, spirajo in skozi nezasičeno cono počasi prenašajo do podzemne vode vodonosnikov. Velik del teh spojin se veže na humusne snovi ali mineralne delce in se na ta način skladišči v nezasičenem delu vodonosnika. Ob spremenjenih pogojih lahko te spojine ali njihovi metaboliti nadaljujejo pot do gladine podzemne vode. V kraških vodonosnikih razpoke in podzemni kanali omogočajo hitrejši in učinkovitejši prenos onesnaženja do podzemne vode.³

Na gričevnatih in hribovitih prispevnih območjih razpoklinskih in kraško-razpoklinskih vodonosnikov se raba prostora razlikuje od ravninskih aluvialnih vodonosnikov. Prevladuje gozd, ki najbolje ščiti vodne vire. Kmetijstvo ni izrazito. Ti vodonosniki so ogroženi predvsem od industrijskih in komunalnih odpadkov ter nenadzorovanih odlagališč odpadkov. V podzemni vodi razpoklinskih in kraško-razpoklinskih vodonosnikov so prisotne številne bakterije tudi fekalnega izvora (koliformne fekalne bakterije in fekalni streptokoki), občasno pa mineralna olja ter halogenirane organske spojine in organofosforne spojine, ki nakazujejo industrijsko onesnaženje. Zaradi »divjih« industrijskih odlagališč je v 80-tih letih prejšnjega stoletja prišlo do nepopravljivega onesnaženja kraškega izvira Krupa s polikloriranimi bifenili. Krupa, znana kot zelo kakovosten vodni vir, je bila pred tem namenjena za oskrbo prebivalcev Bele krajine s pitno vodo.³

Kraško razpoklinski in razpoklinski vodonosniki niso obremenjeni z nitrati in s pesticidi, medtem ko so vsebnosti teh v vodonosnikih z medzrnsko poroznostjo višje.³

Učinki človekovega poseganja, onesnaževanja in prevelikega izkoriščanja se v podzemni vodi izražajo z zakasnitvijo, lahko tudi nekaj let. Dolgotrajen je tudi proces regeneracije, saj so procesi v vodonosnikih počasni. Hitrosti toka vode v slovenskih rekah merimo v kilometrih na uro, hitrosti podzemne vode v vodonosnikih pa le v metrih, največ sto metrih na dan. V splošnem gre torej za okolja brez svetlobe in z malo hranil in raztopljenega kisika v počasi pretakajoči se vodi. Kljub temu pa to okolje skriva pravo bogastvo biološke raznovrstnosti. Iz slovenskih podzemnih voda je znanih blizu 200 vrst in podvrst vodnih živali, ki so v desetisočletjih ali sto tisočletjih prilagodile življenje razmeram pod površjem in danes prispevajo tudi k vzdrževanju kakovosti vode. Njihovo izginjanje zaradi onesnaževanja in spreminjanje vodnega režima med drugim kaže tudi na zmanjševanje samočistilne sposobnosti podzemne vode.³

Vire nitratov v podzemnih vodah lahko razdelimo v štiri skupine: naravni viri, odpadne snovi, poljedelstvo (vrsta pridelkov) in namakalno poljedelstvo. V tabeli 2 je navedenih nekaj virov nitratov v podzemnih vodah.²

Tabela 2: Viri nitratov v podzemnih vodah^{2:7}

Naravni viri	Naravni dušik v tleh se lahko sprosti in preide v podzemne vode s pomočjo namakanja.
Opadne snovi	Živalski gnoj je lahko skoncentriran pri velikih perutninskih farmah, mlekarniških obratih, prašičereji in reji goveda.
	Uporaba gozdnih površin, parkov, golf igrišč, poljedeljskih površin za odlaganje mestnega ali industrijskega blata.
	Odlaganje komunalnih odpadkov v sisteme s septičnim tankom (septičen tank + ...).
	Pronicanje iz sanitarnih ali industrijskih polj.

se nadaljuje

nadaljevanje

Poljedelstvo (vrsta pridelkov)	Izgube dušika v pripovršinskem okolju zaradi prekomerne uporabe gnojil, neučinkovitega privzemanja dušika v pridelke in z mineralizacijo talnega dušika.
	Izgube dušika v pripovršinskem okolju zaradi količine uporabljenih gnojil, sezonskega deževja, temperaturnih vzorcev in načinov obdelovanja zemlje.
Namakalno poljedelstvo	Povečano pronicanje dušika zaradi prekomerne stopnje uporabe gnojil in neučinkovitega namakanja.
	Povezano pronicanje dušika iz tal periodično podvrženo pronicanju, da se odstranijo soli, tako da tla ne postanejo slana in neproduktivna.

2.1.4 Agrarno obremenjevanje z nitrati (dušikova gnojila)

Trajna agrarna proizvodnja je odvisna od nenehne fiksacije atmosferskega dušika. Ta nadomesti izgube dušika iz tal zaradi žetvenih pridelkov, živinske proizvodnje in naravnih procesov, kot sta pronicanje in denitrifikacija.¹

Tehnična učinkovitost in tehnološki napredek se pri modernih agrarnih sistemih močno spodbuja. Pri uvajanju gnojil v moderno kmetijstvo je pomembno troje. Prvič, dolgotrajni poskusi na terenu, ki so pokazali, da lahko donos pridelkov vzdržujemo z nenehnim dodajanjem potrebnih rastlinskih hranil z gnojili. Kot drugo je bila pomembna industrijska sinteza dušikovitih gnojil v dvajsetih letih. Na razpolago je bilo veliko gnojil. Kasnejši razvoj naftne industrije pa je omogočil cenejšo energijo za proizvodnjo gnojil. Nenazadnje pa je pomembno tudi uvajanje visokodonosnih, večinoma kratkosteblnih vrst žitnih pridelkov, ki je omogočilo, da je postalo dodajanje večjih količin gnojil donosno. Večjo uporabo gnojil opravičujejo tudi izboljšana kultura, namakanje in uporaba pesticidov.¹

Od sredine štiridesetih let do poznih osemdesetih let dvajsetega stoletja je močno narasla svetovna uporaba dušikovitih gnojil. Ta ima velik vpliv na kmetijsko produktivnost. Težko je natančno ločiti prispevek dušikovitih gnojil k povečanemu donosu od drugih tehnoloških prispevkov. Razpoložljiva dušikova gnojila so temeljito spremenila vzorce pridelave. Mešani sistemi z relativno zaprtim in samovzdrževanim ciklom dušika so se spremenili v sisteme intenzivno nadziranih monokultur z visokimi vnosi dušika v obliki sintetičnih gnojil.¹

Z večjo uporabo gnojil in hkratnimi spremembami v globalnih vzorcih pridelave se je pozornost usmerila tudi na spiranje dušika iz kmetijskih sistemov. Zaskrbljenost zaradi spiranja lahko delno povežemo z uporabo gnojil in delno z vsesplošno intenzifikacijo kmetijstva zaradi povečane uporabe dušikovitih gnojil ter zaradi napačne presoje glede zahtev rasti pridelkov.¹

Uporaba večje količine dušika, kot je lahko asimilirane v tla ali privzete z rastlinami, ustvarja višek dušika. Prenos in razpad viška dušika lahko povzroči več okoljskih problemov.¹

Ni dvoma, da je intenzifikacija kmetijstva odgovorna za povečanje ravni nitratov v podzemnih in površinskih vodah. Vendar pa ne moremo neposredno povezati onesnaževanja z nitrati s povečano uporabo dušikovih gnojil. Korelacija med povečanjem onesnaževanja z nitrati in povečano uporabo dušikovih gnojil ne vsebuje vzročnosti. Po drugi strani pa je izguba nitratov iz kmetijskih zemljišč zapleten proces, ki vključuje več faktorjev. Znano je, da je glavni faktor, ki prispeva k povečanemu onesnaževanju vodnega okolja z nitrati, specializacija in intenzifikacija kmetijskih podjetij. Upada število tradicionalnih mešanih kmetijskih sistemov, povečuje se število ornih in živinskih kmetij. To se povečuje z intenziteto kmetijske proizvodnje. Viški dušika se pojavljajo na različnih kmetijah, ne glede na velikosti kmetij, njihov način kmetovanja in geografsko lego. K akumuliranju prekomernih količin dušika v obliki gnoja so posebej nagnjene specializirane živinske farme, kjer je uporaba dušikovih gnojil relativno visoka in/ali je vnos koncentrirane krme velik. Take kmetije pogosto najdemo v geografsko skoncentriranih območjih.¹

Intenzivni orni (pridelkovni) sistemi so sami po sebi prepustni in nagnjeni k prepuščanju nitratov. Vzrokov za to je več. Taki sistemi vključujejo obdobja z nepopolno pokritostjo s pridelki, kar pomeni večjo verjetnost spiranja. Redna kultivacija pospeši mineralizacijo dušika in poveča razpoložljivi nitrat. Poleg tega ponavljajoča uporaba dušikovih gnojil poveča količino potencialno mineraliziranega dušika v tleh, kar povečuje količino organsko prinesenega nitrata (NO_3^-), ki je lahko na razpolago za spiranje. Zaradi prekomerne ali slabo časovno načrtovane uporabe gnojil in organskih odpadkov obstaja prav tako nevarnost neposrednih izgub dušika s spiranjem.¹

Onesnaženje podzemnih, površinskih in obalnih vod z nitrati predstavlja v več evropskih državah pomemben okoljski problem s potencialno posledico na človekovo zdravje. V nasprotju s pesticidi, kontroliranje onesnaženja z nitrati ni enostavno za racionaliziranje in zmanjšanje kmetijsko-kemičnih vnosov. Medtem ko je stalna povečevana uporaba dušikovih gnojil očitno in povzroča nitratno onesnaževanje, pa celotno razmerje med stopnjo uporabljenega dušika in pojavom spiranja nitratov ni vedno jasno in neposredno. Spiranje nitratov je posledica številnih faktorjev in se povečuje z različnim viri, kar potencialno zapleta kontroliranje onesnaževanja z nitrati.¹

2.1.5 Migracije dušikovih spojin

Difuzija amonijevega dušika in nitrata v površinskem sloju ima pomembno vlogo pri površinskem transportu skupaj z abiotskimi procesi, kot sta adsorpcija in ionska izmenjava. Količina amonijevega dušika, ki je prenesen z difuzijo na enoto površine in časa, je proporcionalna difuzijskemu in koncentracijskemu koeficientu. Na interfazi zemlja-voda so koncentracijski gradienti relativno veliki in je zato difuzija amonijevega dušika iz anaerobnega sloja hitra.²

Amonijev dušik ne more biti prenesen skozi nenasičeno cono in v podzemno vodo z adsorpcijo, kationsko izmenjavo, vključitvijo v mikrobnno biomaso ali izpuščen v atmosfero v plinski obliki. Adsorpcija je verjetno glavni mehanizem odstranitve v podpovršinskem okolju. V podpovršinskem okolju se pod anaerobnimi pogoji pozitivno nabiti amonijevi ioni (NH_4^+) lahko adsorbirajo na negativno nabite delce tal. Ker so anaerobni pogoji v tleh običajno povezani z nasičenostjo, se lahko pojavi nekaj gibanja

amoniaka. To gibanje bo počasno, ker se bo adsorpcija še naprej dogajala na delcih v vodonosniku.²

Na zadrževanje amonijevih ionov v tleh vpliva skupaj z adsorpcijo tudi kationska izmenjava. Kot je lahko presežena adsorpcijska kapaciteta tal, je lahko izčrpana tudi kationska izmenjevalna kapaciteta. Pod temi pogoji bi bile kationske izmenjevalne strani v tleh pod virom/vnosom amoniaka uravnotežene s kationi v sprani vodi. Sprana voda bi se potem gibala v podzemno vodo s svojo ne bistveno spremenjeno kationsko sestavo. Amonijev dušik je lahko vgrajen v mikrobno ali rastlinsko biomaso v podpovršinskem okolju, kar pa verjetno ni glavni mehanizem odstranitve glede na dušik v podpovršju. Plin amoniak (NH_3) je lahko izpuščen v atmosfero kot rezultat pH pogojev humus-tla. Ko je pH 7 ali manj, je večina dušika v obliki amonijevega iona. Ko pa pH postane bazičen (večji od 7), se amonijev ion (NH_4^+) spremeni v amoniak (NH_3), ki je lahko sproščen iz tal kot plin.²

Za nitrat je značilno, da je bolj mobilni v podpovršinskem okolju kot amonijev dušik. Ko dušik v obliki nitrata doseže podzemno vodo, postane zelo mobilni zaradi svoje topnosti in anionske oblike. Nitrati se lahko gibljejo s podzemno vodo, ne da bi se precej spremenili. V visoko prepustnih podpovršinskih materialih, ki vsebujejo raztopljeni kisik, lahko nitrati prepotujejo velike razdalje od območij vnosa. Edini pogoj, ki vpliva na ta proces, je padec redoks potenciala podzemne vode. V tem primeru se zgodi proces denitrifikacije.²

Spiranje dušika je predhodni pojav procesov transformacije. V knjigi Larry W. Canter-ja z naslovom Nitrates in Groundwater je navedenih 17 avtorjev, ki se je ukvarjalo s faktorji, ki vplivajo na spiranje dušika v podpovršinsko okolje. Na primer, Borneff in Adabe sta ugotovila, da je količina spiranja in posledično količina nitratov v podzemnih vodah funkcija časovne uporabe gnojila, vegetativne pokritosti in poroznosti tal.²

Kemični in mikrobiološki procesi lahko vplivajo na premikanje različnih oblik dušika v podpovršinskem okolju. Proces nitrifikacije in denitrifikacije skupaj z drugimi mikrobnimi, abiotskimi in hidrodinamičnimi pojavi vplivata na koncentracije nitratov v podzemnih vodah. Razumevanje podpovršinskih procesov je osnovno za identifikacijo naravnih in umetnih virov onesnaženja z nitrati, ocenjevanje faktorjev vplivov, modeliranje transporta in razpada, načrtovanje primernih varstvenih meril in čistilnih obdelovalnih shem.²

2.1.6 Problemi zaradi onesnaženja z nitrati

Onesnaženje vodnih virov z nitrati vpliva na kvaliteto pitne vode in javno zdravje ter eutrofikacijo površinskih voda. Obstaja tudi skrb zaradi povečanih ravni nitratov v hrani.¹

Nitrati in kvaliteta pitne vode

Obsežno spiranje nitratov iz tal v vire pitne vode (reke, podzemne vode) se kaže v približanju, ponekod celo v preseganju maksimalne evropske dovoljene koncentracije 50 mg NO_3^-/l za pitne vode.¹

S pitno vodo dobimo običajno do 30% dnevnega vnosa nitratov, ostalo dobimo s sadjem, zelenjavo in mesnimi izdelki. Zaužitje večjih količin nitratov s pitno vodo je lahko škodljivo za ljudi. Kljub temu da je nitrat relativno ne-toksičen in se hitro izloči iz telesa, se lahko v ustih in črevesju reducira do potencialno toksičnega nitrita. Glavni domnevni zdravstveni nevarnosti zaradi nitratov v pitni vodi sta »methaemoglobinaemia« pri otrocih starih do 6 mesecev (bakterije reducirajo vnesen nitrat (NO_3^-) v nitrit (NO_2^-), ki se absorbira v krvni obtok, tam se veže s hemoglobinom in oblikuje »metahemoglobin«, ki ne more prenašati kisika- blue baby sindrom) in rak na želodcu.¹

Eutrofikacija

Mnogo površinskih voda, kot so reke in jezera, ima omejeno zalogo dušika (N) in fosforja (P). Takim površinskim vodam pravimo, da so oligotrofne; revne s hranili, biološka produktivnost je nizka. Okoljsko zaskrbljujoče pa je, da jih lahko obogatitev teh vod z razpoložljivim dušikom in fosforjem spremeni v eutrofne; bogate s hranili in z visoko biološko aktivnostjo. Glavni problemi povezani z eutrofnimi vodami so:

- spremembe v ravneh hranil lahko prizadenejo vrstno strukturo združbe alg, kar lahko prizadene druge živali v vodni prehranjevalni verigi,
- dekompozitorske alge in rastline lahko deoksigenirajo vodo, kar povzroči pogin rib,
- razcveti alg so pogosto odgovorni za probleme s filtracijo v javnih površinskih vodnih zalogah, kar zvišuje ceno čiščenja,
- površinski razcveti alg poslabšajo videz vod in zmanjšajo njihovo privlačno vrednost,
- nekatere vrste alg proizvajajo ekološko-razkrojevalne toksine, ki so lahko škodljivi za človeka.¹

Nitrati v hrani

Tudi pridelki in končni prehrambeni izdelki lahko vsebujejo znatne količine nitratov. Kljub temu da je nitrat prisoten v vseh pridelkih, pa lahko nekatere rastline pod določenimi pogoji akumulirajo zelo visoke koncentracije. Koliko nitratov bo v pridelkih, je odvisno od količine uporabljenih gnojil, značilnosti pridelka in različnih okoljskih faktorjev.¹

2.1.7 Izotop dušika

Obstajata dva stabilna izotopa dušika: ^{14}N in ^{15}N . Dušik ima oksidacijska števila v območju od +5 (NO_3^-) do -3 (NH_4^+), kar je vzrok za širok razpon izotopske sestave dušika. Ker je količina ^{15}N v zraku konstantna ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}=1/272$), se zrak uporablja kot standard za podajanje vrednosti $\delta^{15}\text{N}$.⁴

Izotopska sestava dušika je podana dot delta vrednost, ki predstavlja relativno razliko razmerij $\delta^{15}\text{N}/\delta^{14}\text{N}$ vzorca in atmosferskega dušika, izraženo v ‰:⁴

$$\delta^{15}\text{N} = \left(\frac{(\delta^{15}\text{N}/\delta^{14}\text{N})_{\text{vz}}}{(\delta^{15}\text{N}/\delta^{14}\text{N})_{\text{N}_2}} - 1 \right) 1000 \text{ [‰]} \quad (7)$$

Prevladujoč vir dušika v gozdnih ekosistemih je zrak ($\delta^{15}\text{N}=0\text{‰}$). Številne rastline fiksirajo dušik, ki se tako vključi v nadaljnji cikel. Drugi viri dušika so gnojila, narejena iz atmosferskega dušika (vrednosti $\delta^{15}\text{N}$ od -3 do +3 ‰) in živalski iztrebki z vrednostmi

$\delta^{15}\text{N}$ od +10 do +25‰. Prispevki dušika iz kamnin v vode so večinoma zanemarljivi. Gnojila in živalski iztrebki imajo običajno značilne delta vrednosti, vendar pa atmosferski in talni nitrat nimata značilne sestave in delno prekrivata sestavo gnojil in živalskih izločkov.⁴

2.1.7.1 Izotopske sestave različnih virov dušika

Vrednosti $\delta^{15}\text{N}$ nitrata v podzemni vodi lahko pokažejo glavni vir nitrata. Dušik iz zraka in dušik iz gnojil imata nižje vrednosti $\delta^{15}\text{N}$, medtem ko ima dušik iz iztrebkov značilno višje vrednosti $\delta^{15}\text{N}$. Zaradi tega se da pod ugodnimi pogoji oceniti relativno porazdelitev teh dveh virov dušika v podzemni vodi. Takšna ocena je najboljša v dobro dreniranih tleh in podzemnih vodah z veliko kisika, kjer je nitrifikacija hitra in denitrifikacija minimalna. Pod takšnimi pogoji so vrednosti $\delta^{15}\text{N}$ relativno konstantne.⁴

Zrak

Kompleksne kemijske reakcije v atmosferi odražajo velik razpon vrednosti $\delta^{15}\text{N}$ dušik vsebujočih plinov in raztopin.⁴ Naravni zračni viri teh plinov in raztopin vključujejo izhlapevanje amoniaka iz tal in iztrebkov, nitrifikacijo in denitrifikacijo v tleh in površinskih vodah ter nastajanje iz atmosferskega dušika nitrata med bliskanjem.

Gnojila

Uporaba dušik vsebujočih gnojil ima velik vpliv na pridelek, vrednost $\delta^{15}\text{N}$ rastlin ter na vsebnost dušika in vrednost $\delta^{15}\text{N}$ v tleh. Prekomerna uporaba gnojil se odraža v visokih koncentracijah nitrata in velikih spremembah $\delta^{15}\text{N}$ nitrata v površinskih in podzemnih vodah. Anorganska oz. sintetična gnojila, narejena iz atmosferskega dušika, so urea, amonijev nitrat in kalijev nitrat. Ta gnojila imajo nizke vrednosti $\delta^{15}\text{N}$ (med -4 in +4 ‰), kar je rezultat njihovega vira dušika (zrak). Organska gnojila imajo običajno višje vrednosti $\delta^{15}\text{N}$.⁴

Iztrebki

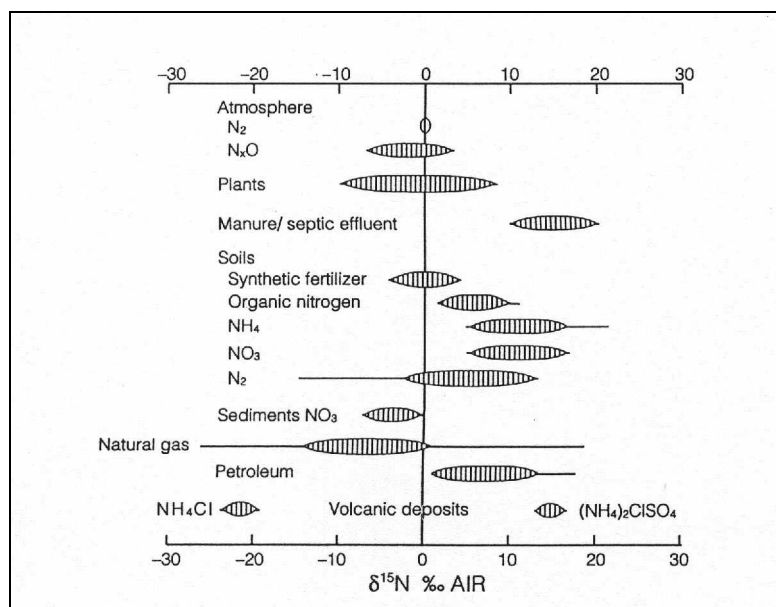
Živalski izločki vsebujejo izotopsko lažji dušik v urinu. Naknadno so lahko obogateni z $\delta^{15}\text{N}$ zaradi izhlapevanja amoniaka. Živalski izločki z običajno vrednostjo $\delta^{15}\text{N}$ okoli +5‰ imajo po oksidaciji vrednosti $\delta^{15}\text{N}$ običajno v območju od +10 do +20‰.⁴

Rastline

Večina rastlin ima vrednosti $\delta^{15}\text{N}$ v območju od -5 do +2‰.⁴

Tla

$\delta^{15}\text{N}$ celotnega talnega dušika se giblje nekje od -10 do +15‰, pri čemer ima večina tal vrednosti med +2 in +5‰.⁴



Slika 2: Območje $\delta^{15}\text{N}$ v naravnih materialih ^{5:149}

2.2 Izbira gnojila KAN

Med mineralna dušikova gnojila spadajo: KAN (apnenčev amonijev nitrat), urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$), amonsulfat, UAN (urea + amonitrat), utekočinjen amoniak, apneni dušik (CaCN_2). Najpogosteje se med njimi uporabljajo prva tri naštetga gnojila. ⁶

KAN je pri nas najbolj razširjeno gnojilo.

2.2.1 Pridobivanje gnojila KAN

Gnojilo KAN vsebuje 28% dušika (N). Narejeno je iz gnojila amonitrata, ki vsebuje približno 34% N, in iz apnenca (CaCO_3) ali dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ - kalcijev in magnezijev karbonat). Apnenec in dolomit dodajajo v tovarni zato, da se zrnca ne sprimejo, da je gnojilo manj higroskopsko (vpija manj vlage) in tudi manj nevarno (samo amonitrat je namreč eksploziven). Osnovna in najpomembnejša surovina za proizvodnjo amonitrata (NH_4NO_3) je plin amoniak (NH_3). Za sintetični amoniak je vir vodika in energije običajno zemeljski plin metan (CH_4), redkeje nafta ali premog, vir dušika pa zrak. Vodik in dušik se kemično spojita v NH_3 pod tlakom približno 30 MPa in pri temperaturi okoli 400°C ter ob prisotnosti katalizatorja. Z oksidacijo NH_3 dobijo solitno kislino (HNO_3). Ko z NH_3 nevtralizirajo HNO_3 , dobijo NH_4NO_3 . Slednjemu dodajo še apnenec ali dolomit in KAN je izdelan. ⁶

2.2.2 Delovanje gnojila KAN

KAN ima dve obliki dušika. Počasi delujoči amonijev dušik (NH_4^+) in hitro delujoči nitrat (NO_3^-). Vsakega je polovico: 14% amonijskega dušika in 14% nitratnega dušika. ⁶

Rastlinske korenine lahko sprejemajo NH_4 le v manjšem obsegu. Zvečine se mora NH_4 ob pomoči mikroorganizmov v tleh spremeniti v nitrat (proces nitrifikacije), da ga lahko vsrkajo korenine. Amonijski del dušika v KAN-u deluje počasi, vendar dalj časa.⁶

Nitrat (NO_3^-) se v talni vlagi hitro raztopi, zato ga lahko rastlinske korenine veliko in hitreje vsrkajo.⁶ Kolikor ga rastline ne posrkajo, se lahko spere iz ornice v globlje talne plasti ali v podtalnico, kjer je za rastline pravzaprav izgubljen, za ljudi pa nezaželen, če ga je več kot 50 mg/l^{7,8}.

2.2.3 Primerjava KAN-a z ureo in amonsulfatom

Urea vsebuje 46% N. Gnojilna vrednost dušika iz uree in KAN-a je približno enaka. Urea se v vlažnih tleh hitro topi in se v prvih dveh do petih dneh tudi hitro razporedi v območju korenin, ker se na začetku ne veže na tla. V primerjavi s KAN-om se torej sečnina še hitreje raztopi in se v tleh hitreje pomika navzdol (če dežuje). Nevarnost za spiranje je kljub temu majhna, razen če zelo obilno dežuje neposredno po uporabi. Delovanje uree pa je nekoliko počasnejše od KAN-a. Ob setvi ali na začetku rasti se lahko da v obliki sečnine nekoliko več dušika kot v obliki KAN-a, za dognojevanje pa toliko manj. Če se ureo trosi po površini tal, lahko manjši del dušika izhlapi v zrak. Ta nevarnost je večja v vročih dneh in na apnenčastih tleh, zato jo je treba praviloma zadelati v zemljo.⁶

Amonsulfat vsebuje 20 do 21% N. Ves dušik je v amonijski obliki, kar pomeni, da se mora z nitrifikacijo pretvoriti v nitrat, da ga rastline lahko sprejmejo oz. da se spere iz tal. V primerjavi s KAN-om in ureo, ki ju lahko uporabljamo za vse vrste zemlje, je raba amonsulfata priporočljiva predvsem na tleh, ki imajo dosti apnenca. Kot posamično gnojilo se uporablja predvsem na Primorskem. Amonsulfat deluje počasi. Iz območja korenin se praktično ne spira. Večinoma ne pride v poštev za dognojevanje. Za razliko od amonsulfata pa se KAN uporablja tako ob setvi kot tudi za dognojevanje.⁶

V ornih tleh so največje izgube, kadar so pri alkalnih pogojih uporabljena amonijska gnojila ali urea. Izgube amoniaka so posledica površinskega izhlapevanja in so večje pri visokih temperaturah tal in suhih pogojih.¹ V veliki meri lahko preprečimo izgube z vnosom gnojil pod površino tal ali z dobrim pomešanjem gnojil z vrhno plastjo tal.

2.3 Kraški teren

Dinarski svet je makroregija na zahodu, jugu in jugovzhodu Slovenije. Meri 5706 km² in zavzema 28,1 % ozemlja Slovenije.⁹

V grobem sicer ne preveč izrazito, v drobnem pa izjemno razgibano površje sestavlja splet bolj ali manj visokih, redko poseljenih kraških planot brez stalnih vodotokov (na primer Trnovski gozd, Snežnik, Velika gora,...), razpotegnjenih, gosteje poseljenih podolij z nizi kraških polj s ponikalnicami, uval in vmesnih pregrad (Pivško, Notranjsko, Ribniško-Kočevo in Dolenjsko podolje ter Loški potok) ter zakraselih ravnikov (največji med njimi je Belokranjski ravnik, velik je tudi Kočevskoreški ravnik).⁹

Čeprav se zakraselo površje nadaljuje tudi v sredozemski svet s submediteranskim podnebjem, je druga značilnost Dinarskega sveta hladno in dobro namočeno podnebje, ki je najbolj izraženo prav na najvišje vzpetem zunanjem obrobju na jugozahodu makroregije, imenovanem Visoki kraški rob. Padavinski režim se v smeri proti vzhodu spreminja od sredozemskega k celinskemu. Mreža površinskih voda se zgosti le na neprepustnih kamninah, sicer je značilen podzemeljski vodni odtok s številnimi ponikalnicami, ki oblikujejo skrivnostni svet kraških jam in brezen. Bolj rodovitna tla so na naplavinah na dnu kraških polj, ki pa so v glavnem mokrotna; v njih je pogost tudi toplotni obrat. Tla na strminah so nerazvita, na živoskalni podlagi pa plitva. Prevladujejo rendzina in rjava pokarbonatna tla.⁹

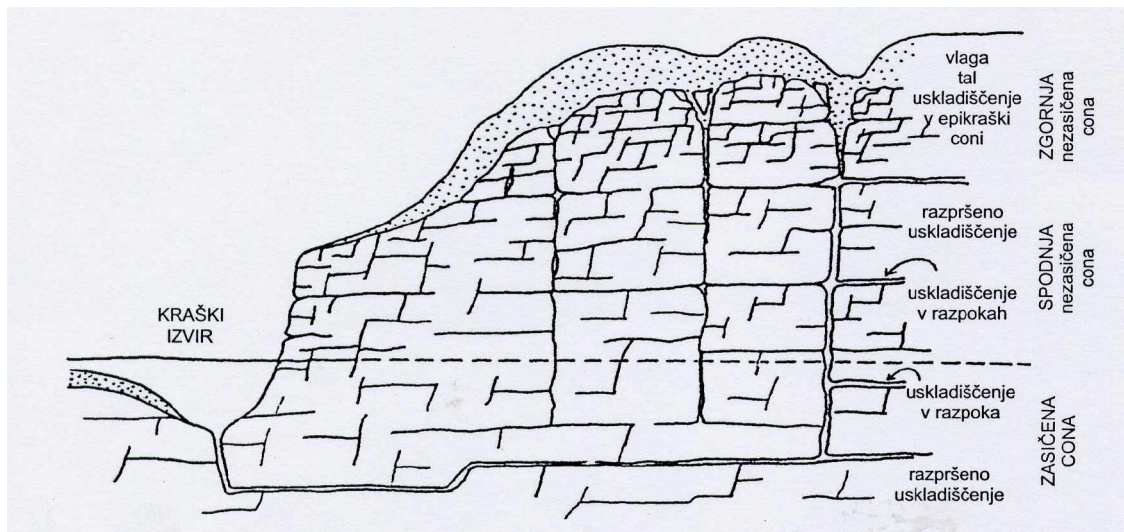
Poleg Alpskega je Dinarski svet naša najbolj gozdnata makroregija. Gozd porašča okrog 60 % površja.⁹

Trnovski gozd je s sosodnjimi Banjšicami najseverozahodnejši odrastek mogočnega Dinarskega gorovja. Planinski svet Trnovskega gozda je kraški, brez tekoče vode na površju in razčlenjen z zaprtimi globelmi, kuclji, griči in hribi, jamami, brezni in drobnimi kraškimi oblikami: škrapljami, žlebiči, škanjnicami in podobnim. Med kraškimi pojavi so posebej pomembne jame z večnim ledom in snegom. Zaradi klasičnega opisa (*locus claiicus*) rastlinskega obrata v vzhodnem delu je 385 m globoka in 1550 m dolga Velika ledena jama v Paradani svetovno znana. Nekdaj so led iz nje vozili celo v Egipt.⁹

Trnovski gozd je porasel z mešanim bukovo-jelovim gozdom (*Abieti-fagetum dinaricum*). Najvišje se povzpne na malem Golaku (1495m), ki je na vrhu gol, niže pa poraščen s pritlikavim vrbovjem in rušjem. V skalnih razpokah so tod našle svoj prostor tudi zavarovane, endemične rastline, npr. kranjski jeglič.⁹

2.3.1 Lastnosti kraških kamnin

Padavine na krasu pronicajo neposredno s površja v njegovo notranjost. Najprej se pretakajo skozi nezasičeno cono, nato pa se prek zasičene cone koncentrirano iztekajo skozi kraške izvire. Padavine se glede na padavinske razmere ter zapolnjenost tal in zgornjega dela vadozne cone (epikraške cone) z vodo zelo različno pojavljajo globlje v krasu, kjer jih kot kapljanja ali curke opazujemo v podzemnih jamah. Pri tem padavine spirajo razpoložljive snovi s površja, tudi onesnaženje, ki lahko tako dosežejo kraške izvire. Preučevanje pretakanja padavin in prenosa snovi s sledenjem okoljskih parametrov in s sledilnimi poskusi z umetnimi sledili so pokazali sorazmerno hitro pretakanje in hiter prenos snovi v času izdatnejših in pogostejših padavin jeseni (od 0,7 do 4,3 m/h) ter počasnejši in dolgotrajnejši prenos snovi v bolj sušnih razmerah.¹⁰



Slika 3: Model kraškega vodonosnika s conami, v katerih je uskladiščena podzemna voda ^{11:582}

Za kraški svet je značilno, da padavine neposredno prenikajo skozi tla in karbonatne kamnine ter napajajo kraške vodonosnike. Padavine po prehodu tal vstopajo v nezasičeno cono, kjer je kamnina v stiku z vodo in zrakom. Nezasičena cona lahko obsega od nekaj pa do več sto metrov debele karbonatne kamnine. Pomembno je zadrževanje padavin v zgornjem delu vadozne cone, v epikraški coni, medtem ko se po prepustnejših razpokah voda pretaka hitreje. Seveda pa so hitrosti pretakanja zelo odvisne od hidroloških razmer. Padavinska voda, ki doteka v kraški vodonosnik, pogojuje najprej iztekanje stare, kasneje pa tudi nove vode skozi kraške izvire, od katerih so številni zajeti za oskrbo prebivalstva s pitno vodo. Onesnaženje ogroža kakovost kraških izvirov, zato je zelo pomembno poznavanje načina pretakanja in prenosa snovi v krasu, kar nam omogoča ustrezno načrtovanje aktivnosti na površju, v primeru nesreč pa hitro in pravilno ukrepanje. ¹⁰

2.3.1.1 Tok vode in prenos snovi

Prepustnost kamnin je njihova sposobnost, da pod vplivom gradienta potencialnega polja prevajajo fluide. Značilnosti kamnine, ki vplivajo na prepustnost so: vrsta poroznosti, velikost por in njihova medsebojna povezanost, velikost zrn v kamninah z medzrnsko poroznostjo, zbitost nelitificiranih kamnin in koeficient enakomernosti nelitificiranih kamnin. ¹²

Podzemna voda se nahaja v porah geoloških plasti. Čim več por ima geološka plast, večja je njena poroznost. Celotna poroznost je razmerje med volumnom praznin in celotnim volumnom kamnine. Vendar pa sama poroznost še ne zagotavlja, da bo kamnina prepustna. Pore ali razpoke morajo biti dovolj velike, da se voda lahko skozi pretaka, razpoke in rovi pa povezani med sabo. Za tok vode skozi kamnino pod vplivom gravitacije je pomembna efektivna poroznost, ki je razmerje med volumnom med seboj povezanih por in celotnim volumnom kamnine. ¹²

Poroznost je torej lastnost kamnin, da vsebujejo praznine. Glede na morfologijo praznin ločimo: pore (medzrnska poroznost), razpoke (razpoklinska poroznost) in kanale (kraška poroznost). Glede na nastanek praznin v kamnini pa ločimo primarno in sekundarno poroznost. Primarna poroznost nastane v času odlaganja sedimentov in med diagenozo. Sekundarna poroznost pa nastane kasneje zaradi geoloških in kemičnih procesov.¹²

Pretok skozi porozno kamnino je definiran z Darcyjevim zakonom oz. zakonom linearne filtracije in je proporcionalen produktu preseka kamnine in tlačni izgubi na enoto dolžine. Proporcionalnostni faktor je koeficient prepustnosti in je lastnost porozne kamnine.¹²

Transportni procesi so fizikalni pojavi, kot je npr. gibanje raztopljenih snovi s tokom podzemne vode. Glavni procesi transporta snovi so advekcija, difuzija, disperzija, sorpcija, kemične reakcije in biodegradacija. Advekcija je transport snovi zaradi toka vode, v kateri je ta snov raztopljena. Difuzija je molekularni transport snovi, kjer gibanje atomov in molekul povzroča izravnavo koncentracij. Transport snovi zaradi difuzije opisuje prvi Fickov zakon. Difuzija poteka tudi, ko voda miruje. Difuzija je pomembna v primeru majhnih hitrosti ali pa v primeru proučevanja transporta snovi v dolgem časovnem obdobju. Disperzija je proces mešanja fluidov zaradi različnih hitrosti v heterogenem poroznem prostoru. Proces disperzije razprši ostro fronto polutanta, česar posledica je razredčenje polutanta na fronti. Disperzija je sorazmerna s hitrostjo, sorazmernostni koeficient pa je disperzivnost oz. geometrična disperzija. Proces disperzije in difuzije težko ločimo med seboj in ju pogosto obravnavamo združeno kot hidrodinamično disperzijo.¹³

2.3.1.2 Kraški vodonosnik

Prostorska porazdelitev podzemne vode je pogojena z vrsto kamninske zgradbe in vrsto njene poroznosti oz. prepustnosti. Odvisna je torej predvsem od hidrogeološke zgradbe. Večino slovenskega ozemlja prekrivajo razmeroma dobro prepustne sedimentne kamnine z medzrnsko poroznostjo (19,8 % površine Slovenije), razpoklinsko (14,2 %) in kraško razpoklinsko poroznostjo (33,2 %). Preostale dele Slovenije (32,8 %) gradijo plasti z medzrnsko ali razpoklinsko poroznostjo manjše izdatnosti in kamnine s slabšo poroznostjo, kar je prikazano na sliki 17 v prilogi B.³

Poleg prodov in peskov pa so vodonosni tudi apnenci in dolomitizirani apnenci, peščenjaki, laporji itd. Plasti apnencev in delno dolomitov, ki so zaradi tektonskih premikanj zdrobljene in kasneje zakrasele, imajo kraško razpoklinsko poroznost. Za plasti dolomitov je značilna predvsem razpoklinska poroznost. Slabše prepustne in manj izdatne so plasti peščenjakov, laporjev s pretežno razpoklinsko poroznostjo. Vodonosniki s kraško razpoklinsko poroznostjo so na velikih sklenjenih območjih v zahodnem in južnem delu Slovenije, od Julijskih Alp do visokih kraških planot. Debelina vodonosnikov s kraško in razpoklinsko poroznostjo je lahko več sto ali tudi tisoč metrov. V njih se v Sloveniji zadržuje okoli 62 % dinamičnih zalog podzemne vode.³

Vodonosniki z razpoklinsko in predvsem kraško poroznostjo se odlikujejo z izdatnimi izviri. Točkovno iztekanje podzemne vode iz vodonosnikov, kar izviri so, je najpogosteje povezano z vrsto kamninskih plasti, njihovo nagubanostjo, erodiranostjo,

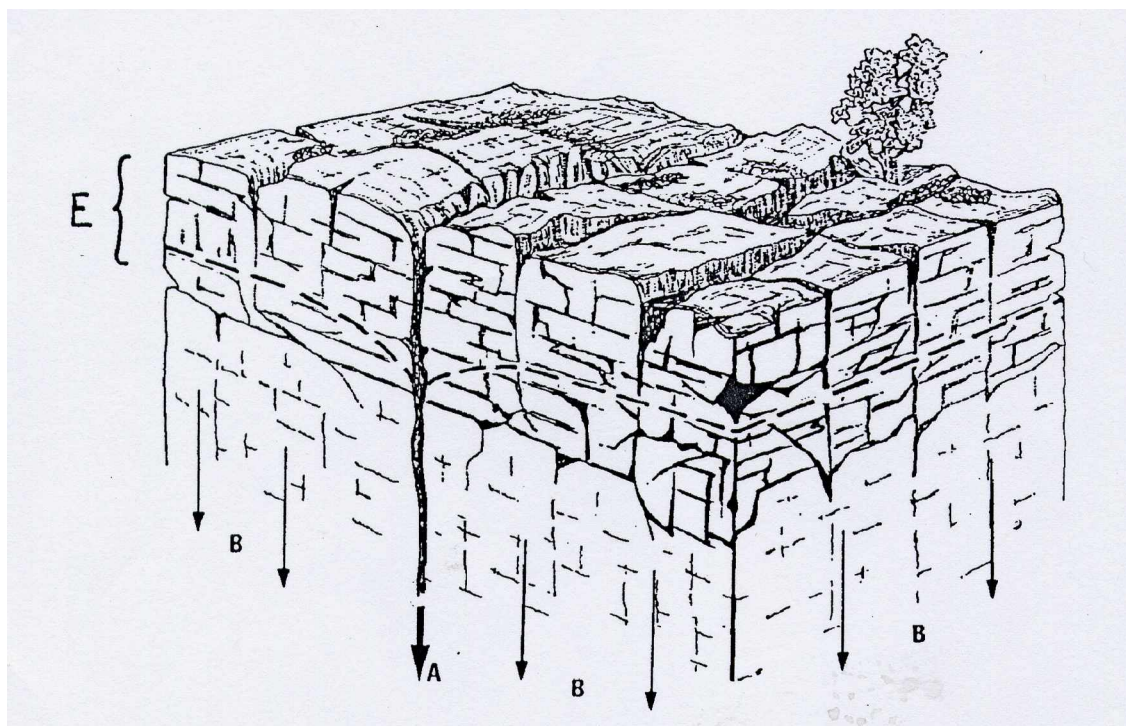
razpokanostjo, izvotljenostjo. Pojavljajo se povsod tam, kjer naravne geološke značilnosti dopuščajo ali omogočajo iztok vode iz vodonosnika. Med najizdatnejše izvire v Sloveniji se uvrščajo izviri v zahodnih alpskih in kraških predelih.³

Najpogostejši med izviri so plastni izviri, ki se pojavljajo na stiku neprepustnih plasti (glina, laporji, skrilavi glinavci) s poroznimi vodonosnimi kamninami. Neprepustne plasti so nagnjene proti izviru in podzemna voda zaradi težnosti odteka skozi prepustno kamnino nad neprepustno plastjo. Zaradi sorazmerno majhne prostornine kamninskih por, ki jih izpolnjuje podzemna voda, je izdatnost plastovnih izvirov odvisna od padavin, posebno v kraškem svetu. Ob daljši suši tovrstni izviri presahnejo. Na stiku neprepustnih plasti in poroznih vodonosnih kamnin so pogosto prelivni izviri. Večkrat se pojavljajo na vznožju dolomitnih in apnenčevih gorskih masivov v tektonsko razpokanih conah. Tudi tu odteka podzemna voda v izvir težnostno, vendar je njeno gibanje delno tudi sifonsko. Skupna prostornina kamninskih por, ki jih izpolnjuje podzemna voda, je pri tej geološki zgradbi zelo velika. Zato je izdatnost teh izvirov skozi vse leto izravnana, izviri pa tudi po dolgotrajni suši ne presahnejo. Posebna oblika prelivnih izvirov so arteški izviri, kjer voda priteka iz hidravlično zaprtega vodonosnika v izvir pod tlakom.³

Kraški vodonosnik lahko razdelimo na tri dele, in sicer: zgornjo nezasičeno cono, ki vključuje vodo uskladiščeno v tleh in v epikraški coni, spodnjo nezasičeno cono, ki vključuje cono uskladiščenja v kraških kanalih in večjih razpokah ter v okoliških blokih kamnin, ter zasičeno cono, ki prav tako vključuje cono uskladiščenja v kraških kanalih in večjih razpokah ter v okoliških blokih razpokanih kamnin.¹⁴

Epikraško cono, prikazano na sliki 3, gradi zgornja plast izpostavljenih kamnin kraškega vodonosnika, v katerih je prepustnost zaradi razpokanosti veliko večja in bolj enotno razporejena kot v spodnji nezasičeni coni. Coni se torej strukturno razlikujeta - razlike v razpokanosti so praviloma vidne do globine 15 do 30 m. Posledica so razlike v hidravlični prevodnosti med epikraško in spodnjo nezasičeno cono, kar omogoča nastanek visečega epikraškega vodonosnika.¹⁴

Zaradi zmanjševanja števila in širine razpok je razpršeno vertikalno napajanje v epikraški coni z globino vse težje, zato tok znatno pridobiva lateralno komponento, ki konvergira proti najbolj prevodnim vertikalnim tektonskim razpokam. V bazi epikraške cone se voda uskladišči in skoncentrira v smeri proti glavnim oziroma najbolj prevodnim razpokam, ki so ponavadi dovolj široke, da zagotavljajo vertikalno napajanje spodnje nezasičene cone.¹⁴



Legenda: epikraška cona (E), koncentrirano (A), razpršeno napajanje (B)

Slika 4: Shema epikraške cone ^{14:574}

Tako kot so heterogeni kraški vodonosniki, je heterogena tudi epikraška cona. Zveznost epikraškega vodonosnika je odvisna v največji meri od porazdelitve in hidravlične kapacitete vertikalnih poti precejanja, preko katerih se drenira voda v spodnjo nezasičeno cono. ¹⁴

Mehanizem toka in prenosa snovi je v kraškem vodonosniku odvisen od obnašanja epikraške cone. Po padavinah se v bazi epikraške cone skoncentrirajo predhodno uskladiščene vode v zgornji nezasičeni coni in nova voda. Epikraška cona prevaja to vodo v nižja območja vodonosnika v odvisnosti od količine vode v njej: ¹⁴

- če je količina vode majhna, se večina vode zadrži in uskladišči v bazi epikraške cone; ta voda se počasi izceja skozi serije ozkih razpok in razpršeno napaja slabo prepustne bloke kamnin spodnje nezasičene cone, le-ti pa razpršeno napajajo zasičeno cono vodonosnika;
- če je količina vode velika, se en del vode lahko zelo hitro drenira prek povečanih in prevodnejših tektonskih razpok v omrežje kraških kanalov in vzpostavi hiter koncentriran tok- epitok, medtem ko se drug del vode uskladišči v bazi epikraške cone.

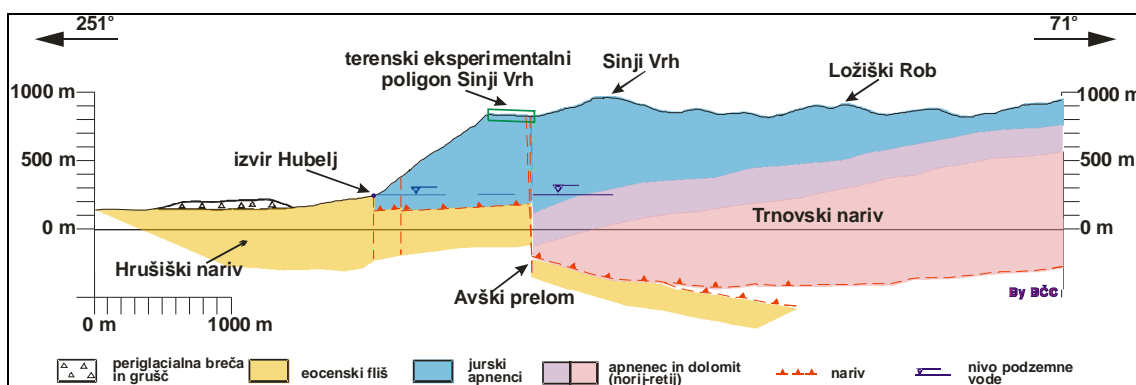
Epitok napaja nižja območja vodonosnika, dokler je hidravlični tlak v omrežju kanalov višji od tistega v okoliških blokih kamnin; ko pride do preobrata hidravličnega gradienta, se začne voda iz epikraške cone razpršeno izcejati, kot je opisano že v prejšnjem odstavku (prva alineja). ¹⁴

3 EKSPERIMENTALNI DEL

3.1 Opis lokacije terenskega dela

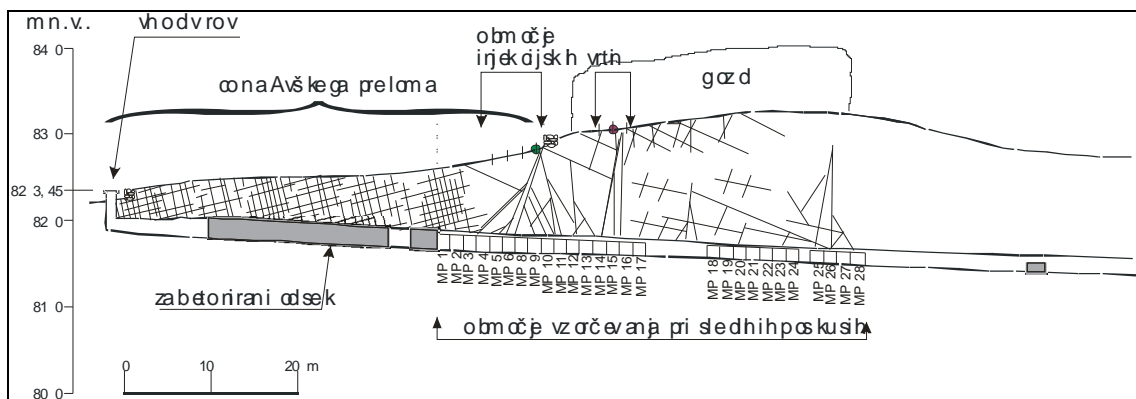
3.1.1 Lega terenskega eksperimentalnega poligona Sinji Vrh

Eksperimentalno polje Sinji Vrh leži v zahodnem delu Slovenije na robu platoja Trnovskega gozda. Poskusni poligon Sinji vrh je del kraškega vodonosnika v zaledju Hublja, prikazanega na sliki 18 v prilogi C, in leži okoli 600 m nad izvirov v predelu prelomnice Avče, ki ima dinarsko smer SZ-JV.¹⁵ Vodonosnik, ki obsega 50 do 80 km², gradijo v glavnem globoko zakraseli apnenci jurske starosti.¹⁴ Hubelj je eden največjih kraških izvirov v Sloveniji. Njegov srednji pretok je 3 m³/s, minimalen pretok je 2 m³/s, maksimalen pa kar 59 m³/s.¹⁷



Slika 5: Geološki prerez Trnovske planote čez izvir Hublja in terenskega eksperimentalnega poligona Sinji Vrh^{12:85}

Rov poskusnega polja Sinji Vrh predira na začetku epikraško cono, na koncu spodnjo nezasičeno cono, vmes pa tako imenovano prehodno območje. Zgornja nenasičena cona je bila raziskana v umetnem rovu, ki predstavlja naravni laboratorij za študije kemijske in izotopske sestave pronicane vode in s tem tudi drenažni sistem krovne plasti rova. Rov, ki poteka v smeri SZ-JV (N66°E), je dolg 340 m in leži 5 do 25 m pod površino na povprečni nadmorski višini 825 m.¹⁶



Slika 6: Izsek profila podzemnega rova na območju izvajanja poskusa^{18:212}

Ker predel eksperimentalnega polja Sinji Vrh pripada Avški prelomni coni, so kamnine ob prelomni liniji zlomljene in zdrobljene.¹⁶

Na področju poskusnega polja Sinji Vrh je površje zelo antropogeno- gradijo ga globeli, ki so porasle s travo, in kope, ki jih pokrivajo bukovi gozdički. Krasoslovno in strukturno kartiranje je pokazalo, da so nesimetrični skalni grebeni posledica položnega vpada plasti, medtem ko so jarkaste strukture nastale zaradi raztapljanja apnenca ob večjih vertikalnih razpokah.¹⁷

Za poskusno polje Sinji Vrh so značilni prehodi rjavih pokarbonatnih tal in rendzine. Tla so globoka v povprečju 10 do 15 cm, maksimalno pa 1,5 m. Imajo nizko retencijsko kapaciteto za vodo in visoko stopnjo infiltracije. Na tem območju zapade povprečno 2450 mm padavin na leto. Povprečna letna evapotranspiracija je 650 mm, povprečna letna temperatura zraka pa od 7 do 9°C.¹⁷

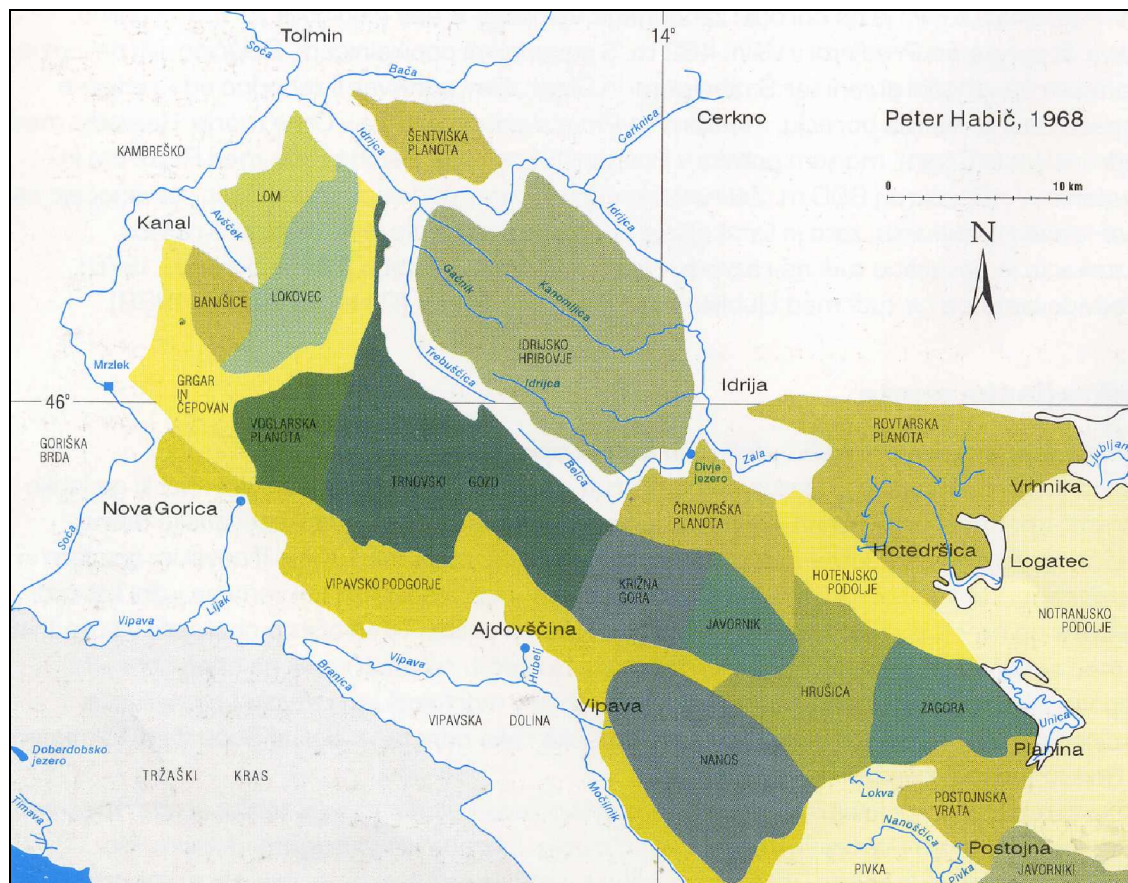
Na površju je bila postavljena agrometeorološka postaja, kjer se stalno merijo padavine, izhlapevanje, temperatura zraka, vlažnost zraka, hitrost vetra in smer vetra (oboje na dveh višinah).

3.1.2 Opis makrolokacije

Visoki kras, prikazan na sliki 19 v prilogi D, je najbolj zahodni del Slovenije. Leži med Jadranskim morjem in vzhodnim hribovjem južnih apnenčastih Alp. Pas karbonatnih kamnin strukturno pripada Dinarskemu gorstvu. Širok je 10 do 15 km, dolg okoli 50 km ter zavzema približno 700 km² površja. Prevladujejo globoko zakraseli kredni in jurski apnenci ter triasni dolomiti, ki proti severozahodu potonejo pod mlajšimi, pretežno eocenskimi flišnimi kamninami. Fliš obdaja zakrasele apnenca Trnovskega gozda in sosednjih planot tudi na južni in vzhodni strani in deluje kot delna, viseča in popolna hidrogeološka pregrada. Na severni strani je Visoki kras obdan s pretežno neprepustnimi srednje in spodnje triasnimi, deloma tudi permskimi in krednimi/karbonskimi kamninami. Vanje so zarezane dolina Belce, Idrijce, Trebuše, Hotenke, Kanomlje in Zale. V njihovih porečjih, predvsem na planoti Vojsko, je nekaj manjših prelomnic, jam in kraških izvirov.¹⁹

Vzdolžni in prečni hrbti ter vzdolžni in prečni doli omogočajo morfografsko členitev Trnovskega gozda na manjše morfološke enote. V kraškem reliefu vsekakor izstopa osrednji dinarsko usmerjeni hrbet Golakov z višinami med 1400 in 1495 m, ki je svodasto vbočen, tako da se najvišji vrhovi stopnjasto znižuje proti SZ, kot tudi proti JV. Med kopastimi vrhovi so razporejene globoke kraške vrtače ter uvale. V njih se je ohranil ledeniški drobir iz zadnje ledene dobe, ko so bili najvišji vrhovi Trnovskega gozda pokriti z ledom. Taljenje ledu je nedvomno vplivalo na poglobljevanje vrtač in uval, pa tudi na oblikovanje malih ledeniških krnic nad dolino Trebuše.²¹

Vzdolž osrednjega hrbta so na obeh straneh stopnjasto razporejene ozke police z nižjimi kopastimi vrhovi. Ob vznožju je ohranjena širša polica kot del nekdanje robne uravnave, ki je nastala pred izdatnejšim dviganjem celotnega Visokega krasa in pospešenim erozijskim poglobljanjem flišne Vipavske doline. Morfološki ekvivalent Voglarske planote na zahodni strani Trnovskega gozda je južno od Golakov Otliška planota med Predmejo, Kovkom in Colom.²¹



Slika 7: Pokrajinske enote Visokega krasa ^{20:28}

Po robni polici Otliske planote je več nižjih kopastih vrhov in vmesnih visečih dolov ter manjših uval. Najvišji osamljen vrh je Sinji Vrh s 1002 m nadmorske višine in 200 m relativne višine. Ob njegovem vzhodnem vznožju je poglobljen prečni dol med Malo Goro in Kovkom, ki predstavlja tudi morfološko mejo med Golaki in Križno goro. V dnu so izoblikovane razpotegnjene uvale, ob njih pa je širša polica v višini med 800 in 900 m, ki sega od južnega do severnega roba planote. V morfološkem in pokrajinskem pogledu so pomembni ploščati jurski apnenci z gomolji in polami rožencev. Med preperevanjem ostajajo na njih debela, večinoma silikatna preperina, zato je na njih več rodovitnih tal. ²¹

V pokrajinskem in hidrogeološkem pogledu je Trnovski gozd sorazmerno zaokroženo gorsko kraško območje, ki je skoraj z vseh strani obdano z nižjim nekraškim obrobjem. Vse padavine s tega območja poniknejo v globok kraški vodonosnik, ki napaja izdatne kraške izvire na obrobju (pritoki Idrijce, Vipave, Soče in Ljubljanice). Manjše ponikalnice so le na zahodni in vzhodni strani Trnovskega Gozda. Glavni kraški izviri se nahajajo v dolinah na njegovem obrobju (Mrzlek, Avšček, Kajža in Vogršček vzdolž Soče, Lijak, Hubelj in Vipava vzdolž Vipave, Divje Jezero, Podroteja in Hotešk vzdolž Idrijce). Reke Idrija, Soča in Vipava pripadajo jadranskemu porečju, Ljubljanica pa porečju Črnega morja. Znotraj Visokogorskega krasa poteka torej podzemno razvodje med Jadranskim in Črnim morjem. ¹⁹

Kraški izviri na obrobju Visokega krasa so zajeti za vodno oskrbo naselij v Vipavski dolini, na Goriškem ter vzdolž Soče in Idrijce. Ker so to edini izdatni viri pitne vode v zahodni Sloveniji, morajo biti pred onesnaženjem varovana celotna kraška zaledja.¹⁹

Na celotnem območju je razvit kraški relief. Med vzpetinami prevladujejo tipično kopasto oblikovani vrhovi. Osamljeni vrhovi so razporejeni po osrednjem grebenu, pojavljajo pa se tudi na nižjem, bolj uravnanem površju. Med vzpetinami so globoke kraške doline. Osrednje kraške planote dosegajo višine med 600 in 1500 m, bregovi dolin so strmi in visoki. Jugozahodni rob Visokega krasa od Razdrtega mimo Vipave in Ajdovščine do Gorice je skoraj vertikalni.¹⁹

Orografske značilnosti površja so pogojene z geološko zgradbo in z mladimi tektonskimi premiki ter z geomorfološkim razvojem od srednjega pliocena naprej. Osrednji hrbet Visokega krasa poteka v smeri severozahod- jugovzhod.¹⁹

3.1.2.1 Meteorološke razmere

Trnovski gozd, Banjšice in Nanos so prva gorska ovira (1000 do 1500 m nadmorske višine) na poti od Sredozemlja (severnega Jadranskega morja) proti severu in severovzhodu. Pred njo je še kraški plato, vendar ta večinoma ne presega višine 600 m. Orografske padavine so zato na Krasu skromne, postanejo pa precej obilne ob gorski pregradi, ki poteka od Banjšic do Nanosa. Ta pregrada predstavlja mejo med mediteranskim in alpskim podnebjem. Tako Vipavska dolina kot tudi goriška regija ležita na južnem robu Trnovskega gozda in sta zato pod močnim vplivom mediteranskega podnebja. Kljub temu pa imajo že Trnovski gozd, Banjšice in Nanos pravo alpsko podnebje z obilnimi snežnimi padavinami med precej mrzlimi zimami.²²

Padavine so obilne skozi vse leto, z očitnim maksimumom v oktobru in novembru. V osrčju Trnovskega Gozda, območje Golakov, so povprečne letne padavine 3000 mm. Tudi celotno področje Banjšic, Trnovskega gozda in Nanosa je bogato s padavinami. V povprečju so letni donosi padavin na tem območju več kot 2000 mm.²²

Za jesenske padavine je značilno, da so zelo močne in kratkotrajne ter so pogosto neenakomerno razporejene skozi opisano obdobje. Intenzivnost padavin posameznih območij se lahko močno razlikuje, kar ni značilno za konveksne padavine, ampak za orografske padavine, ki nastanejo zaradi frontalnih sistemov.²²

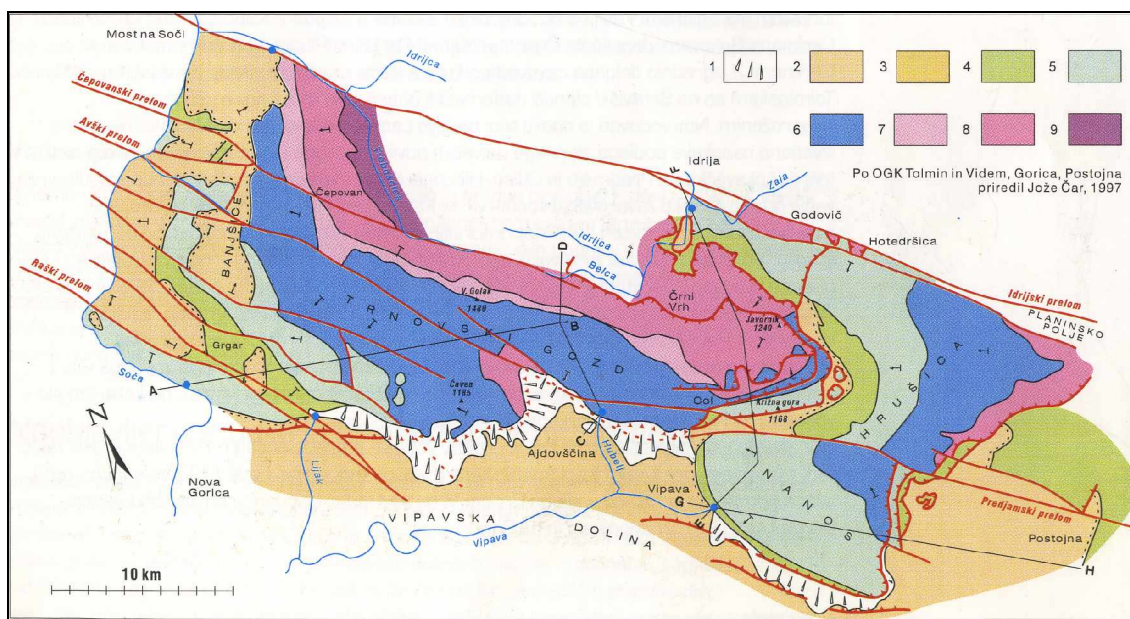
Trnovski gozd dobi večino padavin v jesenskem obdobju, ko je morje še vedno precej toplo in priteka z jugozahodnimi vetrovi iznad Sredozemlja zelo topel in vlažen zrak. Ko na svoji poti zrak doseže prvo višjo gorsko pregrado, se mora vzdigniti, da jo preide, kar se odraža v orografskih padavinah. Take situacije so pogoste med nastajanjem sekundarnih ciklonov v Ženevskem zalivu ali nad severnim Jadranom. To je jeseni in spomladi, ko so sekundarni cikloni najbolj pogosti, z razliko, da topel zrak jeseni vsebuje precej vlage. Vlažnost zraka je spomladi zaradi hladnejšega severnega Sredozemlja znatno nižja in zato orografske padavine niso tako zelo obilne.²²

Na obravnavanem območju mesečna količina padavin znatno presega izhlapevanje. Kljub temu da je julij najmanj moker mesec, tudi takrat pade več kot 600 mm padavin. Hkrati je to tudi mesec z najbolj intenzivnim izhlapevanjem.²²

Kot je že bilo omenjeno, predstavljata Trnovski gozd in Nanos mejo med mediteranskim in alpskim podnebjem. Ko je notranost Slovenije napolnjena z mrzlim zrakom s severa ali severovzhoda, nastajajo na prej omenjeni gorski pregradi velike temperaturne razlike kot tudi veliki gradienti tlaka. Ko se zrak spušča iznad Trnovskega gozda in Nanosa proti Vipavski dolini in Krasu, se adiabatno ogreva, čeprav je še vedno bolj hladen kot zrak nad severnim Jadranom. Rezultat te temperaturne razlike je, da mrzel zrak pada navzdol po pobočjih in doseže velike hitrosti, medtem ko se zaradi razgibanih zemeljskih oblik razvijejo močne turbulence. Ta močan veter poznamo pod imenom burja in s posameznimi sunki vetra dosega hitrosti do 200 km/h. Relativna pogostost burje, s seveda manjšimi hitrostmi, je tudi vzrok, da je zrak nad Krasom in Vipavsko dolino bolj suh kot pa zrak nad ostalimi slovenskimi regijami.²²

3.1.2.2 Geologija

Obravnava območje Visokega krasa je sestavljeno iz krednih in jurskih apnencev in zgornjih triasnih dolomitov, ki pripadajo Trnovskemu in Hrušičkemu pokrovu v narivni zgradbi zahodne Slovenije. Karbonatne kamnine so narinjene na plasti eocenskega fliša, narinjeni bloki so zlomljeni in tektonsko premaknjeni po vzdolžnih dinarskih in prečnih prelomih.²³



Legenda:

- 1- kvartar (holocen in pleistocen): obledeniška breča in pobočni grušč
- 2- eocen, paleocen in zgornja kreda; fliš
- 3- paleocen; numulitni, alveolinski, miliolidni in kozinski apnenci
- 4- zgornja kreda; pretežno organogeni apnenci
- 5- spodnja kreda; pretežno bituminozni apnenec z vložki dolomita
- 6- jura; apnenec in dolomit
- 7- zgornji trias (norij-retij); dachsteinski apnenec
- 8- zgornji trias (norij-retij); dolomit
- 9- zgornji trias (karnij); zrnati dolomit, menjavanje meljevca in peščenjaka

Slika 8: Geološka karta in prerezi Visokega krasa^{20:20}

Zahodni del Visokega krasa je, kot sklenjen blok zakraselih apnencev in dolomitov, v predelu med Idrijco in Vipavo širok 10 do 15 km, med Sočo in Pivko je dolg okoli 50 km in pokriva približno 700 km² kraškega površja, ki je praktično iz vseh strani obdano z nižjim rečnim obrobjem. Flišne kamnine obdajajo zakrasele apnence kot delna ali popolna hidrogeološka zapora na zahodni, južni in vzhodni strani. Na Banjšicah, v zahodnem delu Visokega krasa, je na zakraselih apnencih ohranjen fliš kot tanki pokrov. Na nekaterih predelih se skozenj prebija zakrasela podlaga, večinoma pa deluje kot viseča hidrogeološka pregrada, pod katero prevladuje značilno kraško pretakanje vode. S severne strani obdajajo Visoki kras neprepustne srednje in spodnje triasne pa tudi permske in karbonske kamnine. Vanje so poglobile svoje površinske struge reka Idrijca in njeni pritoki Belca, Zala, Kanomljica, Hotenja in Trebušnica.²³

Vipavska dolina je nizko ležeče površje eocenskega fliša med Nizkim krasom na jugu in Visokim krasom na severu. Dno doline je razmeroma ozko, razen med Vipavo in Ajdovščino. Pomembno podobo ji poleg nizkega flišnega podgorja daje na severni strani strm, v pretežnem delu celo prepaden rob Visokega krasa. Na fliš narinjeni apnenci so izpostavljeni silovitemu mehanskemu razpadanju in podiranju, zato so ob njegovem vznožju nakopičene pobočne breče, melišča in podorno skalovje.²³

Litostratigrafski opis

Zgornje triasni norijsko- retijski glavni dolomit je prvi litostratigrafski horizont, prikazan v litološkem stolpcu na sliki 20 v prilogi E, ki je na obravnavanem območju močno razširjen. Širok pas te kamnine se začne v dolini Idrijce južno od Mosta na Soči, gradi obsežne terene vse do Čepovanskega Dola dolina Čepovan in se nadaljuje v severno obrobje Trnovskega gozda. Gradi pobočja nad Trebušo in dolino reke Belce, delno pokriva Zadlog in Črnovško planoto ter grebene tja do Javornika (1240 m). Norijsko- retijski dolomit gradi tudi vzhodna pobočja Čavna (1185 m) ter južno obrobje Hrušice. V stratigrafsko višjih delih prehaja temno do svetlo siv stromatoliten* dolomit v svetlo siv plastnat oroganogeni dachsteinski apnenec. V sklenjenem pasu je razvit med Čepovansko dolino in osrednjim delom Trnovskega gozda. Najdemo ga še okrog Križne gore (957 m) vzdolž jugovzhodnega roba Javornika.²⁴

Norijsko- retijski apnenci in dolomiti postopno prehajajo v jurske kamnine. Na Banjški planoti, v Trnovskem gozdu, na Hrušici in na vzhodnem delu Nanosa so se razvili vsi liasni, doggerski in malmski litostratigrafski členi. Kamnine vpadajo proti jugozahodu.²⁴

Plasti jurskih kamnin, debeline od 1000 do 1500 m, so se razvile v obliki apnencev in dolomitov z vsemi medsebojnimi prehodi. Različno obarvani mikrotrni in oolitni apnenci se menjavajo ali prehajajo bočno v bele, sive ali celo rjavo obarvane dolomite.²⁴

Na celotnem obravnavanem območju so bile odložene srednje kredne kamnine v značilnem karbonatnem razvoju. Opazne litološke razlike se kažejo že v razvoju zgornje krednih kamnin. Kredne kamnine so debele od 2500 do 3000 m.²⁴

Eocenski flišni sedimenti diskordantno ležijo na zgornje krednih apnencih v pasu med Črnim Vrhom, Colom in Vipavsko dolino. Eocenske kamnine so razvite v značilnem flišnem razvoju. Menjavajo se rjavkasti do zelenkasto sivi laporovci in kremenovi peščenjaki z vložki kalkarenitov in kalkruditov, torej peščenjakov in konglomeratov, ki so sestavljeni iz delcev presedimentiranih apnenčevih kamnin iz bližnje okolice.²⁴

K holocenu prištevamo ilovice z roženčevo preperino, ki jih najdemo na nekaterih izravninah Trnovskega gozda ter obsežne nesprijete pobočne grušče od Cola na vzhodu do doline Soče na zahodu.²⁴

Tektonika

Opisana regija ima zelo zapleteno tektonsko zgradbo. Prevladujoči tektonski elementi so obsežni in zapleteni narivi, ki so bili v pretekli tektonski fazi prerezani z gostim sistemom skoraj vertikalnih prelomov.²⁴

Za narivno zgradbo je značilno ponavljanje paleocensko- eocenskega fliša v narinjenih in podrinjenih strukturnih enotah pri Gorici, v Vipavski dolini, Hruševju, v Pivški kotlini, Vodicach nad Colom in Idriji. Omenjeno menjavanje slabo prepustnih flišnih kamnin in zakraselih apnencev ter diskordantna lega paleocenski- eocenski flišnih litoloških členov na zahodnem delu Trnovskega gozda, Banjšicah in Tolminskem Lomu predstavljata osnovni strukturni hidrološki element jugozahodnega dela Slovenije.²⁴

Snežniški narivni grudi pripadata fliš Pivške kotline in ozek flišni pas, ki se mimo južnega roba Nanosa vleče v Vipavsko dolino. Nanjo so narinjene zgornje triasne, jurske, kredne, paleocenske in eocenske kamnine Hrušiškega pokrova. Ta obsega Hrušico, Nanos in osrednji ter severni del Vipavske doline do Gorice. Na stiku narivnih enot najdemo še Bukovško, Debelovrško in Suhovrško vmesno lusko. Ti vmesni deli so sestavljeni iz enakih kamnin kot Hušiški pokrov. Omenjene narive in flišne kamnine Hrušiškega pokrova prekriva Trnovski pokrov, ki ga gradijo kamnine od karbona do eocena. Ta obsega celotni Trnovski gozd, Banjšice, Lokovec, Čepovanski dol in dolino Trebuše.²⁴

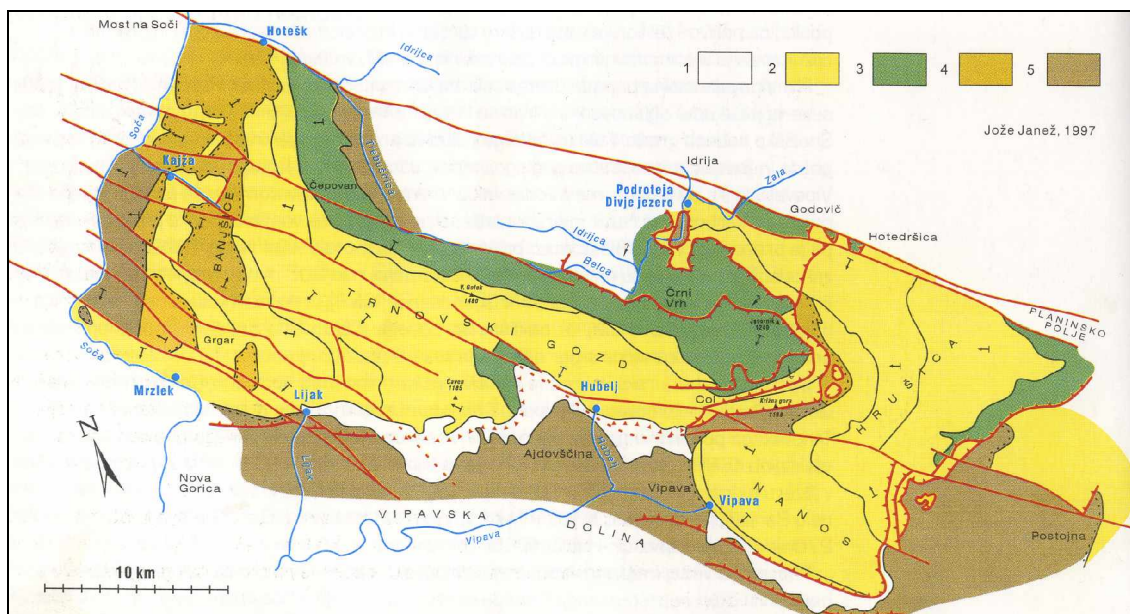
Obravnavano ozemlje je na severni strani omejeno s 300 do 1500 m široko prelomno cono Idrijskega preloma. Znotraj širokega prelomnega območja je še mnogo prelomov, ki se odcepljajo od glavne prelomne cone in lahko nanjo ponovno priključijo. Najpomembnejša spremljajoča prelomna cona je Zalin prelom. Pojavlja se med Mostom na Soči in Hotedrščico. Močan regionalni prelom, ki poteka čez celotno obravnavano področje, je tudi Avški prelom, katerega vzhodni del poznamo kot Predjamski prelom. Poteka od doline Soče blizu Avč do obrobja Pivške kotline. Med idrijskim prelomom in Avškim prelomom je še več močnejših tektonskih con. Ti prelomi nedvomno sekajo tudi osrednji in jugovzhodni del Trnovskega gozda, vendar do sedaj še niso bili natančno opredeljeni. Regionalni Raški prelom teče vzdolž jugozahodne strani Visokega krasa in izgine pod Lijakom v flišne kamnine Vipavske doline. Na severovzhodni strani Raškega preloma je dolina Grgar, ki jo seka več dokaj močnih prelomnih con.²⁴

3.1.2.3 Hidrogeologija

Površina Trnovskega gozda, Banjšic, Nanosa in Hrušice pokriva približno 700 km², kar je 3,4 % slovenskega ozemlja oz. 7,8 % slovenskega kraškega površja. Celotno območje lahko razdelimo glede na prepustnost njihovih litoloških značilnosti v več hidrogeoloških enot:²⁵

- neprepustna območja z omejenimi prepustnimi vložki
- srednje prepustna območja- vodonosniki z razpoklinsko poroznostjo
- dobro prepustna območja- vodonosniki s kraško in razpoklinsko poroznostjo
- dobro prepustna območja- vodonosniki z medzrnsko poroznostjo
- slabo prepustna območja- vodonosniki z medzrnsko poroznostjo

Vodonosniki s kraško poroznostjo so iz zgornje triasne dachsteinskega apnenca, liasnega, doggerskega in malmskega apnenca, spodnjega in srednjega krednega apnenca in zgornje krednega apnenčastega gruščja. Glavne hidrogeološke enote so: kraški vodonosnik Hrušice, kraški vodonosnik Nanosa, kraški vodonosnik platoja Črni Vrh, kraški vodonosnik v razvodju Hublja in kraški vodonosnik zahodnega dela Trnovskega gozda in Banjšic. V vseh teh primerih je obstoj globokih kraških sistemov vprašljiv.²⁵



Legenda:

- 1- pobočni gruščji, dobro prepustne plasti z medzrnsko poroznostjo
- 2- apnenca, dobro prepustne plasti s kraško poroznostjo
- 3- dolomiti, srednje prepustne plasti z razpoklinsko poroznostjo
- 4- fliš, delna "viseča" hidrogeološka pregraja
- 5- fliš, neprepustne plasti, bočna in talna podlaga kraškega vodonosnika

Slika 9: Hidrogeološka skica Visokega krasa^{20:116}

Dobro prepustne kamnine z medzrnsko poroznostjo so zgrajene iz grobo zrnatih do kockasto oblikovanih kvartarnih breč in nekompaktnega holocenskega pobočnega drobirja. Pokrivajo velik sklenjen pas na južnem robu Trnovskega gozda in Nanosa.²⁵

Razpoklinski vodonosniki so grajeni iz dolomitov različnih starosti. Najbolj razširjen je zgornje triasni dolomit. Omejuje kraški vodonosnik na severni strani in delno usmerja odtok podzemne vode.²⁵

Neprepustne litostratigrafske horizonte oblikujejo nezdobljene premogovne klastične kamnine, srednje permski peščenjaki, čiste tufne plasti ladinianske dobe, karnianske klastične kamnine ter paleocenski in eocenski flišni laporji. V neprepustnih plasteh se nahajajo bolj prepustni sedimenti, ki so pomembni razpoklinski ali kraški vodonosniki med neprepustnimi kamninami.²⁵

Hidrogeološka struktura Trnovskega gozda in Banjšic

Hidrogeološke razmere Trnovskega Gozda so odvisne od geološke strukture in litologije.²⁵

Fliš Vipavske doline pripada različnim tektonskim enotam. Južna stran je del Komenske narivne plošče. Fliš na severni strani pripada po primerjavah Nanosu in Hrušici. Fliš Hrušičnega pokrova predstavlja nepropustno podlago za kraški vodonosnik Trnovskega gozda in Banjšic kot tudi nepropustno južno in jugozahodno pregrado v Vipavski dolini. Na vzhodu je pregrada stanjšana in kaže se razvoj karbonatov. Tako predstavlja le delno (lokalno) hidrogeološko pregrado.²⁵

Zgornji triasni, jurski in kredni apnenci Trnovskega gozda pripadajo tektonski enoti Trnovski pokov in gradijo osrednji del kraškega vodonosnika. Podzemna voda leži izjemno globoko. Nivo podzemne vode je višji v zaledju Hublja.²⁵

Podzemne vode kraških vodonosnikov Nanosa in Trnovskega gozda (izvir Vipave, Hublja in Lijaka) se pojavijo na površju na najnižjih točkah nepropustne flišne pregrade.²⁵

Kraški izvir Hublja se nahaja visoko nad dnom doline. Hubelj leži v dnu izrazite, ozke in globoke strukturne depresije v narivni ploskvi Trnovskega pokrova. V sušnem obdobju se v 300 metrov dolgi jami ohrani več sifonskih jezer. Vode večinoma pritekajo po korozijsko razširjenih tankih plasteh - lezikah med slabo prepustnimi apnenci in flišno podlago.²⁰

Izvir Hubelj se izmed vseh izvirov na tem območju pojavi na najvišji nadmorski višini. Leži na južni meji Trnovskega gozda. Ob visokih vodah se nivo vode dvigne za 40 m. V jugozahodni Sloveniji predstavlja kraški izvir Hubelj glaven iztok iz enega močno zakraselega kraškega vodonosnika. Pretok Hublja niha od 0,2 do 59 m³/s, medtem ko je njegov srednji pretok 3 m³/s. V zaledju izvira je visoka kraška planota Trnovski gozd, katere povprečna nadmorska višina je 900 m. Na tem območju pade povprečno 2450 mm padavin na leto. Napajalno območje izvira, ki ga gradi v glavnem jurski apnenec, obsega 50 do 80 km².¹⁴

3.1.3 Pokrajinske značilnosti in kmetijska raba zemljišč na Trnovskem gozdu

Na Trnovski planoti v okolici kraja Otlica- Kovk so razloženi zaselki ter okoliške samotne kmetije. Tu je kraški svet s številnimi vrtačami, brezni, ogradami in z malo obdelovalne zemlje, ki omogoča le skromno živinorejo. Poleg kraških pojavov sta za območje značilna tudi velika namočenost in gozdnatost. Med drevesnimi vrstami prevladujeta jelka in bukev, ki sestavljata obsežne jelovo-bukove gozdove. Pašniki se zaraščajo. Pomembnejši dejavnosti za tu živeče sta gozdarstvo in čipkarstvo. Njive in travniki so tu v dolinicah in ogradah. Na Sinjem Vrhu, ki se dviga sredi vasi Kovk, se je razvil kmečki turizem.²⁶

3.1.4 Dosedanje raziskave onesnaževanja vod zaradi kmetijstva

V okviru raziskav sedmega SWT so bile izvedene tudi raziskave o vplivu kmetijstva na kakovost pitne vode na Trnovsko- Banjški planoti. Opisane so v članku B. Matičiča v Acti Carsologica XXVI (1997). V članku je opisano razmerje med bilanco vode v tleh in mineralnim ravnotežjem v kraški regiji Trnovsko- Banjška planota (zahodni del Slovenije, nad dolino Vipave) ter vpliv možne prekomerne uporabe mineralnih gnojil in/ali visoke intenzivnosti živinoreje na Trnovsko- Banjški planoti na kvaliteto pitne vode v Vipavski dolini.²¹

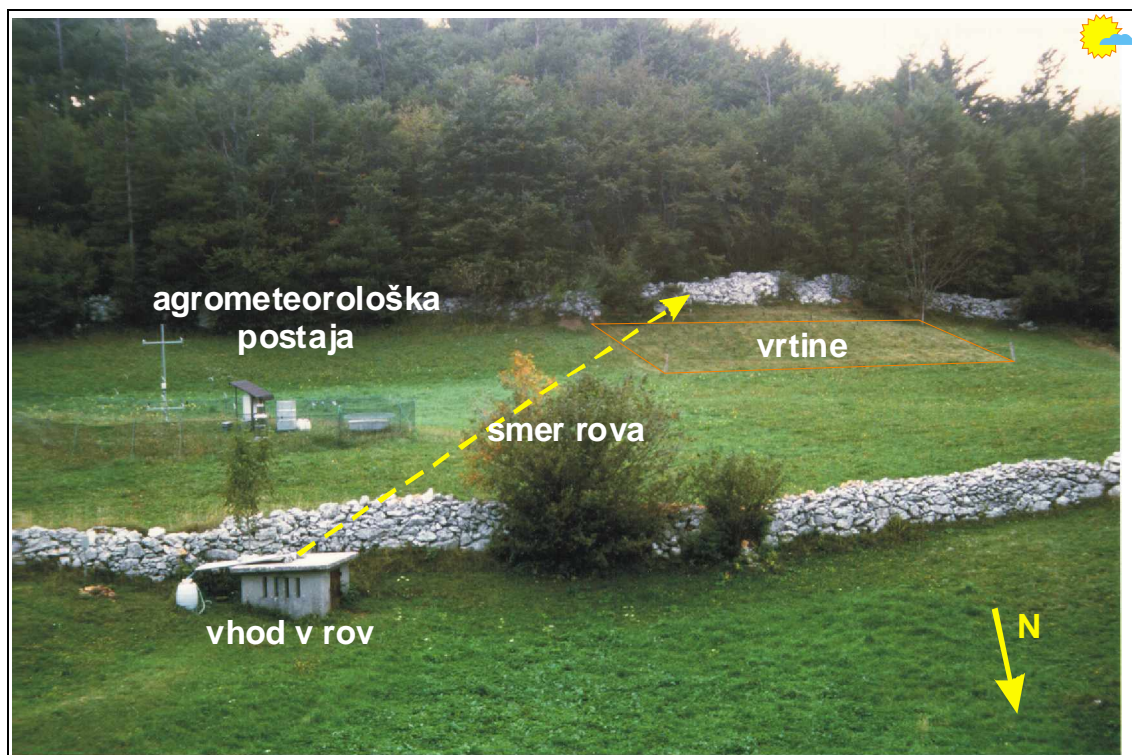
V knjigi J. Janeža in sod. z naslovom *Vodno bogastvo Visokega krasa* so opisane geološke, hidrogeološke in geomorfološke značilnosti Visokega krasa. Poleg tega najdemo tudi koristne informacije o stanju ter onesnaževanju površinskih in podzemnih voda na Trnovsko- Banjški planoti.²⁰

V doktoratu B. Čenčur Curk z naslovom *Tok in prenos snovi v kamnini s kraško in razpoklinsko poroznostjo* so opisane metode in rezultati raziskav na terenskem raziskovalnem poligonu Sinji Vrh.¹³

3.2 Metoda dela

Glavni vhod (jašek) v umetni rov se nahaja nekaj 100 m od kmetije Peterlini zahodno od Sinjega Vrha. Gnojenje smo izvedli na travniku nad umetnim rovom, prikazanem na sliki 10. Gnojenje travnikov se navadno izvaja po prvi košnji konec maja ali v začetku junija, pri dvokosnih travnikih pa tudi v začetku jeseni.

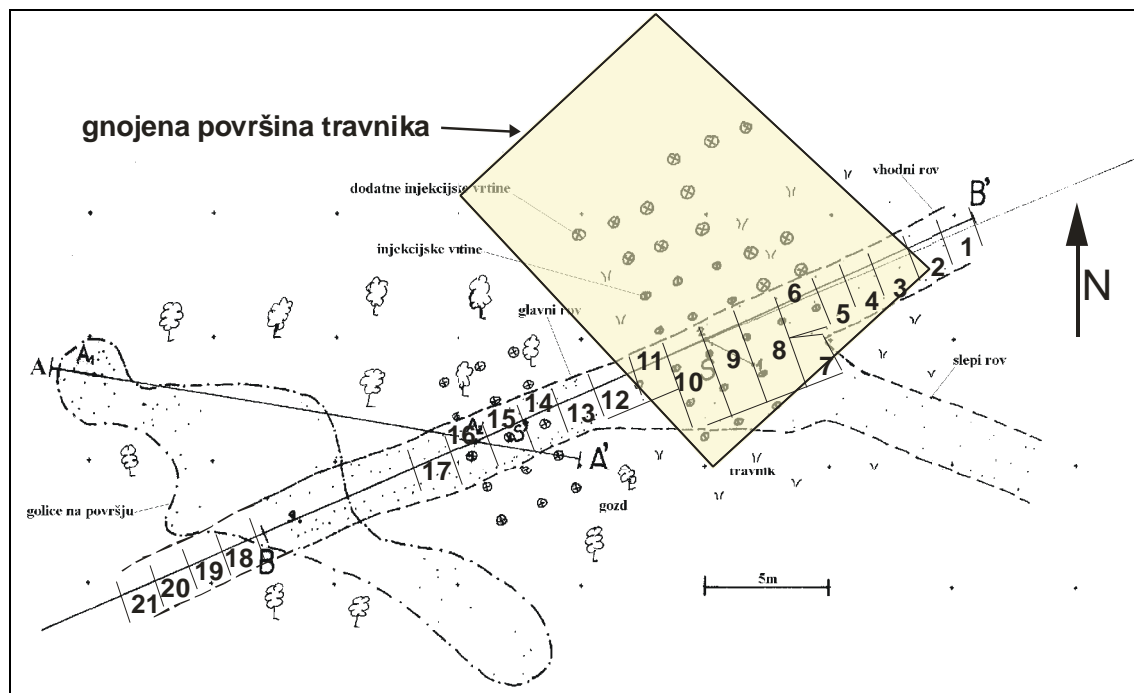
Zakoličeno območje travnika, katerega površina znaša 150 m² in je prikazano na sliki 9, smo 8. avgusta 2006 pokosili, pograbili travo in pognojili z duškovim mineralnim gnojilom KAN (slika 11). Mesto gnojenja se nahaja direktno nad križiščem tunelov, kot je prikazano na sliki 12. Norme za dvokosne travnike predvidevajo 40 kg N/ha.⁶ V našem primeru smo za 150 m² potrebovali 0,6 kg N. Ker vsebuje gnojilo KAN 28% N, smo za gnojenje uporabili 2,25 kg gnojila. V KAN-u se nahaja dušik v dveh oblikah. Nitratna oblika je rastlinam hitro dostopna, dušik v obliki amonija pa morajo mikroorganizmi najprej pretvoriti v nitratno obliko. Nekaj nitrata porabijo rastline, nekaj pa se ga izpere v podtalje. Nas je zanimalo predvsem to, koliko gnojila oz. v kakšnih koncentracijah se izpere v podtalje.



Slika 10: Terenski eksperimentalni poligon Sinji Vrh ^{13:116}



Slika 11: Gnojenje zakoličenega dela travnika



Slika 12: Terenski eksperimentalni poligon Sinji Vrh- položaj gnojene površine in prikaz merilnih mest v rovu ^{13:193}

Za zbiranje pronicajoče vode iz stropa je bila že pred leti narejena posebna konstrukcija, ki je bila nameščena v rovi (slika 13). Glavni sestavni deli enega člana konstrukcije so kovinski nosilci in nanj napeta ponjava iz polivinila. Dolžina posameznega člana je 1,5 m, zbiralna površina pa je velika 2,2 m². Voda, ki se je zbirala s stropa in iz zgornjih delov sten rova, je odtekla po lijaku v vzorčevalno posodo. Volumen vzorčevalne posode je bil 10 l.

Skupna dolžina poligona v rovu je 52 m, vseh merilnih mest pa je 28 (slika 6). Zaradi suhe kamnine je med členoma 17 in 18 prekinitev, tako da je merilno mesto 18 prvi člen po prekinitvi. Zbirne površine na merilnih mestih 8, 9 in 10 so dvakrat večje.

Predhodne raziskave so pokazale, da je zelo pomembna struktura kamnine, ki je prikazana na sliki 6. Zaradi tega smo merilna mesta (v nadaljevanju označeno z MM) izbrali glede na predhodne rezultate sledilnih poskusov. Merilni mesti MM4 in MM5 drenirata kraško razpoko in je zato pretok vode tu največji, pri sledilnih poskusih pa se je pokazalo, da so tudi koncentracije sledil na teh mestih največje. Merilna mesta MM6-MM10 predstavljajo razpoklinsko cono, kjer se onesnaževalo lahko zadrži dalj časa, medtem ko druga merilna mesta predstavljajo slabše prepustno kamnino. Izbrana merilna mesta so pod gnojenim travnikom, za kontrolo pa smo vzeli še merilno mesto MM27, kamor naj onesnaževalo ne bi prišlo.



Slika 13: Konstrukcija v rovu ^{13:119}

3.3 Vzorčenje

Vzorčenje vode v rovu je potekalo na merilnih mestih MM2, MM3, MM4, MM5, MM6, MM7, MM8, MM9, MM10, MM11, MM12, MM13, MM14, MM15 in MM27. Na vsakem merilnem mestu smo s terenskim pH metrom izmerili temperaturo, pH in električno prevodnost vode. Z merilnim valjem smo izmerili tudi volumen zbrane vode v vzorčevalni posodi. Za kasnejšo analizo nitratov smo odvzeli vzorec vode v 100 ml plastenko, kjer je bilo dovolj vode, pa smo v 1 l plastenke odvzeli tudi vodo za analizo dušikovega izotopa.

3.4 Laboratorijsko delo

3.4.1 Analiza nitratnega iona

Vsebnost nitratov v vodi smo analizirali z ionsko kromatografijo v laboratoriju Univerze v Novi Gorici. Iz vsakega posameznega vzorca vode smo z 1 ml injektorsko iglo odvzeli vodo in vbrizgali vzorec v injektor. Po analizi smo za vsak posamezen vzorec dobili izrisan ionski kromatograf. Retenzijski čas za nitrate je približno 7,5 min. Posamezen vrh nitrata na kromatografu smo integrirali in tako dobili površino pika. Za določitev koncentracije nitratov v vzorcih smo morali narediti standardne raztopine nitratov s koncentracijami od 0,12 mg/l do 120 mg/l ter nato z umeritveno krivuljo določiti koncentracije nitratov v vzorcih, kar je prikazano v prilogi G.

Mejo detekcije (*DL*- detection limit) smo izračunali po enačbi:

$$DL = \frac{3s}{k}, \quad (8)$$

kjer je *s* standardni odklon slepega vzorca in *k* naklon umeritvene premice. Enačba za standardni odklon *s* pa je:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (A_i - \bar{A})^2}{N}}, \quad (9)$$

kjer je A_i površina pika posameznega slepega vzorca in \bar{A} povprečna vrednost površin slepih vzorcev.²⁷

V našem primeru so bile površine pikov posameznih slepih vzorcev med 258 in 447, povprečna vrednost površin slepih vzorcev pa je znašala 355,4. Standardni odklon slepega vzorca *s*, izračunan po enačbi 9, je 59,2. Ko smo vstavili izračunan standardni odklon slepega vzorca *s* in naklon umeritvene krivulje *k* (1149,8, glej prilogo G) v enačbo 8, smo dobili mejo detekcije *DL* 0,15 mg/l. Kjer so bile koncentracije nitratnega iona v vzorcih vode nižje od meje detekcije, so koncentracije označene s *pmd*, kar pomeni pod mejo detekcije.

3.4.2 Analiza izotopske sestave celokupnega dušika

Analize vzorcev so opravili na Inštitutu Jožef Stefan v Ljubljani.

Izotopska sestava celokupnega raztopljenega dušika je bila določena z analizo izotopske sestave celokupnega dušika v rezidualni raztopini, dobljeni z izparevanjem 1 l vzorca pri 70-80°C do volumna 200 µl.

Raztopina je bila prefiltrirana skozi 1,2 mikronski stekleni filter pred izparevanjem, precipitate (predvsem karbonat, fini delci) pa so bili odstranjeni po izparevanju na volumen manjši od 1 mL s filtriranjem skozi membranski filter (0,45 µm).

Izotopska sestava dušika je bila določena s sežigom raztopine v masnem spektrometru za stabilne izotope (Europa 20-20) z ANCA SL modulom za pripravo trdnih in tekočih vzorcev. Vzorec je bil sežgan v elementnem analizatorju pri temperaturi 1800°C. Redukcija dušikovih oksidov do molekularnega dušika poteka na Cu koloni pri 600°C.

Napaka meritve z masnim spektrometrom znaša ±0,2 ‰, napaka celotnega postopka pa je manjša od ±0,4 ‰. Točnost meritve preverjamo z mednarodnimi standardi IAEA-N1, IAEA-N2 in IAEA-NO3, kot delovni standard pa uporabljamo amonijev sulfat z δ¹⁵N = 2,54 ‰.

Večina vzorcev je bila zaradi nizke vsebnosti nitrata premajhna za določitev izotopske sestave dušika v nitratu, zato so se te analize izvajale le na vzorcih z večjo vsebnostjo nitrata. Pri tej metodi se nitrat izolira iz raztopine na ionskih izmenjevalcih (IsoRad

AG1-X8 in AG50W-X8). Zatem se nitrat izluži anionske kolone s 3 M HCl in eluat nevtralizira z Ag_2O , tako da Cl zreagira v netopen AgCl, v raztopini pa ostane AgNO_3 , ki se ga izolira z izparevanjem. Izotopsko sestavo nitrata se določi po že navedenem postopku (masna spektrometrija stabilnih izotopov).

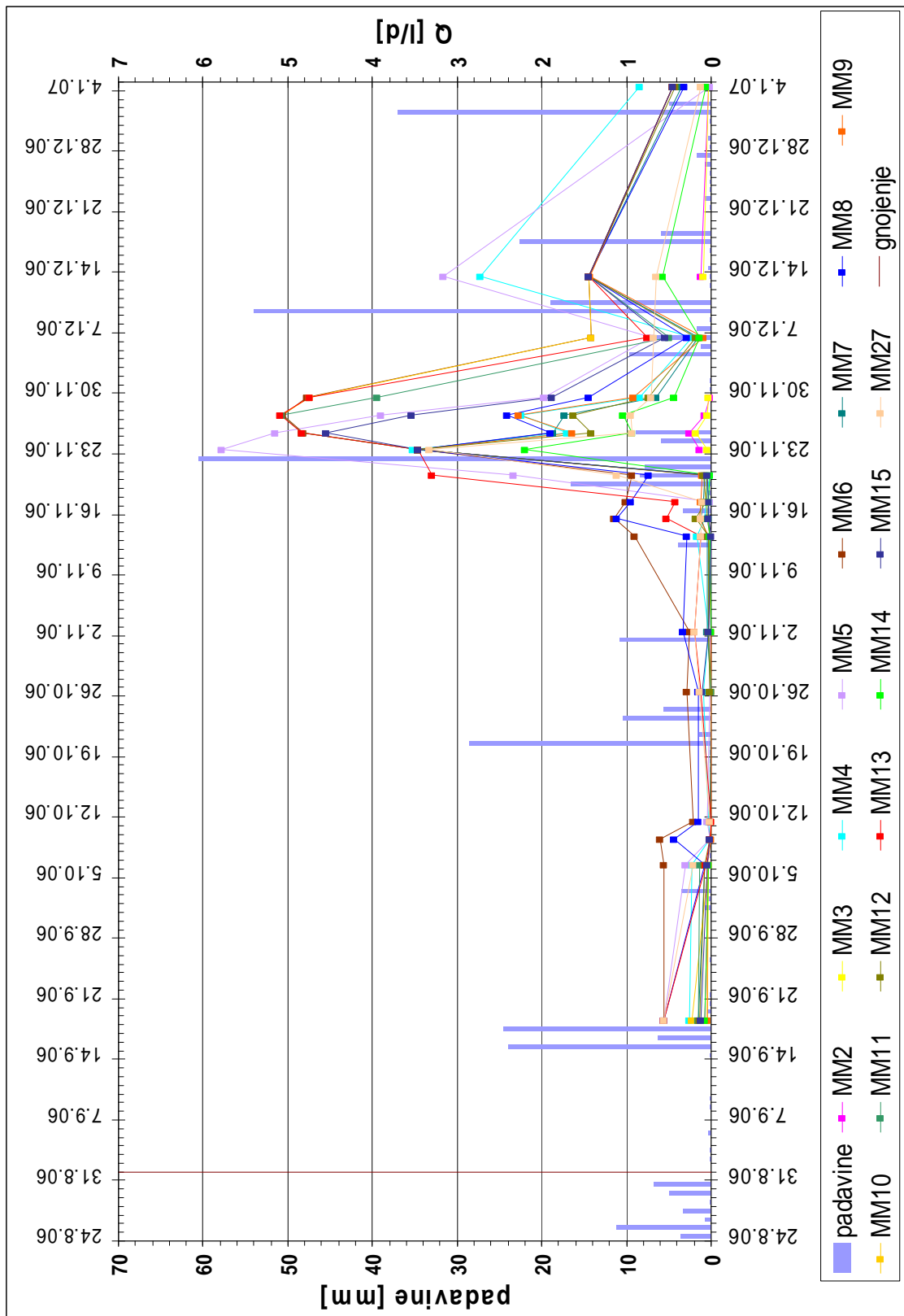
4 REZULTATI IN RAZPRAVA

Rezultati analiz za vsako merilno mesto (MM) posebej so podani v prilogi H. Ponekod podatki manjkajo, ker v času vzorčenja ni bilo padavin, oziroma se je voda že iztekla in so bile zbiralne posode brez vode.

4.1 Rezultati meritev pretokov na posameznem merilnem mestu

V obdobju med 31. avgustom in sredino novembra je bilo padavin bolj malo. Le 3 dni (15., 17. septembra ter 20. oktobra) je bilo padavin več kot 20 mm, ostale dni pa je bilo padavin manj kot 10 mm. Iz slike 14 je razvidno, da so se v tem času pretoki na vseh merilnih mestih gibali nekje med 0 in 0,7 l/dan. V času od 19. do 22. novembra so se padavine povečale do 60 mm/dan. V nekaj dneh so se tudi pretoki precej povečali. 23. novembra so bili na večini merilnih mest pretoki okoli 3,5 l/d, na MM5 pa celo 5,8 l/d. Do 27. novembra so se na več kot 5 l/d povečali tudi pretoki na MM6, MM19, MM11 in MM13. Ker pa je izdatnost padavin spet padla, so se tudi pretoki v začetku decembra zmanjšali. Zaradi izdatnejših padavin 9. decembra (54 mm) smo povečane pretoke zabeležili zopet 13. decembra. Na MM4 in MM5 sta pretoka narasla na 2,7 l/d in 3,2 l/d, od MM6 do MM13 in na MM15 pa so bili pretoki večji od 1,4 l/dan. Proti koncu decembra in v začetku januarja 2007 je bilo padavin spet manj (le 1. januarja je padlo 37 mm padavin). Pretoki izmerjeni 4. januarja so bili vsi manjši od 0,46 l/d.

Iz navedenega sledi, da je tok vode in z njo tudi prenos snovi skozi nezasičeno cono odvisen od stanja zasičenosti le-te. Padavine, ki so padle med 15. in 18. septembrom so raztopile mineralno gnojilo in ga sprale v tla. Zaradi sušnega obdobja padavine, ki so padle 20. oktobra, niso veliko povečale pretoka, saj se je morala najprej napolniti nezasičena cona. Dovolj padavin, ki trajajo nekaj dni, pa povzroči zasičenje in migracijo snovi. Po štirih dneh po večjih padavinah so se pretoki dvignili na maksimum tistega vala. V prvem primeru (od 19. do 23. novembra) se je migracija začela po enem dnevu, ko se je doseglo zasičenje, medtem ko v drugem primeru (9. decembra) ni bilo dovolj padavin, vendar je bila stopnja zasičenosti nezasičene cone še relativno velika, da je stekel tok. Zaradi tega se je maksimum vala pretoka pojavi po štirih dneh.



Slika 14: Graf padavin in pretokov (Q) na posameznem merilnem mestu

V tabeli 3 so prikazane hitrosti pretakanja vode in povprečni pretoki za vsa merilna mesta. Prikazani časi nam povejo, po kolikšnem času od gnojenja je bila na posameznem merilnem mestu zaznana najvišja koncentracija nitratov v vodi in kakšna je bila takrat hitrost pretakanja. Velikosti hitrosti sledil (gnojila) in različne poti sledil nakazujejo na različno pretrtost in prepustnost kraške kamnine. Iz rezultatov hitrosti pretakanja gnojila lahko ugotovimo, da je kamnina teoretično najbolj prepustna na območju MM3. Hitrost pretakanja je bila tukaj 2,83 cm/h. Manj prepustna so mesta MM27 (1,58 cm/h), MM13 (1,21 cm/h) in MM2 (0,96 cm/h). Na območju ostalih merilnih mest je kamnina še manj prepustna. Hitrosti pretakanja so se gibale med 0,58 in 0,83 cm/h. Vendar pa rezultati niso najbolj zanesljivi, ker ni bilo narejenih dovolj izotopskih analiz, ki bi potrdili mineralni izvora nitrata.

Gnojilo smo potresli nad merilnimi mesti od 3 do 11. Ker plasti vpadajo v smeri SV-JZ, smo pričakovali povišanje vsebnosti nitratov v vzorcih vode še vse do MM15. Glede na to, da gnojilo ni bilo posuto neposredno nad MM13, rezultati hitrosti pretakanja vode pa kažejo na hitrost večjo od hitrosti na večini merilnih mest, lahko sklepamo, da je lateralna hitrost vode precej večja od vertikalne.

Najvišji povprečni pretoki so bili na MM5, MM6 in MM13 in to med približno 1,4 in 1,7 l/dan. Najnižja povprečna pretoka pa sta bila na MM2 in MM3 in sicer manj kot 0,05 l/d. Ostali povprečni pretoki pa so bili med 0,3 l/d in 1 l/d.

Tabela 3: Hitrosti pretakanja vode v času maksimalne dosežene vsebnosti nitratov na posameznem MM in povprečni pretoki na vseh merilnih mestih

MM	pot [m]	t [d]	v [m/d]	v [cm/h]	Qpovp. [l/d]
2	13,00	56,002	0,23	0,96	0,045
3	12,25	18,053	0,68	2,83	0,028
4	11,25	80,923	0,14	0,58	0,766
5	10,50	73,944	0,14	0,58	1,414
6	10,25	75,840	0,14	0,58	1,639
7	10,00	55,990	0,18	0,75	0,603
8	10,00	62,906	0,16	0,67	0,945
9	9,75	62,907	0,15	0,63	0,632
10	10,00	55,986	0,18	0,75	1,286
11	10,25	55,986	0,18	0,75	1,187
12	10,75	62,904	0,17	0,71	0,582
13	11,50	39,056	0,29	1,21	1,534
14	12,50	62,905	0,20	0,83	0,329
15	13,00	75,794	0,17	0,71	0,958
27	15,75	41,066	0,38	1,58	0,550

4.2 Rezultati meritev vsebnosti nitrata v vodi na posameznem merilnem mestu

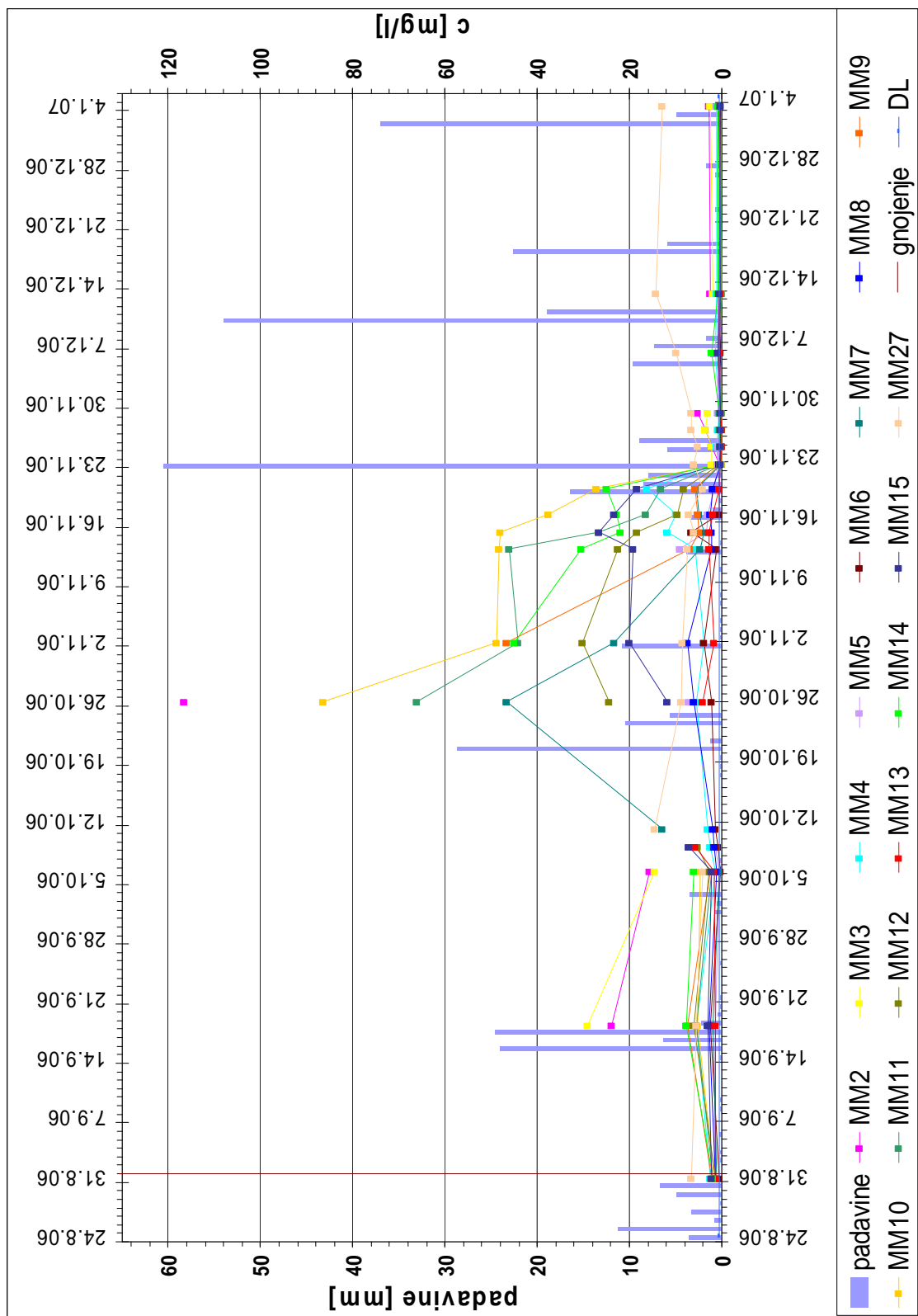
Izmerjene koncentracije nitrata v vodi (c) dne 31. avgusta predstavljajo naravno ozadje. Padavine v obdobju med 22. in 31. avgustom so izprale le nitrati ion, ki je bil produkt naravne mineralizacije, saj pred 31. avgustom na območju terenskega eksperimentalnega poligona ni bilo gnojenja.

Naslednji niz padavin je bil med 14. in 21. septembrom. Skupaj je v tem obdobju padlo 57,9 mm padavin. Te padavine so raztopile posuto gnojilo in potisnile vodo, ki se je zadrževala v nezasičeni coni. Gnojilo je z vodo potovalo skozi tla in nezasičeno cono. 18. septembra so bili izmerjeni pretoki. Največji pretoki so bili na MM5, MM6, MM8, MM13 in MM27 (slika 14) in so znašali malo več kot 0,55 l/d. Na ta dan smo zaznali tudi povišanje nitrata v vodi na merilnih mestih MM2 in MM3 (slika 15). Povišanje nitrata v vodi po vsej verjetnosti ni zaradi gnojenja, saj se je s prvimi padavinami gnojilo šele raztopilo. Povišane vrednosti so zaradi izpiranja nitrata v vodi, ki je posledica naravne mineralizacije. Le-ta se je spral iz nezasičene cone, kjer se je zadrževal.

Naslednje izdatnejše padavine so bile med 17. in 24. oktobrom. V tem obdobju je padlo skupaj 46,3 mm padavin, od tega 28,6 mm na dan 20. oktobra. Te padavine so potisnile vodo z gnojilom še naprej skozi nezasičeno cono do merilnih mest. 26. oktobra smo izmerili precej povečane koncentracije nitrata v vodi na MM2, MM7, MM10, MM11 in MM12 (slika 15). Te koncentracije so se gibale med 46,5 mg/l in 116,6 mg/l in jih lahko pripišemo gnojenju. Najvišja vrednost je bila izmerjena na MM2. Tega dne so dosegle koncentracije svoj vrh na MM2, MM10 in MM11. Tudi na ostalih merilnih mestih so bile koncentracije povišane (razen MM3 in MM9, kjer v zbiralnih posodah ni bilo vode). Te so se gibale med 2,1 mg/l in 11,8 mg/l. Dne 2. novembra sta se koncentraciji močno povečali tudi na MM9 in MM14. Dan pred tem je bilo 10,9 mm padavin. Povišanje koncentracij nitrata v vodi smo izmerili še 13., 15. in 17. novembra na MM4, MM5, MM6 in MM15. Na ostalih merilnih mestih so koncentracije še bile povišane, vendar so že počasi upadale.

Najobilnejše padavine so bile v času med 19. in 25. novembrom. Takrat je skupaj padlo kar 108,3 mm padavin. Dne 22. novembra jih je bilo kar 60,5 mm padavin. V tem obdobju so koncentracije nitrata v vodi na merilnih mestih drastično upadle, pretoki pa so se močno povečali. Pretoki so bili na merilnih mestih od 6 do 27 večinoma med 3300 l/d in 5100 l/d oz so bili povsod večji od 930 l/d. Najverjetneje je prav povečanje pretokov vzrok za upad koncentracij nitrata v vodi oz. redčenje.

Močnejše padavine so bile tudi med 4. in 10. decembrom. Skupno je bilo takrat 92,8 mm padavin, vendar pa so koncentracije ostale nizke. Po 20. novembru so bile koncentracije nitrata v vodi na vseh merilnih mestih nižje od koncentracij, izmerjenih na dan gnojenja. Vzrok za to je verjetno ta, da se je nitrat iz gnojila že spral, mineralizacija pa ni več potekala. Nitrat, ki je nastal v jesenski mineralizaciji in se je zadrževal v kamnini, pa je bil že spran v septembru.



Slika 15: Graf padavin in vsebnosti nitrata iona v vodi (c) na posameznih merilnih mestih

Veliko povišanje nitrata smo je po gnojenju zaznali na večini merilnih mest in sicer MM2, MM7, MM9, MM10, MM11, MM12, MM14 IN MM15. Le manjše povišanje koncentracije nitratnega iona pa so bile na MM4, MM5 in MM6.

Merilni mesti MM2 in MM3 sta imeli povišan nitrat v vodi že 18. septembra, vendar pa tega ne moremo pripisati gnojenju. Padavin do 15. septembra praktično ni bilo, zato so padavine med 15. in 17. septembrom gnojilo šele raztopile. Na MM2 je bila 26. oktobra koncentracija izredno visoka (116,6 mg/l). Te visoke koncentracije ne znamo razložiti, lahko pa gre za biološke procese, katerih še nismo raziskali. Razen 0,2 l vode na dan 26. oktobra na MM2 pa sta bili mesti med 9. oktobrom in 23. novembrom suhi.

Na MM4 je bil nitrat rahlo povečan med 15. in 20. novembrom (med 9,8 in 16,1 mg/l), na MM5 pa 26. oktobra (7 mg/l) in 13. novembra (9,1 mg/l). Glede na naravno ozadje na teh dveh merilnih mestih se je koncentracija povečala za okoli 6-10 mg/l.

Na MM8 je bila koncentracija glede na naravno ozadje (med 1 mg/l in 3 mg/l) rahlo povečana le 26. oktobra (6,1 mg/l) oz. 2. novembra (7,5 mg/l).

Na MM6 in MM13 opaznega povišanja nitrata v vzorcih ni bilo. Obe merilni mesti sta precej vodnati- imata največje pretoke (tabela 3), kar pomeni, da se je morebitno povečanje nitratov v vzorcih zaradi veliko vode razredčilo.

Povišane koncentracije smo zaznali tudi na MM7 in MM9, vendar se je tu nitrat hitro spral. Merilni mesti imata verjetno povezavo z večjimi razpokami.

Na MM10 in MM11 se je nitrat pojavil 26. oktobra, to je 57 dni po gnojenju. Povišane koncentracije nitrata v vodi so po 20. novembru upadle. Nitrat se je zadrževal v manjših razpokah in se je zato dalj časa spiral iz tal. Podobno se je dogajalo na MM14, le da se je nitrat pojavil prvič šele 2. novembra, saj je bila pred tem kamnina kar 20 dni suha. Tudi na MM12 in MM15 se je nitrat v večjih koncentracijah pokazal 26. oktobra, spral pa se je po 20. novembru. Tudi na teh dveh mestih je trajalo skoraj cel mesec, da se je nitrat spral.

Na MM27 so se koncentracije nitrata ves čas gibale med 4 mg/l in 14,4 mg/l. Do tu gnojilo verjetno ni prišlo, povišane koncentracije pa lahko pripišemo večjim vrednostim naravnega ozadja.

Maksimalne koncentracije nitrata na posameznih merilnih mestih so bile po gnojenju zelo različne. Največje so bile na MM2 (116,6 mg/l), MM10 (86,3 mg/l) in MM11 (66,0 mg/l). Okoli 45 mg/l so se gibale koncentracije na MM7, MM9 in MM14.

Največja koncentracija nitratov v vodi, ki jo svetuje Svetovna zdravstvena organizacija (WHO) je 50 mg/l. To vrednost predpisujejo tudi slovenski predpisi: Pravilnik o pitni vodi (Ur.l. RS, št. 19/2004, 35/2004, 26/2006, 92/2006) ⁷ in Uredba o standardih kakovosti podzemne vode (Ur.l. RS, št. 100/2005) ⁸.

Po gnojenju v času med 31. avgustom 2006 in 1. januarjem 2007 je bila ta meja presežena kar trikrat (na MM2 (116 mg/l), na MM10 (86,3 mg/l) in na MM11 (66 mg/l)). Na treh merilnih mestih (MM7, MM9 in MM14) so bile koncentracije blizu predpisane meje, in sicer približno 45 mg/l.

4.3 Rezultati izotopskih analiz

Pri interpretaciji rezultatov gnojenja je pomemben podatek izvor dušika v podzemni vodi. Nitrat je namreč najbolj razširjena dušikova spojina v površinskih in podzemnih vodah. Nas je predvsem zanimalo ali izvira dušik iz mineralnega gnojila ali pa ta predstavlja naravno ozadje.

V tabeli 4 so navedene okvirne vrednosti za najpomembnejše vrednosti nitratov v podzemni vodi. Pri talni organski masi sta vmesna procesa mineralizacija in nitrifikacija, katere končni rezultat so nitrati, ki imajo podobno izotopsko sestavo ($\delta^{15}\text{N}$) kot talna organska snov (med +6 in +10 ‰). V primeru aplikacije mineralnih gnojil, katere proizvajajo iz zračnega dušika (N_2), se izotopska sestava giblje okoli ničle.

Tabela 4: Značilne okvirne vrednosti relativne izotopske sestave dušika v nitratnem ionu v podzemni vodi. ^{13:200}

Vir nitratov	$\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ [‰]
Talna organska masa	(+6) - (+10)
Mineralna gnojila	~ 0
Izločki ljudi in živali	> 20

Izotopska analiza gnojila KAN je pokazala, da je gnojilo izredno občutljivo na vse, kar se z njim dogaja. Vrednost $\delta^{15}\text{N}$ suhega neobdelanega gnojila je -0,5‰, kar je glede na vrednosti iz literature (poglavje 2.1.7) pričakovano. Po navlažitvi KAN-a so se vrednosti $\delta^{15}\text{N}$ gibale od -10 do +22‰. Kot kaže, se že v vlagi raztopi bolj topen del dušika, ki je precej obogaten s ^{15}N in prvi začne pronicati v tla. Po drugi strani je manj topen ostanek gnojila, ki ga spere kasnejši dež, precej bolj negativen.

Rezultati izotopskih analiz vzorcev vode so podani v tabelah 25, 26 in 27 v prilogi I, rezultati izotopskih analiz v primerjavi z vsebnostmi nitrata v vzorcih vode pa so podani v tabelah 5, 6 in 7. V primeru, da so visoke koncentracije nitrata v vzorcih vode rezultat gnojenja, naj bi se vrednosti $\delta^{15}\text{N}$ gibale okoli 0‰.

Na merilnih mestih, kjer smo v času izvajanja poskusa izmerili močno povišane koncentracije (MM7, MM9, MM10, MM11, MM12, MM14, MM15) in za katere je precej verjetno, da so rezultat gnojenja, pa zaradi premajhnih količin vode za analizo izotopske sestave dušika nimamo podatkov.

Najvišjo vrednost vsebnosti nitrata v vodi smo izmerili na MM2 (116,6 mg/l). Vrednost $\delta^{15}\text{N}$ je bila -0,5‰, kar pomeni, da je visoka koncentracija nitrata rezultat gnojenja.

Na MM4 so v splošnem vrednosti $\delta^{15}\text{N}$ najprej upadle, nato pa so spet narasle. 15. novembra 2006 je bila na tem merilnem mestu izmerjena koncentracija nitratov v vodi 11,7 mg/l, vrednost $\delta^{15}\text{N}$ pa -0,4‰. Po vsej verjetnosti povišana vrednost nitrata v vodi pripada gnojilu.

Tudi vrednosti $\delta^{15}\text{N}$ na MM5 so najprej upadle in nato spet narasle. Prvo povišanje nitrata 26. oktobra 2006 (7,0 mg/l) ne moremo z gotovostjo pripisati gnojenju, saj je bilo

v času vzorčenja premalo vode za izotopsko analizo dušika v nitratu. Naslednje povišanje 13. novembra 2006 (9,1 mg/l) pa je verjetno zaradi gnojenja ($\delta^{15}\text{N}=+0,2\text{‰}$).

Iz rezultatov analize izotopske sestave dušika v nitratu na MM6 in MM8 lahko sklepamo, da koncentracije nitrata niso vpliv gnojenja.

Na MM13 je bilo povečanje koncentracij nitrata v vodi majhno. Glede na vrednosti $\delta^{15}\text{N}$ je možen vir nitrata v vodi dušik iz gnojila.

Na MM27, kjer vsebnosti nitrata niso rezultat gnojenja (poglavje 4.2), so se vrednosti $\delta^{15}\text{N}$ gibale v območju od -1,8 do +7,8‰.

Tabela 5: Skupni rezultati vsebnosti nitrata v vzorcih vode in izotopske sestave dušika v nitratu na MM2, MM3, MM4, MM5 in MM6

datum	MM2		MM3		MM4		MM5		MM6	
	NO ₃ ⁻ [mg/l]	$\delta^{15}\text{N}$ [‰]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	$\delta^{15}\text{N}$ [‰]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	$\delta^{15}\text{N}$ [‰]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	$\delta^{15}\text{N}$ [‰]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	$\delta^{15}\text{N}$ [‰]
31.8.06					2,4	6,7	1,7	11,4	0,6	2,2
18.9.06	23,8	-1,2	29,1	-4,1	5,5	2,5	1,3	8,8	2,6	-3,5
6.10.06	15,6	0,8	14,5	-1,5	1,3	-1,8	0,6	2,5	0,4	-5,2
9.10.06					2,5	-3,1	1,3	0,9	0,7	-5,2
11.10.06					3,0	7,8			1,5	-1,4
26.10.06	116,6	-0,5			5,4	-0,6	7,0		2,1	-5,4
2.11.06					3,8	-1,5			3,8	-5,3
13.11.06					5,8	0,4	9,1	0,2	1,1	-7,2
15.11.06					11,7	-0,4	3,4		6,7	-6,3
17.11.06					9,8	-0,2	3,0	-1,5	0,5	
20.11.06					16,1	5,2	1,6	2,6	0,5	-6,9
23.11.06	0,6	-0,8	2,2	0,3	0,9	2,3	0,8	4,0	0,6	-7,3
25.11.06	2,2	-0,1	2,1		1,0	5,5	0,7	4,4	0,2	3,2
27.11.06	3,7		3,7		0,8	2,8	0,6	5,5	0,2	0,4
29.11.06	5,2		3,1		0,6	3,7	0,7	3,6	0,2	
6.12.06					1,5	2,7	0,8	2,9	0,4	3,3
13.12.06	2,6	-0,9	2,0	3,5	1,0		0,7		0,4	-2,7
4.1.07	2,8	0,4	2,6	3,7	1,1	1,6	1,1	6,2	0,5	0,3

Tabela 6: Skupni rezultati vsebnosti nitrata v vzorcih vode in izotopske sestave dušika v nitratu na MM7, MM8, MM9, MM10 in MM11

datum	MM7		MM8		MM9		MM10		MM11	
	NO ₃ ⁻ [mg/l]	$\delta^{15}\text{N}$ [‰]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	$\delta^{15}\text{N}$ [‰]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	$\delta^{15}\text{N}$ [‰]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	$\delta^{15}\text{N}$ [‰]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	$\delta^{15}\text{N}$ [‰]
31.8.06	1,1		1,4		2,3	1,8	1,7	-4,1	1,8	
18.9.06	1,8		2,7	-1,0	7,4	1,3	5,3	3,2	5,6	2,4
6.10.06	0,5	4,2	1,0	-0,6	2,5	1,0	4,7	3,0	2,2	-1,5
9.10.06			1,7							

se nadaljuje

nadaljevanje

datum	MM7		MM8		MM9		MM10		MM11	
	NO ₃ ⁻ [mg/l]	δ ¹⁵ N [‰]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	δ ¹⁵ N [‰]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	δ ¹⁵ N [‰]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	δ ¹⁵ N [‰]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	δ ¹⁵ N [‰]
11.10.06	12,8		1,9							
26.10.06	46,5		6,1	-3,2			86,3		66,0	
2.11.06	23,3	-4,3	7,5	-3,5	46,5		48,8		44,1	
13.11.06	4,7		2,3	-5,7	6,8		48,4		46,2	
15.11.06	3,9		2,2	-5,3	4,9		47,9		26,5	
17.11.06	4,8		2,6	-4,0	5,3		37,7	0,4	16,4	
20.11.06	5,5		1,8	-5,3	5,8		27,1		13,3	
23.11.06	0,0	3,5	0,4	1,5	0,2	-1,6	0,0	-1,1	0,2	-3,5
25.11.06	0,0	0,7	0,3	-2,2	0,0	-0,7	0,0	1,4	0,0	-3,6
27.11.06	0,0		0,3		0,2	-0,5	0,1	2,5	0,1	-2,3
29.11.06	0,2		0,4	-5,2	0,2	-2,4	0,1	-3,8	0,1	0,5
6.12.06	0,6	0,4	0,8	-6,1	0,8	-1,4	0,5	-1,9	0,5	1,5
13.12.06	0,2		0,4	-1,7	0,3		0,1		0,1	1,3
4.1.07	0,3	4,2	0,4	-3,0	0,3		0,3		0,3	

Tabela 7: Skupni rezultati vsebnosti nitrata v vzorcih vode in izotopske sestave dušika v nitratu na MM12, MM13, MM14, MM15 in MM27

datum	MM12		MM13		MM14		MM15		MM27	
	NO ₃ ⁻ [mg/l]	δ ¹⁵ N [‰]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	δ ¹⁵ N [‰]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	δ ¹⁵ N [‰]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	δ ¹⁵ N [‰]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	δ ¹⁵ N [‰]
31.8.06	1,4	4,2	1,4		1,8	2,2	2,1	-0,5	6,5	1,0
18.9.06	6,0	-2,1	1,4		7,8	-1,1	3,0	0,9	5,6	0,0
6.10.06	2,8	-6,3	1,6	2,8	6,0	-0,5	2,3	-2,1	4,2	-0,3
9.10.06	5,2		5,8				7,2	-2,3		
11.10.06									14,4	
26.10.06	24,3	-2,9	4,1	-0,3			11,8		8,8	-0,4
2.11.06	30,2		1,6	-1,3	44,9		19,9		8,4	-0,2
13.11.06	22,5		2,8	-2,2	30,4		19,3		7,5	-4,5
15.11.06	18,3		2,7	-1,3	21,9		26,5		5,9	
17.11.06	9,7		1,9	-3,3	22,9		23,3		7,2	
20.11.06	8,2		0,6	-2,8	24,9		18,4		4,0	-4,7
23.11.06	0,2		0,3	-0,8	0,3	0,4	0,2	4,5	6,1	7,0
25.11.06	0,1		0,1		0,2		0,2		5,2	-3,4
27.11.06	0,3		0,1	8,0	0,5	2,1	0,3	1,9	6,5	-3,1
29.11.06	0,4		0,3	0,9	0,5		0,3	-3,9	6,7	-3,0
6.12.06	0,9		0,5	-1,9	2,3	-1,5	0,7	-6,0	10,0	-3,0
13.12.06	0,4		0,4		0,7	-2,9	0,5	0,4	14,2	-0,4
4.1.07	0,5		0,6	-0,4	0,9	1,8	0,4	-0,2	13,0	-2,5

5 ZAKLJUČKI

Rezultati meritev pretokov vode v raziskovalnem rovu so pokazali, da je tok vode skozi nezasičeno cono odvisen od stanja zasičenosti le-te. Pretoki so se močno povečali šele po večdnevni obilni padavini (v drugi polovici novembra 2006), ki so povzročile zasičenje in migracijo vode ter v vodi raztopljenih snovi.

V povprečju se je gnojilo zaradi neobičajno sušnega meseca septembra in oktobra pojavilo v vodi šele po približno dveh mesecih. Vendar se je gnojilo pojavilo nekaj dni po večdnevni obilni padavini v sredini novembra 2006, ki so povzročile zasičenje nezasičene cone.

Izračuni hitrosti pretakanja vode v času maksimalne dosežene koncentracije nitrata kažejo, da v epikrasu prevladuje lateralna hitrost nad vertikalno.

Naravno ozadje koncentracije nitrata v vodi je bilo na merilnih mestih precej različno. Na MM2 (23,8 mg/l) in MM3 (29,1 mg/l) je bilo naravno ozadje višje kot pa koncentracije na MM4, MM5, MM6 in MM8 povzročene z gnojenjem.

Meritve koncentracije nitrata so pokazale izredno povišanje vsebnosti nitrata na osmih od petnajstih vzorčenih merilnih mestih, in sicer na: MM2, MM7, MM9, MM10, MM11, MM12, MM14 in MM15. Od tega je bila na treh merilnih mestih (MM2, MM10 in MM11) presežena maksimalna dovoljena koncentracija (50 mg/l) predpisana s Pravilnikom o pitni vodi ⁷ in z Uredbo o standardih kakovosti podzemne vode ⁸.

Z izotopsko analizo naj bi dobili podatek o izvoru dušika. Zaradi premajhnih količin zbrane vode v večini primerov velikih povišanj koncentracije nitrata v vodi izotopske analize ni bilo mogoče izvesti.

Na osnovi rezultatov vseh meritev lahko sklepamo, da gnojenje z mineralnim gnojilom (KAN) v okviru predpisanih količin vpliva na kakovost podzemne vode oziroma v primeru uporabe le-te na pitno vodo. Predpisane količine za gnojenje na vodovarstvenih območjih predvsem na karbonatnih kamninah bi morale biti nižje. Kraške kamnine so namreč neenakomerno razpokane (prisotnost manjših in večjih razpok ter še večjih kraških kanalov) in zaradi tega različno prepustne.

Pri nadaljnjih raziskavah vpliva gnojenja na kakovost vode bi bilo potrebno natančno preučiti naravno produkcijo nitrata. Za lažjo interpretacijo rezultatov bi bilo potrebno vključiti tudi izotopsko sestavo kisika v nitratu. Izvor nitrata bi z analizo obeh izotopov (¹⁵N in ¹⁸O) zanesljiveje določili. Poleg tega bi morali tudi spremeniti čas vzorčenja pronicajoče vode, da bi se izognili nezadostnim zbranim količinam vode za izotopsko analizo. Poleg tega bi bilo bolje uporabiti gnojilo samo z vsebnostjo nitrata, da bi se izognili selektivnemu raztapljanju NH_4^+ in NO_3^- in pretvarjanju NH_4^+ v NO_3^- , kar oboje vpliva na izotopsko sestavo dušika. Vzorcevati bi bilo potrebno tudi plin v tleh in analizirati izotopsko sestavo dušika, s čimer bi ugotovili, koliko dušika iz gnojila izhlapi. Žal teh analiz v Sloveniji ne izvajajo in bi morali vzorce pošiljati v tujino.

6 LITERATURA IN VIRI

1. Merrington G., Winder L., Parkinson R., Redman M. 2002. Agricultural pollution : Environmental problems and practical solutions. London, Spon Press, Taylor and Francis group: 238 str.
2. Canter L.W. 1997. Nitrates in groundwater. Florida, CRC Press, Inc: 263 str.
3. Uhan J., Krajnc M. 2003. Podzemna voda. V: Vodno bogastvo Slovenije. Uhan J., Bat M. (ur.). Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje: 55-67
4. Kendall C. 1998. Tracing nitrogen sources and cycling in catchments. V: Isotope tracers in catchment hydrology. Kendall C., McDonnell J. J. (ur.). Amsterdam, Elsevier Science B. V.: 839 str.
5. Clark I., Fritz P. 1997. Environmental isotopes in hydrogeology. New York, Lewis Publishers: 328 str.
6. Leskovšek M. 1993. Gnojenje: za velik in kakovosten pridelek, zaboljšanje rodovitnosti tal, za varovanje narave. Ljubljana, Kmečki glas: 197 str.
7. Pravilnik o pitni vodi. Ur.l. RS, št. 19/2004, 35/2004, 26/2006, 92/2006.
8. Uredba o standardih kakovosti podzemne vode. Ur.l. RS, št. 100/2005.
9. Perko D. in sod. 1998. Slovenija- pokrajine in ljudje. Perko D. (ur.). Ljubljana, Založba mladinska knjiga: 296-311
10. Kogovšek J. 2004. Značilnosti pretakanja padavin skozi vadozno cono krasa. Inštitut za raziskovanje krasa.
http://www.fgg.uni-lj.si/sugg/referati/2004/SZGG_04_Kogovsek.pdf (12. okt. 2006)
11. Trček B., Krothe N. C. 2002. Vloga nezasičene cone v procesu napajanja kraškega vodonosnika. V: Geologija 45/2. Ogorelec B. (ur.). Ljubljana, Geološki zavod Slovenije: 579-584
12. Veselič M. 2002. Predavanja pri predmetu hidrologija.
<http://www.p-ng.si/~mavri/hp4.pdf> (24. nov. 2006)
13. Čenčur Curk B. 2002. Tok in prenos snovi v kamnini s kraško in razpoklinsko poroznostjo. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, oddelek za geologijo. 252 str.
14. Trček B. 2002. Lastnosti epikraške cone kraškega vodonosnika in njen pomen v kraški hidrogeologiji. V: Geologija 45/2. Ogorelec B. (ur.). Ljubljana, Geološki zavod Slovenije: 573-578
15. Pintar M., Zupanc V., Čenčur Curk B. 2002. Modelling of nitrate leaching to groundwater under Slovenian conditions. V: Nitrates in groundwater. Razowska-Jaworek L, Sadurski A. (ur.). , A.A. Balkema Publishers: 129-137

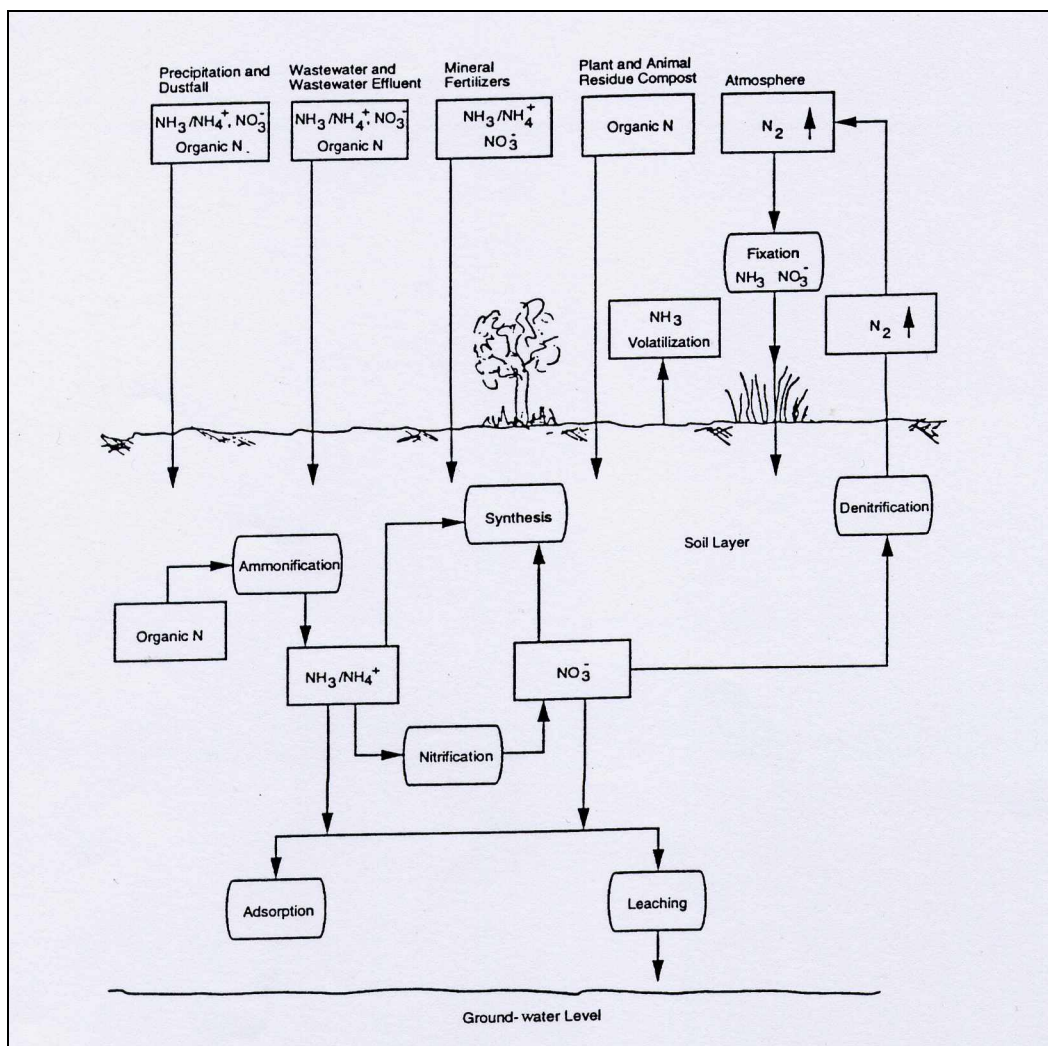
16. Trček B. 2005. The use of natural tracers in the study of the unsaturated zone of a karst aquifer. V: *Geologija* 48/1. Ogorelec B. (ur.). Ljubljana, Geološki zavod Slovenije: 141-152
17. Trček B. 2004. Drenažni sistem zgornje nezasičene cone kraškega vodonosnika-primer zaledja izvira Hubelj. V: *Geologija* 47/1. Ogorelec B. (ur.). Ljubljana, Geološki zavod Slovenije: 77-88
18. Veselič M., Čenčur Curk B. Test studies of flow and solute transport in the unsaturated fractured and karstified rock on the experimental field site Sinji Vrh; Slovenia. V: *New approaches characterising groundwater flow. Proceedings of the XXXI International Association of hydrogeologists Congress. 10-14 september 2001.* Seiler K. P. (ur.). Munich, Germany, Balkema: 211-214
19. Habič P. 1997. Physical geography of trnovsko-banjška planota. V: *Karst hydrogeological investigations in south-western Slovenia. Acta carsologica. Krasoslovni zbornik XXVI/1.* Kranjc A. (ur.). Ljubljana, Slovenska akademija znanosti in umetnosti in Znanstvenoraziskovalni center SAZU: 15-19
20. Janež J., Čar J., Habič P., Podobnik R. 1997. *Vodno bogastvo Visokega krasa: Ranljivost kraške podzemne vode Banjšic, Trnovskega gozda, Nanosa in Hrušice.* Idrija, Geologija d.o.o.: 167 str.
21. Kranjc A. (ur.). 1997. *Karst hydrogeological investigations in south-western Slovenia. Acta carsologica. Krasoslovni zbornik XXVI/1.* Ljubljana, Slovenska akademija znanosti in umetnosti in Znanstvenoraziskovalni center SAZU: 388 str.
22. Pristov J. 1997. The climate of the trnovsko-banjška planota. V: *Karst hydrogeological investigations in south-western Slovenia. Acta carsologica. Krasoslovni zbornik XXVI/1.* Kranjc A. (ur.). Ljubljana, Slovenska akademija znanosti in umetnosti in Znanstvenoraziskovalni center SAZU: 30-32
23. Habič P. 1997. Geomorphologic review of trnovsko-banjška planota. V: *Karst hydrogeological investigations in south-western Slovenia. Acta carsologica. Krasoslovni zbornik XXVI/1.* Kranjc A. (ur.). Ljubljana, Slovenska akademija znanosti in umetnosti in Znanstvenoraziskovalni center SAZU: 38-42
24. Čar J. 1997. Geological description. V: *Karst hydrogeological investigations in south-western Slovenia. Acta carsologica. Krasoslovni zbornik XXVI/1.* Kranjc A. (ur.). Ljubljana, Slovenska akademija znanosti in umetnosti in Znanstvenoraziskovalni center SAZU: 68-73
25. Janež J. 1997. Hydrogeology. V: *Karst hydrogeological investigations in south-western Slovenia. Acta carsologica. Krasoslovni zbornik XXVI/1.* Kranjc A. (ur.). Ljubljana, Slovenska akademija znanosti in umetnosti in Znanstvenoraziskovalni center SAZU: 73-81
26. Peljhan K. Okraju: Otlica- Kovk. Turistično društvo Okno
http://www.td-okno.si/index_files/otlica_kovk.htm (3.dec. 2006)

27. Skoog D. A., West D. M., Holler F. J., Crouch S. R. 2004. Fundamentals of analytical chemistry. 8th edition. Belmont, Brooks/cole- Thomson Learning: 1051 str.
28. Kranjc A. (ur.). 1997. Field guide of karst in Slovenia. Acta carsologica. Krasoslovni zbornik XXVI/1 (supplementum). Ljubljana, Slovenska akademija znanosti in umetnosti in Znanstvenoraziskovalni center SAZU: 98 str.

PRILOGE

Priloga A

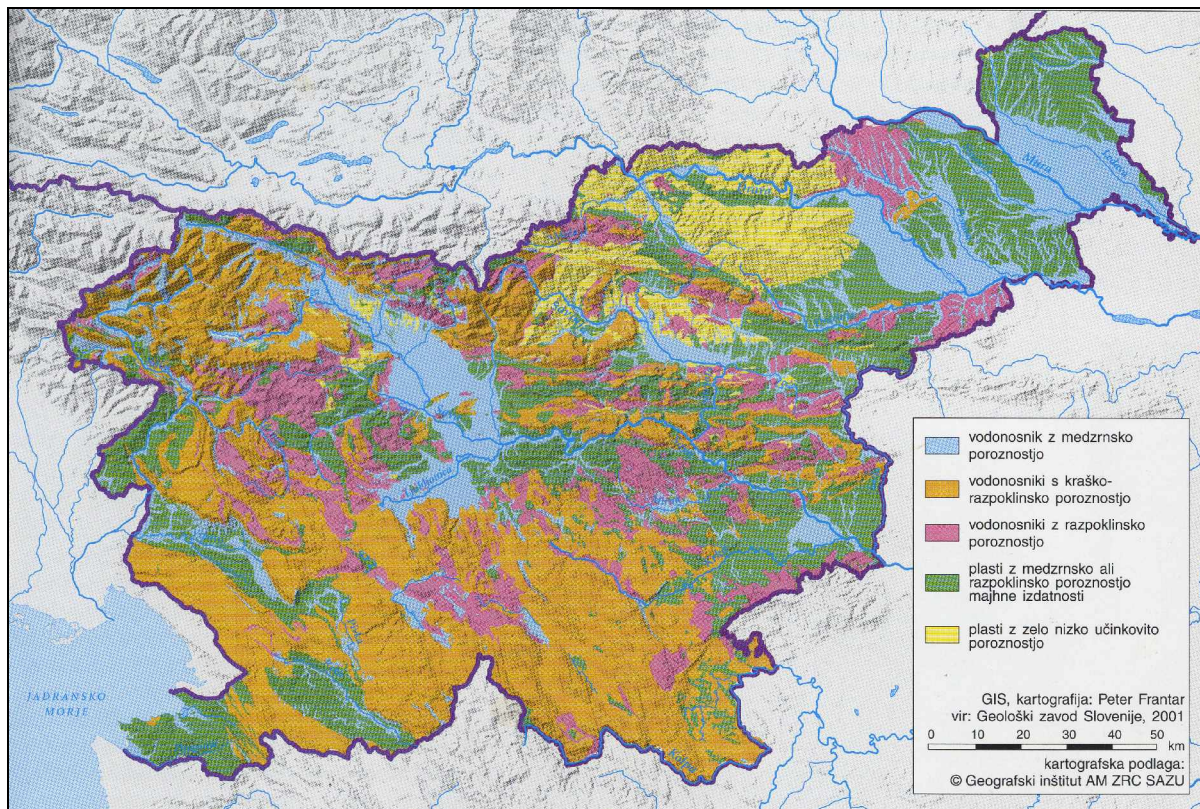
Cikel dušika v tleh in podzemni vodi.



Slika 16: Cikel dušika v tleh in podzemni vodi^{2:5}

Priloga B

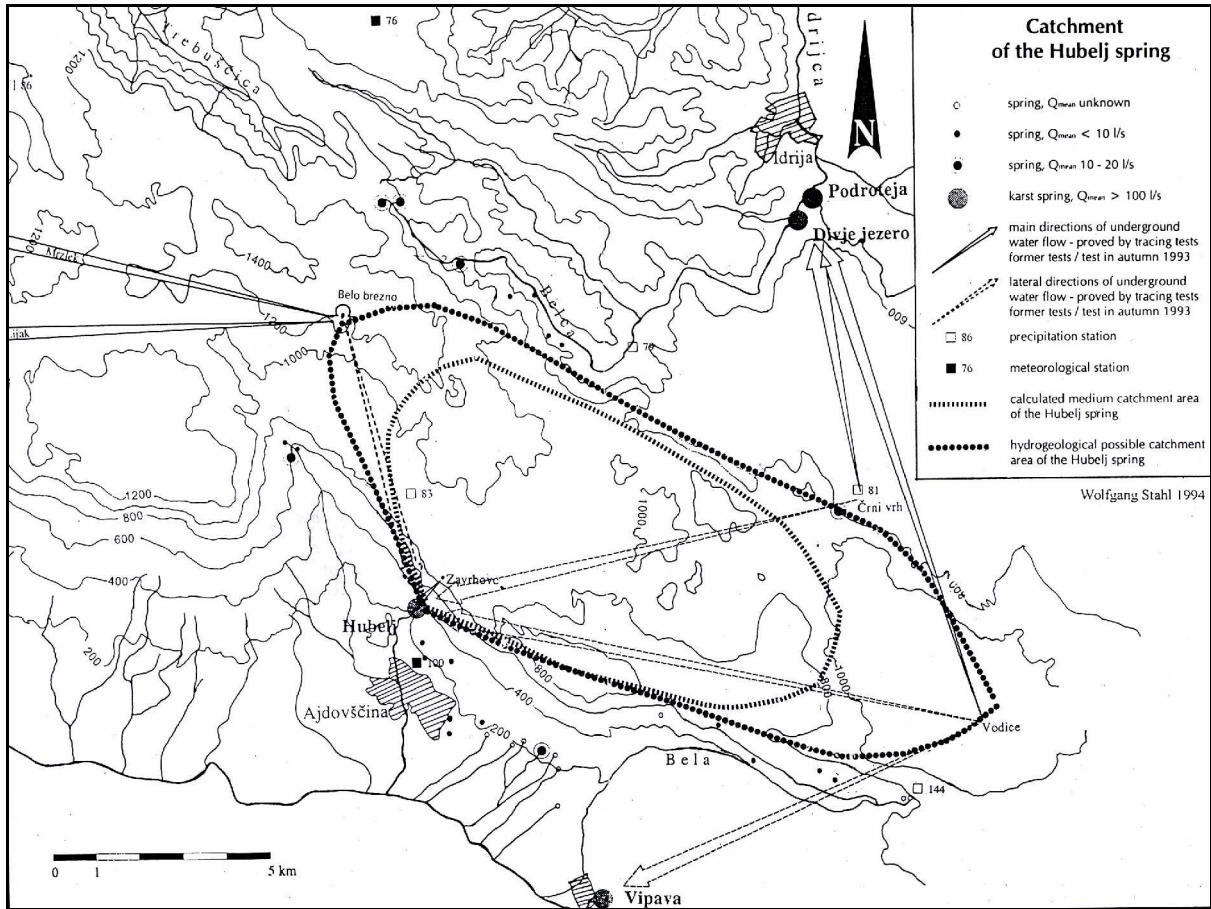
Hidrogeološka zgradba Slovenije.



Slika 17: Hidrogeološka zgradba Slovenije ^{3:55}

Priloga C

Zaledje izvira Hubelj.



Slika 18: Zaledje izvira Hubelj 28:44

Priloga D

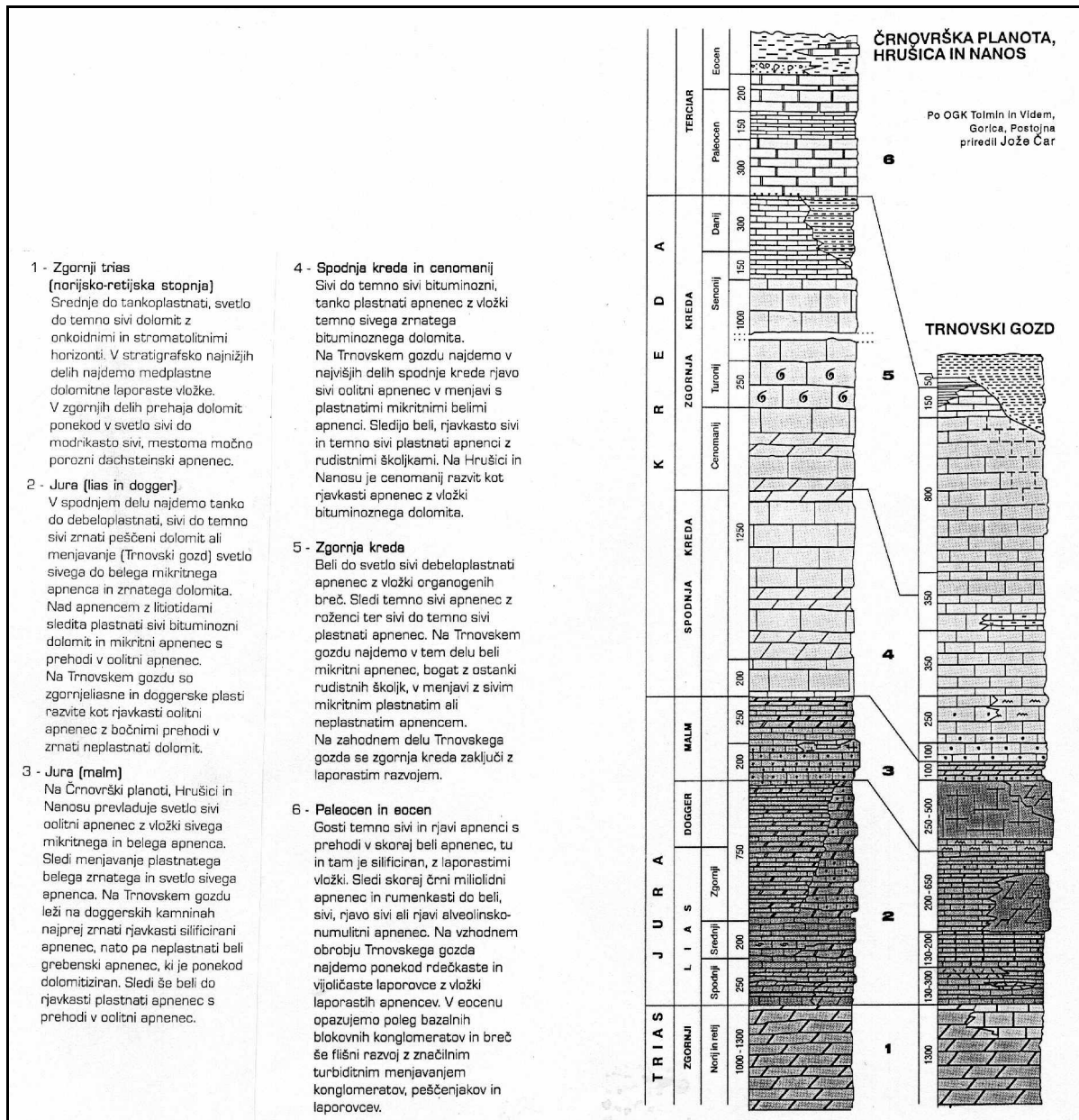
Visoki kras.



(M 1:500.000)

Slika 19: Visoki kras ^{20:10}

Priloga E
Litološki stolpec.



Slika 20: Litološki stolpec 20:22-23

Priloga F

**Vrednosti padavin v času poskusa.
Merska postaja na Sinjem Vrhu.**

Tabela 8: Vrednosti padavin

dan	padavine [mm]
31.8.06	0,0
1.9.06	0,0
2.9.06	0,2
3.9.06	0,2
4.9.06	0,0
5.9.06	0,3
6.9.06	0,0
7.9.06	0,0
8.9.06	0,1
9.9.06	0,2
10.9.06	0,0
11.9.06	0,0
12.9.06	0,0
13.9.06	0,0
14.9.06	0,1
15.9.06	24,0
16.9.06	6,3
17.9.06	24,6
18.9.06	2,2
19.9.06	0,4
20.9.06	0,2
21.9.06	0,1
22.9.06	0,0
23.9.06	0,0
24.9.06	0,0
25.9.06	0,2
26.9.06	0,0
27.9.06	0,0
28.9.06	0,0
29.9.06	0,0
30.9.06	0,0
1.10.06	0,7
2.10.06	0,5
3.10.06	3,4
4.10.06	0,0
5.10.06	0,0
6.10.06	0,1
7.10.06	0,2
8.10.06	0,0
9.10.06	0,0
10.10.06	0,0
11.10.06	0,0
12.10.06	0,0

dan	padavine [mm]
13.10.06	0,0
14.10.06	0,0
15.10.06	0,0
16.10.06	0,0
17.10.06	0,1
18.10.06	0,1
19.10.06	0,2
20.10.06	28,6
21.10.06	1,3
22.10.06	0,0
23.10.06	10,4
24.10.06	5,6
25.10.06	0,0
26.10.06	0,0
27.10.06	0,0
28.10.06	0,0
29.10.06	0,0
30.10.06	0,0
31.10.06	0,0
1.11.06	10,9
2.11.06	0,1
3.11.06	0,1
4.11.06	0,1
5.11.06	0,0
6.11.06	0,1
7.11.06	0,2
8.11.06	0,0
9.11.06	0,0
10.11.06	0,3
11.11.06	0,0
12.11.06	3,9
13.11.06	0,2
14.11.06	0,0
15.11.06	0,0
16.11.06	3,3
17.11.06	1,0
18.11.06	0,3
19.11.06	16,5
20.11.06	8,5
21.11.06	7,9
22.11.06	60,5
23.11.06	0,1
24.11.06	5,9

dan	padavine [mm]
25.11.06	8,9
26.11.06	0,0
27.11.06	0,0
28.11.06	0,0
29.11.06	0,2
30.11.06	0,2
1.12.06	0,1
2.12.06	0,0
3.12.06	0,0
4.12.06	9,6
5.12.06	1,2
6.12.06	7,2
7.12.06	1,7
8.12.06	0,2
9.12.06	54,0
10.12.06	18,9
11.12.06	0,0
12.12.06	0,1
13.12.06	0,1
14.12.06	0,3
15.12.06	0,0
16.12.06	0,2
17.12.06	22,6
18.12.06	5,9
19.12.06	0,0
20.12.06	0,0
21.12.06	0,1
22.12.06	0,7
23.12.06	0,2
24.12.06	0,2
25.12.06	0,2
26.12.06	0,7
27.12.06	1,6
28.12.06	0,1
29.12.06	0,3
30.12.06	0,0
31.12.06	0,1
1.1.07	37,0
2.1.07	4,9
3.1.07	0,0
4.1.07	0,0

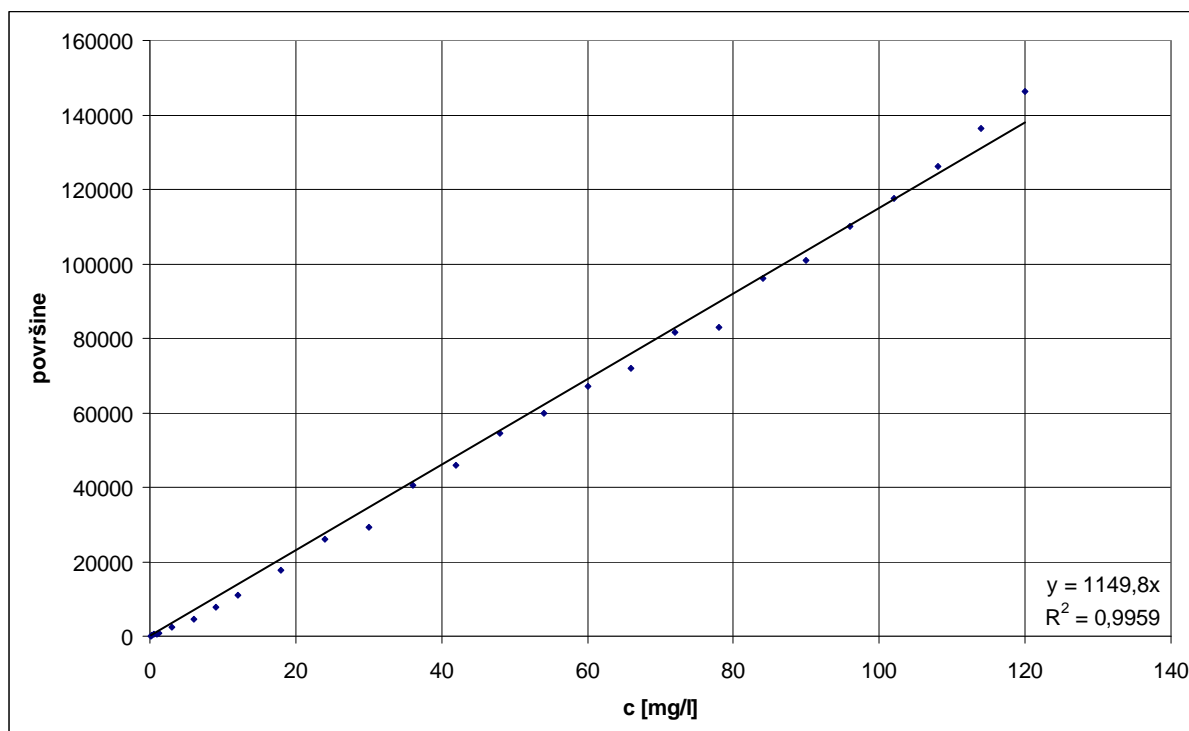
Priloga G

**Vrednosti standardnih raztopin uporabljenih za umeritveno krivuljo.
Graf umeritvene krivulje.**

Tabela 9: Vrednosti standardnih raztopin

c [mg/l]	površine
120	146219
114	136498
108	126282
102	117678
96	110120
90	100951
84	96213
78	82931
72	81647
66	71935
60	67012
54	59903
48	54584
42	45906

c [mg/l]	površine
36	40470
30	29243
24	26111
18	17703
12	11134
9	7831
6	4542
3	2287
1,2	785
0,9	526
0,6	440
0,3	153
0,12	111



Slika 21: Umeritvena krivulja

PRILOGA H

Za vsa posamezna merilna mesta:

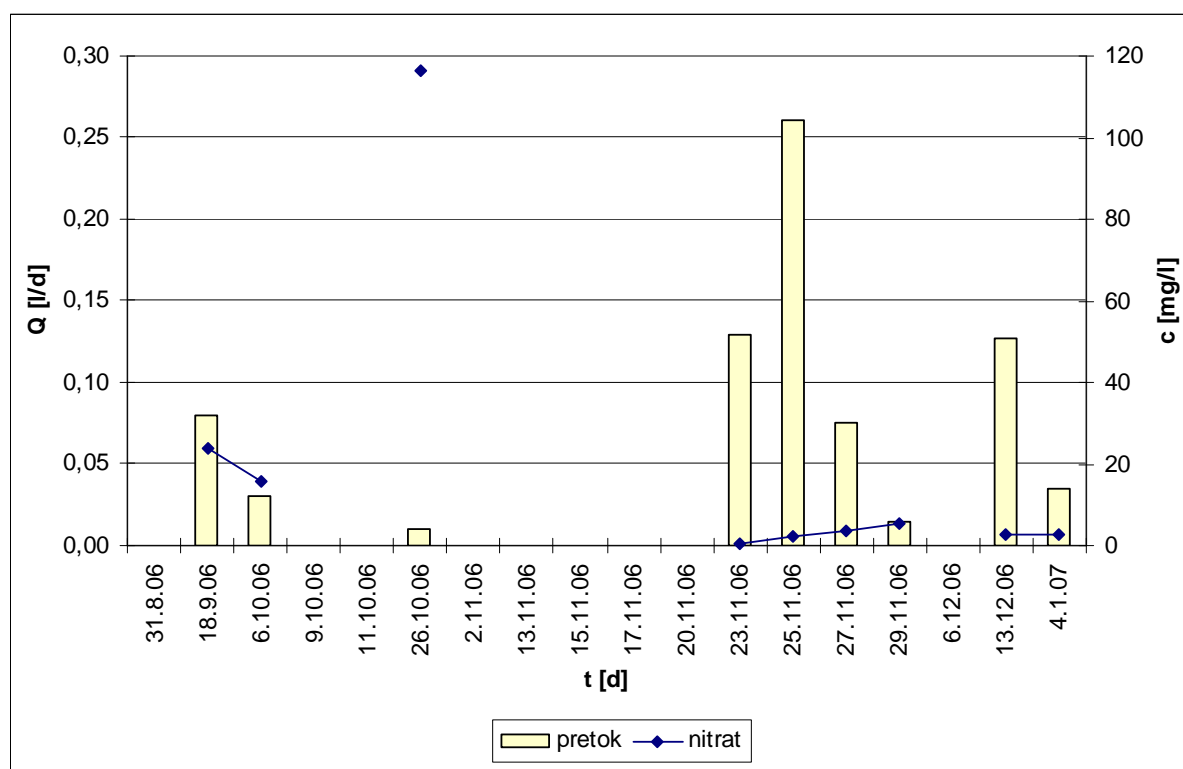
- tabela časov, hitrosti pretakanja, pretokov in vsebnosti nitratov v vodi**
- graf pretokov in vsebnosti nitratov v vodi**

Tabela 10: Volumni, pretoki in koncentracije nitratov v vodi na MM2

serija	datum	ura	čas [d] *	čas [h] **	V [ml]	Q [l/d]	c [mg/l]
1	31.8.06	13:06			0		
2	18.9.06	14:19	18,051	433,2	1450	0,080	23,8
3	6.10.06	15:20	18,042	866,2	540	0,030	15,6
4	9.10.06				0		
5	11.10.06				0		
6	26.10.06	13:10	19,910	1344,1	200	0,010	116,6
7	2.11.06				0		
8	13.11.06				0		
9	15.11.06				0		
10	17.11.06				0		
11	20.11.06				0		
12	23.11.06	8:50	27,819	2011,7	3590	0,129	0,6
13	25.11.06	10:40	2,076	2061,6	540	0,260	2,2
14	27.11.06	10:10	1,979	2109,1	150	0,076	3,7
15	29.11.06	12:28	2,096	2159,4	300	0,014	5,2
16	6.12.06				0		
17	13.12.06	12:02	13,982	2494,9	1780	0,127	2,6
18	4.1.07	15:00	22,124	3025,9	770	0,035	2,8

Opomba: * Čas med posameznimi vzorčenji.

** Čas posameznega vzorčenja od prvega vzorčenja



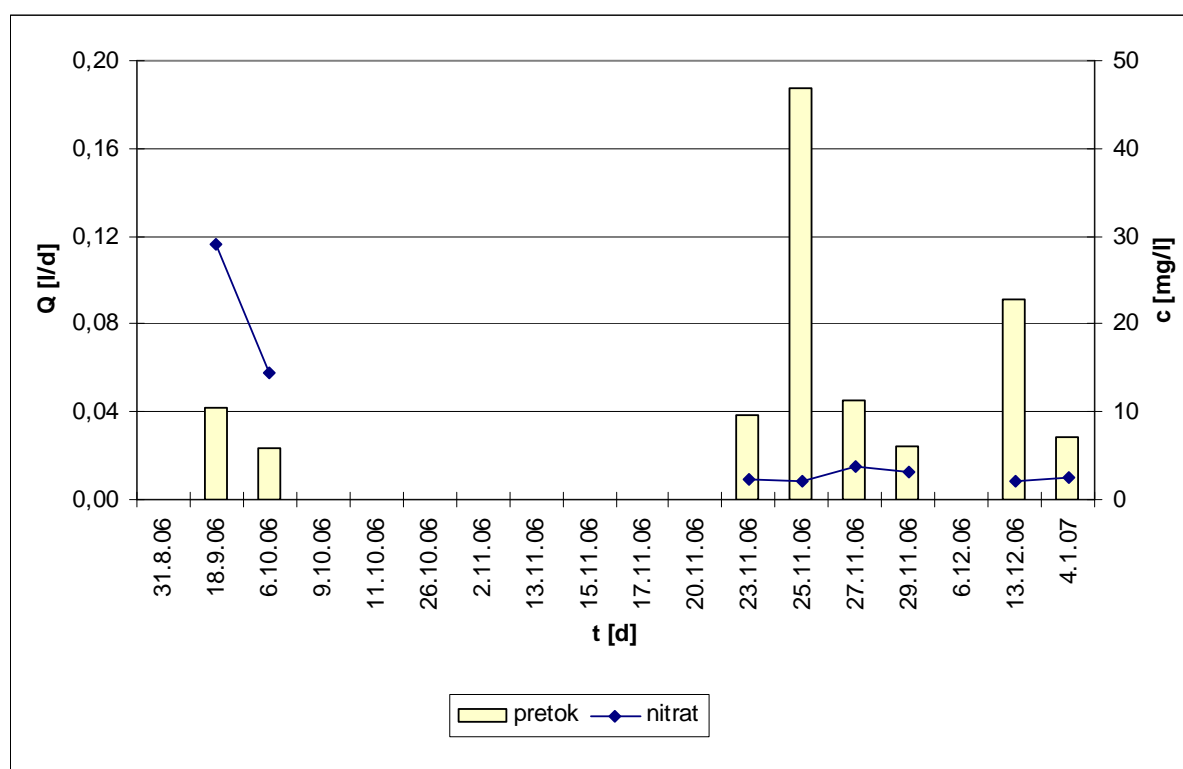
Slika 22: Pretoki in koncentracije nitratov v vodi na MM2

Tabela 11: Volumni, pretoki in koncentracije nitratov v vodi na MM3

serija	datum	ura	čas [d] *	čas [h] **	V [ml]	Q [l/d]	c [mg/l]
1	31.8.06	13:07			0		
2	18.9.06	14:24	18,053	433,3	760	0,042	29,1
3	6.10.06	15:27	18,044	866,3	420	0,023	14,5
4	9.10.06				0		
5	11.10.06				0		
6	26.10.06				0		
7	2.11.06				0		
8	13.11.06				0		
9	15.11.06				0		
10	17.11.06				0		
11	20.11.06				0		
12	23.11.06	8:45	47,721	2011,6	1840	0,039	2,2
13	25.11.06	10:38	2,079	2061,5	390	0,188	2,1
14	27.11.06	10:07	1,978	2109,0	90	0,046	3,7
15	29.11.06	12:25	2,096	2159,3	50	0,024	3,1
16	6.12.06				0		
17	13.12.06	11:58	13,981	2494,9	1270	0,091	2,0
18	4.1.07	14:43	22,115	3025,6	630	0,029	2,6

Opomba: * Čas med posameznimi vzorčenji.

** Čas posameznega vzorčenja od prvega vzorčenja



Slika 23: Pretoki in koncentracije nitratov v vodi na MM3

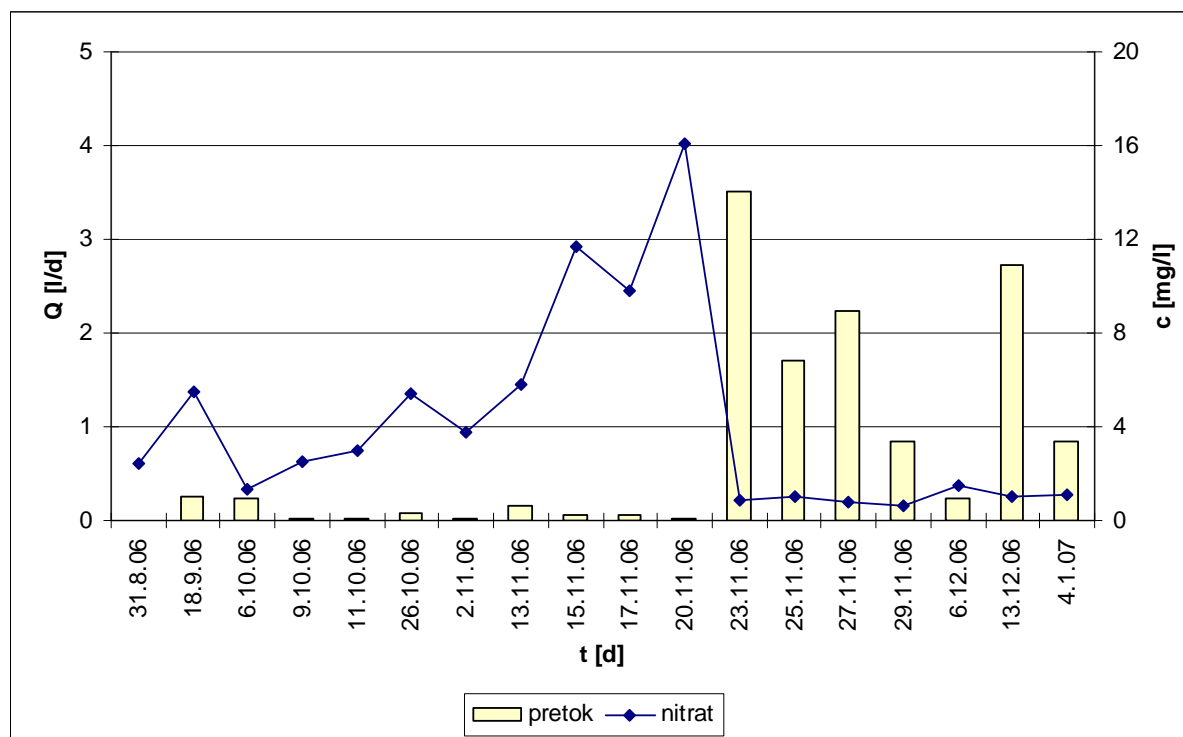
Tabela 12: Volumni, pretoki in koncentracije nitratov v vodi na MM4

serija	datum	ura	čas [d] *	čas [h] **	V [št] ***	Q [l/d]	c [mg/l]
1	31.8.06	13:08			103		2,4
2	18.9.06	14:30	18,057	433,4	103	0,253	5,5
3	6.10.06	15:33	18,044	866,4	103	0,230	1,3
4	9.10.06	15:00	2,977	937,9	103	0,013	2,5
5	11.10.06	12:40	1,903	983,5	103	0,023	3,0
6	26.10.06	13:12	15,022	1344,1	103	0,084	5,4
7	2.11.06	11:16	6,919	1510,1	103	0,029	3,8
8	13.11.06	11:56	11,028	1774,8	103	0,161	5,8
9	15.11.06	9:58	1,918	1820,8	103	0,068	11,7
10	17.11.06	13:55	2,165	1872,8	103	0,065	9,8
11	20.11.06	11:17	2,890	1942,2	103	0,010	16,1
12	23.11.06	8:41	2,892	2011,6	106	3,519	0,9
13	25.11.06	10:30	2,076	2061,4	107	1,697	1,0
14	27.11.06	10:00	1,972	2108,7	107	2,239	0,8
15	29.11.06	12:18	2,103	2159,2	107	0,836	0,6
16	6.12.06	13:14	7,039	2328,1	107	0,226	1,5
17	13.12.06	11:54	6,940	2494,8	110	2,718	1,0
18	4.1.07	14:39	22,115	3025,5	110	0,845	1,1

Opomba: * Čas med posameznimi vzorčenji.

** Čas posameznega vzorčenja od prvega vzorčenja

*** Stalno zaprta vzorčevalna posoda ima mehanizem za avtomatsko praznjenje posode ob doseženem določenem volumnu. Številka nam pove število praznenj.



Slika 24: Pretoki in koncentracije nitratov v vodi na MM4

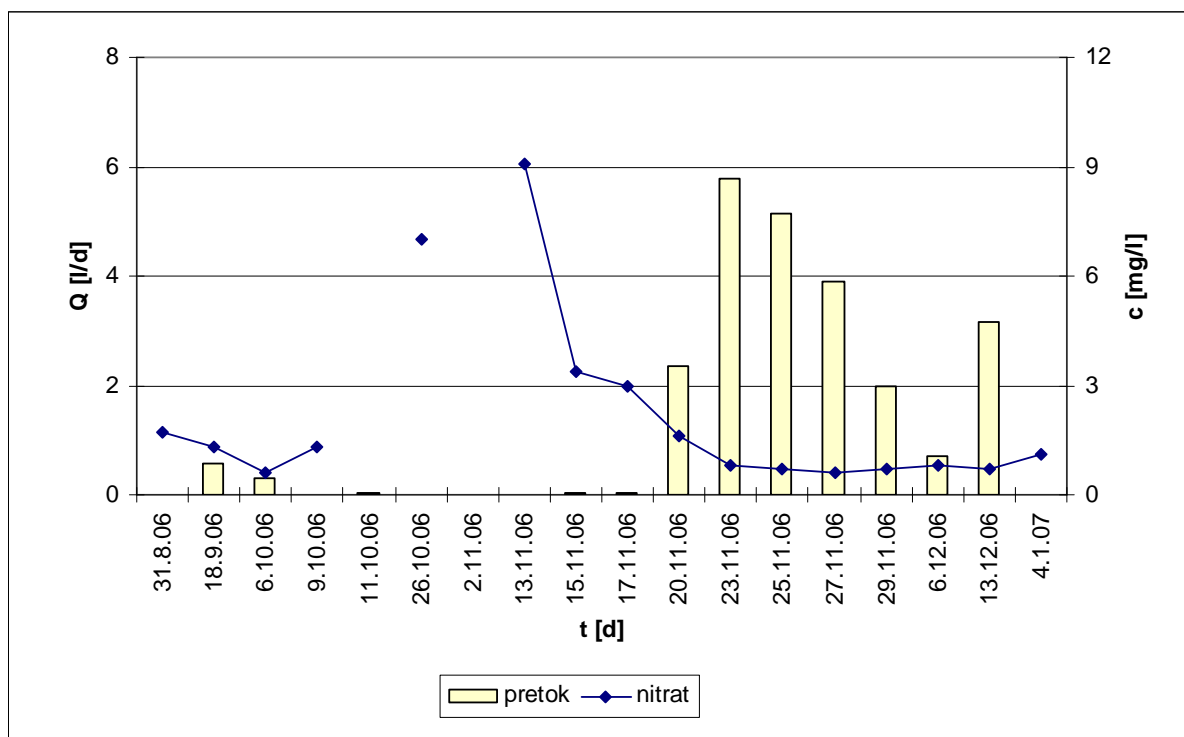
Tabela 13: Volumni, pretoki in koncentracije nitratov v vodi na MM5

serija	datum	ura	čas [d] *	čas [h] **	V [št] ***	Q [l/d]	c [mg/l]
1	31.8.06	13:23			311		1,7
2	18.9.06	14:43	18,056	433,3	312	0,563	1,3
3	6.10.06	15:43	18,042	866,3	313	0,299	0,6
4	9.10.06	15:05	2,974	937,7	313	0,012	1,3
5	11.10.06				313	0,047	
6	26.10.06	13:17	16,925	1343,9	313	0,013	7,0
7	2.11.06				313	0,015	
8	13.11.06	12:02	17,948	1774,7	313	0,006	9,1
9	15.11.06	9:52	1,910	1820,5	313	0,024	3,4
10	17.11.06	13:50	2,165	1800,5	313	0,020	3,0
11	20.11.06	11:11	2,890	1941,8	313	2,337	1,6
12	23.11.06	8:34	2,891	2011,2	315	5,784	0,8
13	25.11.06	10:21	2,074	2061,0	316	5,145	0,7
14	27.11.06	9:52	1,980	2108,5	317	3,905	0,6
15	29.11.06	12:11	2,097	2158,8	317	1,971	0,7
16	6.12.06	13:11	7,042	2327,8	318	0,714	0,8
17	13.12.06	11:49	6,943	2494,4	326	3,162	0,7
18	4.1.07	14:32	22,113	3025,2	3841	0,012	1,1

Opomba: * Čas med posameznimi vzorčenji.

** Čas posameznega vzorčenja od prvega vzorčenja

*** Stalno zaprta vzorčevalna posoda ima mehanizem za avtomatsko praznjenje posode ob doseženem določenem volumnu. Številka nam pove število praznenj.



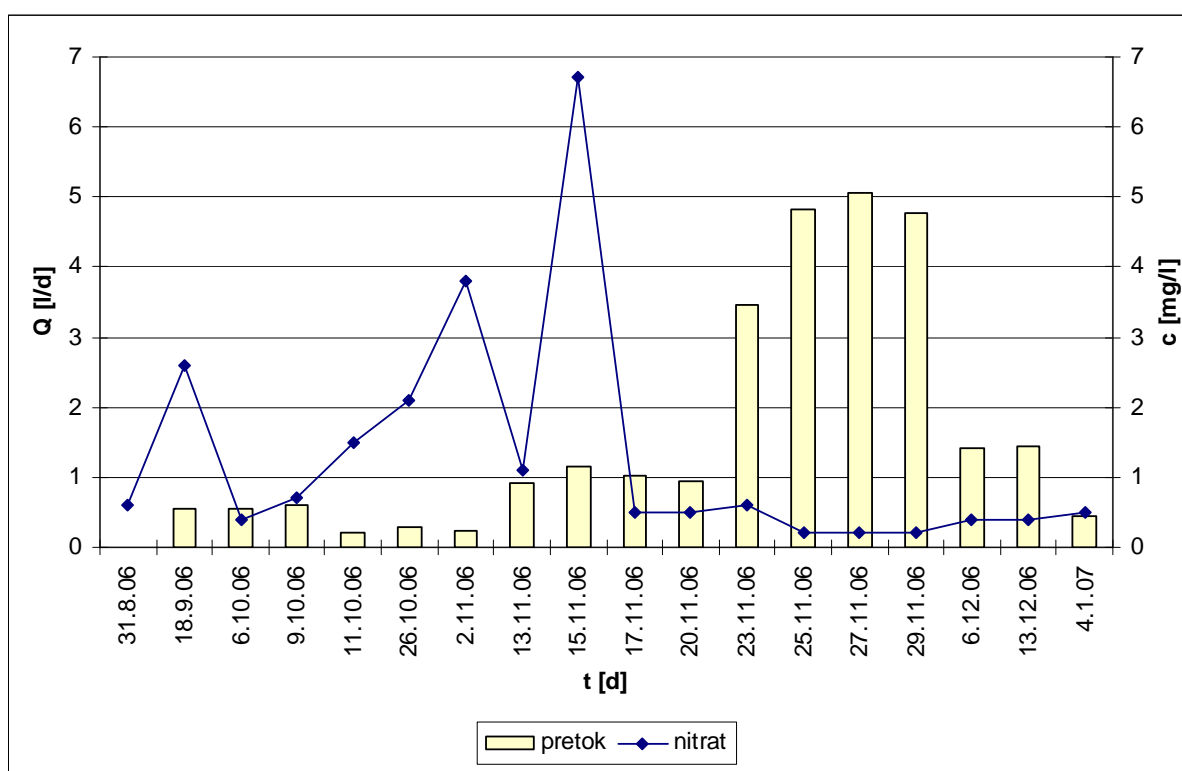
Slika 25: Pretoki in koncentracije nitratov v vodi na MM5

Tabela 14: Volumni, pretoki in koncentracije nitratov v vodi na MM6

serija	datum	ura	čas [d] *	čas [h] **	V [ml]	Q [l/d]	c [mg/l]
1	31.8.06	13:38			10000		0,6
2	18.9.06	14:57	18,055	433,3	10000	0,554	2,6
3	6.10.06	15:47	18,035	866,2	10000	0,554	0,4
4	9.10.06	15:09	2,974	937,5	1770	0,595	0,7
5	11.10.06	12:45	1,900	983,1	400	0,211	1,5
6	26.10.06	13:22	15,026	1343,7	4270	0,284	2,1
7	2.11.06	11:22	6,917	1509,7	2410	0,248	3,8
8	13.11.06	12:09	11,033	1774,5	10000	0,906	1,1
9	15.11.06	9:48	1,902	1820,2	2190	1,151	6,7
10	17.11.06	13:46	2,165	1872,1	2190	1,012	0,5
11	20.11.06	11:06	2,889	1941,5	2710	0,938	0,5
12	23.11.06	8:30	2,892	2010,9	10000	3,458	0,6
13	25.11.06	10:15	2,073	2060,6	10000	4,824	0,2
14	27.11.06	9:45	1,979	2108,1	10000	5,053	0,2
15	29.11.06	12:06	2,098	2158,5	10000	4,766	0,2
16	6.12.06	12:56	7,035	2327,3	10000	1,421	0,4
17	13.12.06	11:45	6,953	2494,1	10000	1,438	0,4
18	4.1.07	14:26	22,112	3024,8	10000	0,452	0,5

Opomba: * Čas med posameznimi vzorčenji.

** Čas posameznega vzorčenja od prvega vzorčenja



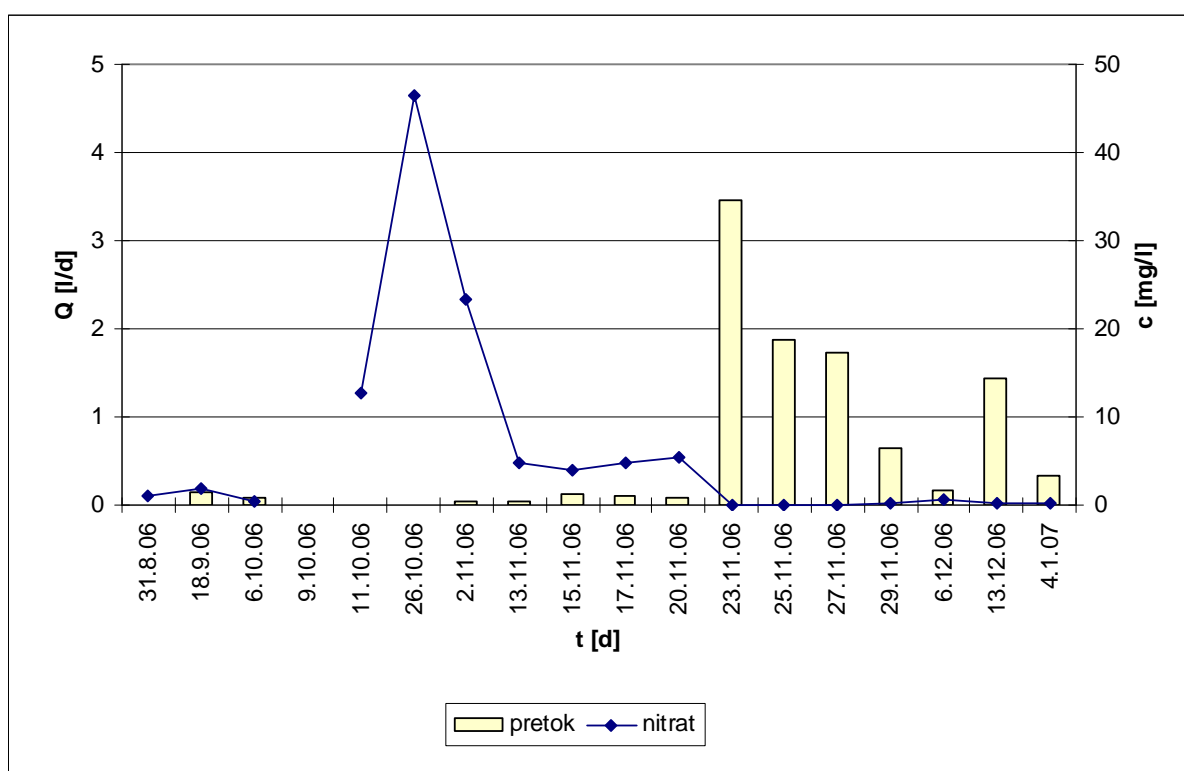
Slika 26: Pretoki in koncentracije nitratov v vodi na MM6

Tabela 15: Volumni, pretoki in koncentracije nitratov v vodi na MM7

serija	datum	ura	čas [d] *	čas [h] **	V [ml]	Q [l/d]	c [mg/l]
1	31.8.06	13:43			950		1,1
2	18.9.06	15:01	18,054	433,3	2650	0,147	1,8
3	6.10.06	15:54	18,037	866,2	1340	0,074	0,5
4	9.10.06				0		
5	11.10.06	12:48	4,902	983,8	40	0,008	12,8
6	26.10.06	13:28	14,997	1343,8	70	0,005	46,5
7	2.11.06	11:27	6,916	1509,7	340	0,049	23,3
8	13.11.06	12:13	11,032	1774,5	460	0,042	4,7
9	15.11.06	9:45	1,897	1820,0	230	0,121	3,9
10	17.11.06	13:42	2,165	1872,0	210	0,097	4,8
11	20.11.06	11:01	2,888	1941,3	220	0,076	5,5
12	23.11.06	8:26	2,892	2010,7	10000	3,458	pmd
13	25.11.06	10:10	2,072	2060,5	3880	1,873	pmd
14	27.11.06	9:38	1,978	2107,9	3420	1,729	pmd
15	29.11.06	12:01	2,099	2158,3	1350	0,643	0,2
16	6.12.06	12:52	7,035	2327,2	1100	0,156	0,6
17	13.12.06	11:42	6,951	2494,0	10000	1,439	0,2
18	4.1.07	14:20	22,068	3024,6	7500	0,340	0,3

Opomba: * Čas med posameznimi vzorčenji.

** Čas posameznega vzorčenja od prvega vzorčenja



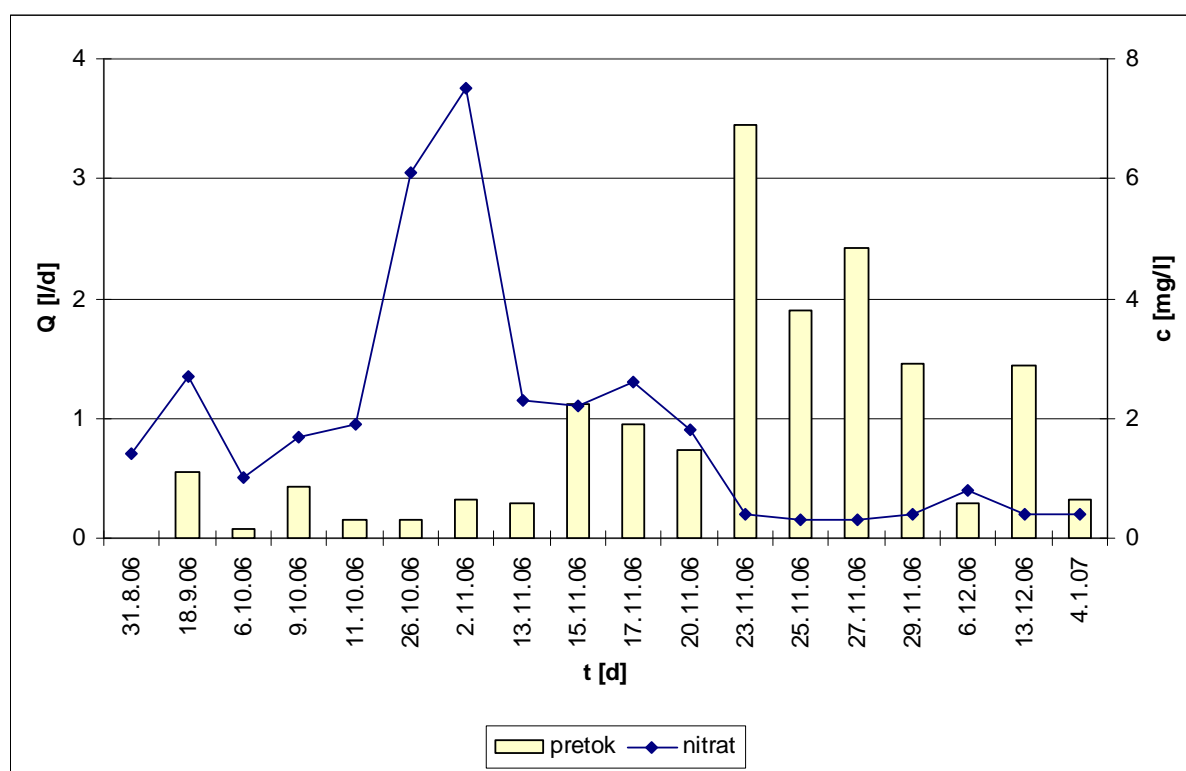
Slika 27: Pretoki in koncentracije nitratov v vodi na MM7

Tabela 16: Volumni, pretoki in koncentracije nitratov v vodi na MM8

serija	datum	ura	čas [d] *	čas [h] **	V [ml]	Q [l/d]	c [mg/l]
1	31.8.06	13:47			10000		1,4
2	18.9.06	15:07	18,056	433,3	10000	0,554	2,7
3	6.10.06	15:58	18,035	866,2	1290	0,072	1,0
4	9.10.06	15:18	2,972	937,5	1290	0,434	1,7
5	11.10.06	12:51	1,898	983,1	300	0,158	1,9
6	26.10.06	13:32	15,028	1343,8	2270	0,151	6,1
7	2.11.06	11:31	6,916	1509,7	2270	0,328	7,5
8	13.11.06	12:17	11,032	1774,5	3190	0,289	2,3
9	15.11.06	9:41	1,892	1819,9	2110	1,115	2,2
10	17.11.06	13:38	2,165	1871,9	2060	0,952	2,6
11	20.11.06	10:56	2,888	1941,2	2140	0,741	1,8
12	23.11.06	8:23	2,894	2010,6	10000	3,455	0,4
13	25.11.06	10:04	2,068	2060,2	3930	1,900	0,3
14	27.11.06	9:31	1,979	2107,7	4780	2,415	0,3
15	29.11.06	11:56	2,101	2158,2	3050	1,452	0,4
16	6.12.06	12:48	7,036	2327,0	2040	0,290	0,8
17	13.12.06	11:38	6,951	2493,9	10000	1,439	0,4
18	4.1.07	14:15	22,109	3024,5	7060	0,319	0,4

Opomba: * Čas med posameznimi vzorčenji.

** Čas posameznega vzorčenja od prvega vzorčenja



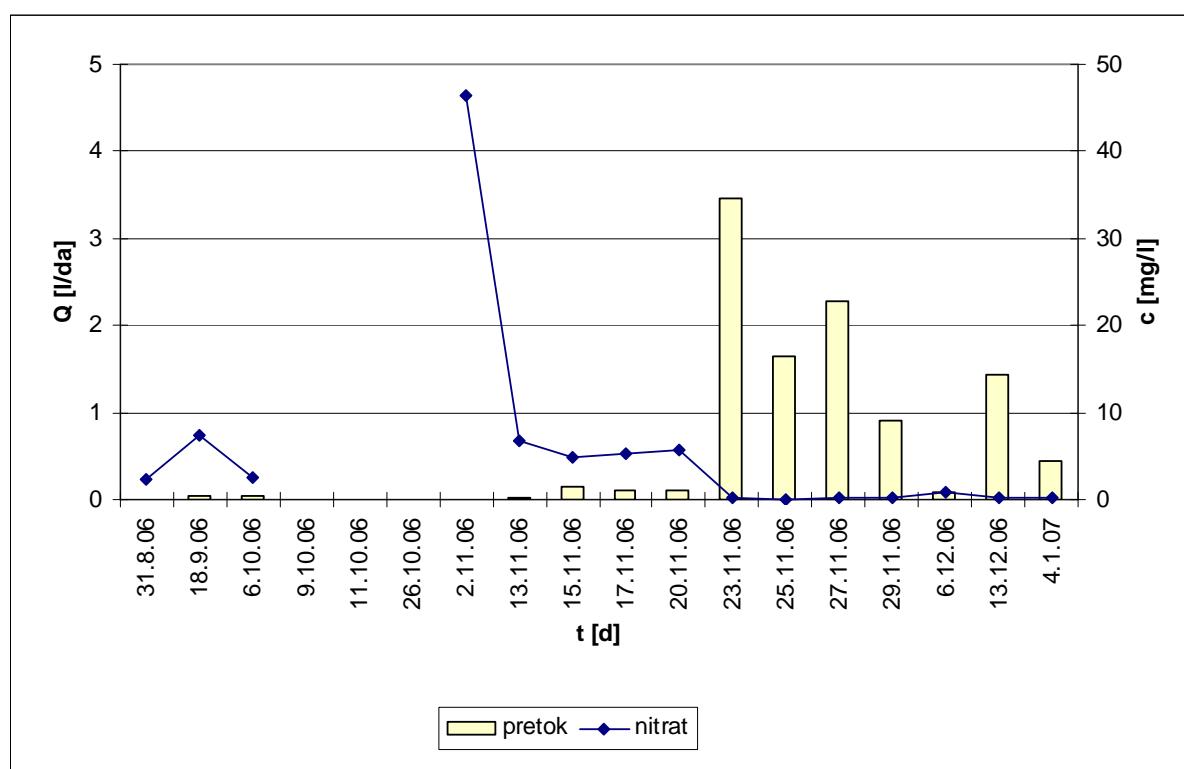
Slika 28: Pretoki in koncentracije nitratov v vodi na MM8

Tabela 17: Volumni, pretoki in koncentracije nitratov v vodi na MM9

serija	datum	ura	čas [d] *	čas [h] **	V [ml]	Q [l/d]	c [mg/l]
1	31.8.06	13:51			800		2,3
2	18.9.06	15:10	18,055	433,3	860	0,048	7,4
3	6.10.06	16:03	18,037	866,2	740	0,041	2,5
4	9.10.06				0		
5	11.10.06				0		
6	26.10.06				0		
7	2.11.06	11:37	26,815	1509,8	160	0,006	46,5
8	13.11.06	12:22	11,031	1774,5	330	0,030	6,8
9	15.11.06	9:38	1,886	1819,8	260	0,138	4,9
10	17.11.06	13:35	2,165	1871,7	250	0,115	5,3
11	20.11.06	10:52	2,887	1941,0	300	0,104	5,8
12	23.11.06	8:19	2,894	2010,5	10000	3,455	0,2
13	25.11.06	9:59	2,069	2060,1	3410	1,648	pmd
14	27.11.06	9:22	1,974	2107,5	4490	2,275	0,2
15	29.11.06	11:52	2,104	2158,0	1920	0,913	0,2
16	6.12.06	12:43	6,994	2325,9	600	0,086	0,8
17	13.12.06	11:33	6,993	2493,7	10000	1,430	0,3
18	4.1.07	14:11	22,110	3024,3	10000	0,452	0,3

Opomba: * Čas med posameznimi vzorčenji.

** Čas posameznega vzorčenja od prvega vzorčenja



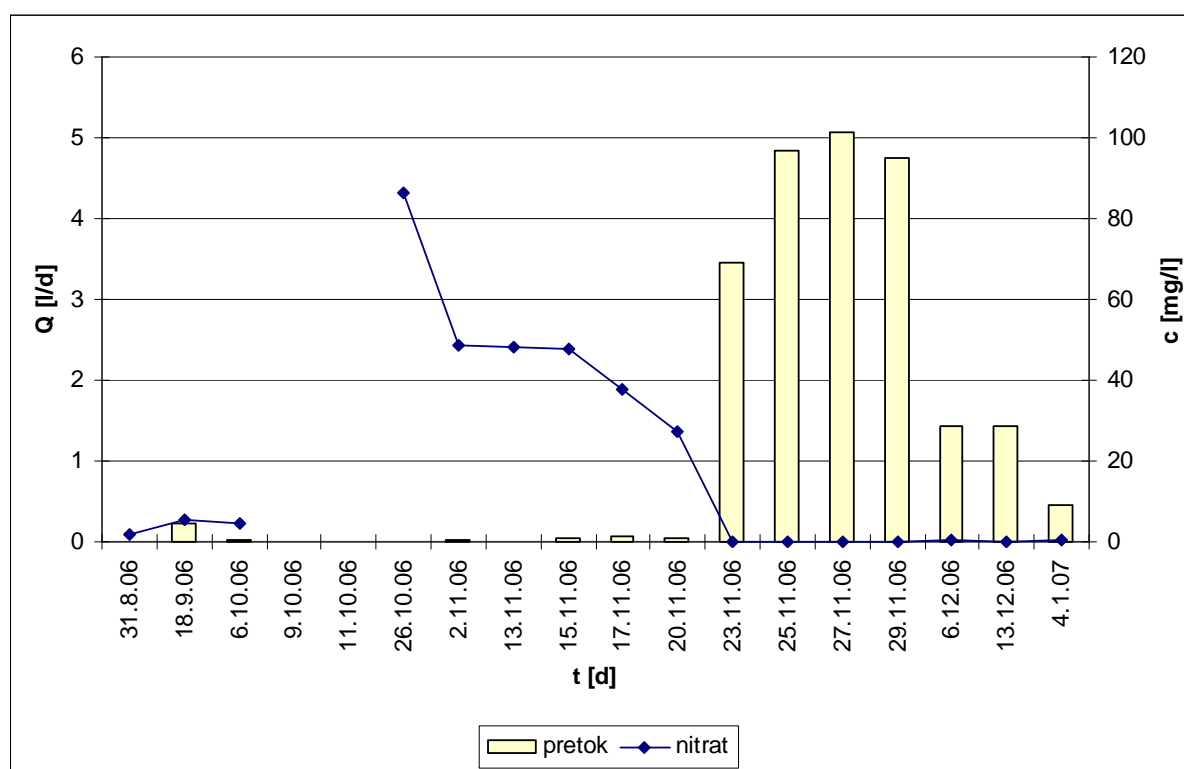
Slika 29: Pretoki in koncentracije nitratov v vodi na MM9

Tabela 18: Volumni, pretoki in koncentracije nitratov v vodi na MM10

serija	datum	ura	čas [d] *	čas [h] **	V [ml]	Q [l/d]	c [mg/l]
1	31.8.06	13:56			4300		1,7
2	18.9.06	15:14	18,054	433,3	4010	0,222	5,3
3	6.10.06	16:10	18,039	866,2	510	0,028	4,7
4	9.10.06				0		
5	11.10.06				0		
6	26.10.06	13:37	19,881	1343,4	70	0,004	86,3
7	2.11.06	11:40	6,931	1509,7	210	0,030	48,8
8	13.11.06	12:26	11,032	1774,5	120	0,011	48,4
9	15.11.06	9:35	1,881	1819,7	90	0,048	47,9
10	17.11.06	13:32	2,165	1871,6	130	0,060	37,7
11	20.11.06	10:48	2,886	1940,9	120	0,042	27,1
12	23.11.06	8:15	2,894	2010,3	10000	3,455	pmd
13	25.11.06	9:53	2,067	2059,9	10000	4,838	pmd
14	27.11.06	9:14	1,974	2107,3	10000	5,066	pmd
15	29.11.06	11:49	2,108	2157,9	10000	4,744	pmd
16	6.12.06	12:40	7,035	2326,7	10000	1,421	0,5
17	13.12.06	11:29	6,951	2493,6	10000	1,439	pmd
18	4.1.07	14:06	22,109	3024,2	10000	0,452	0,3

Opomba: * Čas med posameznimi vzorčenji.

** Čas posameznega vzorčenja od prvega vzorčenja



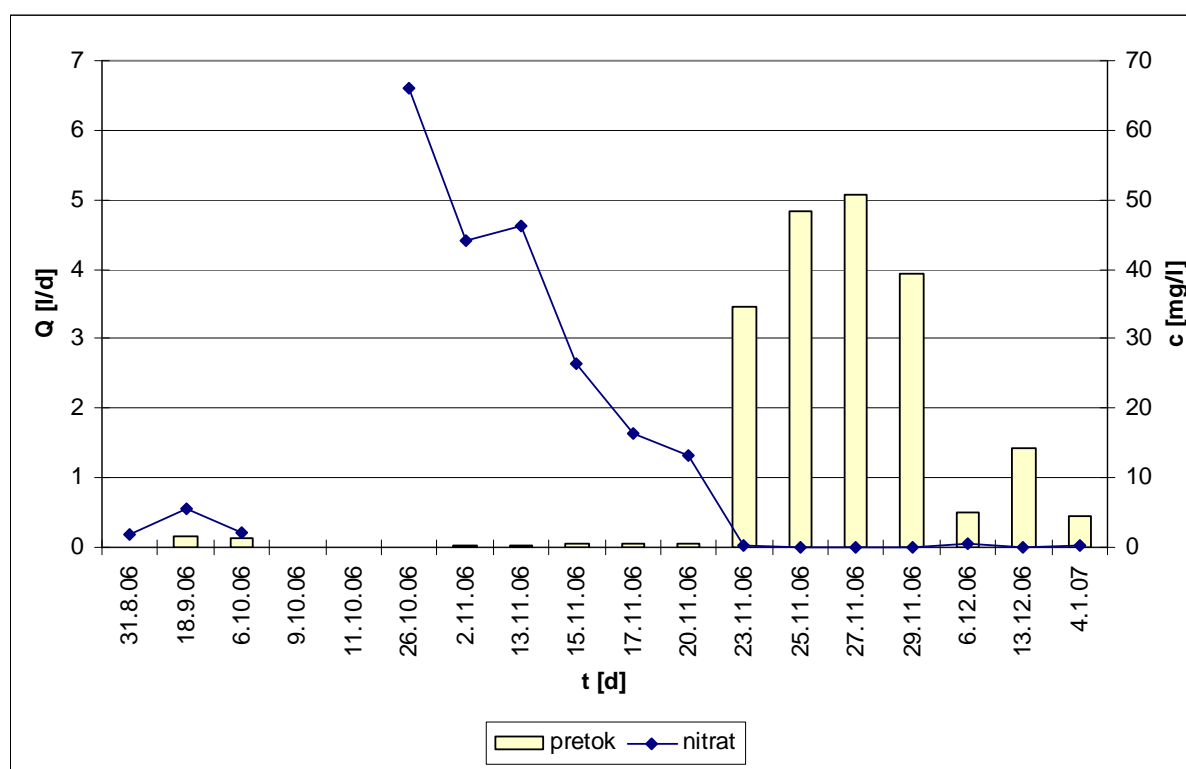
Slika 30: Pretoki in koncentracije nitratov v vodi na MM10

Tabela 19: Volumni, pretoki in koncentracije nitratov v vodi na MM11

serija	datum	ura	čas [d] *	čas [h] **	V [ml]	Q [l/d]	c [mg/l]
1	31.8.06	14:01			10000		1,8
2	18.9.06	15:23	18,057	433,4	2830	0,157	5,6
3	6.10.06	16:14	18,051	866,6	2490	0,138	2,2
4	9.10.06				0		
5	11.10.06				0		
6	26.10.06	13:41	19,879	1343,7	60	0,003	66,0
7	2.11.06	11:43	6,918	1509,7	190	0,027	44,1
8	13.11.06	12:30	11,033	1774,5	160	0,015	46,2
9	15.11.06	9:33	1,877	1819,5	80	0,043	26,5
10	17.11.06	13:29	2,166	1871,5	90	0,042	16,4
11	20.11.06	10:44	2,883	1940,7	170	0,059	13,3
12	23.11.06	8:11	2,894	2010,2	10000	3,455	0,2
13	25.11.06	9:48	2,067	2059,8	10000	4,838	pmd
14	27.11.06	9:07	1,972	2107,1	10000	5,071	pmd
15	29.11.06	11:42	2,108	2157,7	8300	3,937	pmd
16	6.12.06	12:36	7,038	2326,6	3490	0,496	0,5
17	13.12.06	11:25	6,951	2493,4	10000	1,439	pmd
18	4.1.07	14:02	22,109	3024,0	10000	0,452	0,3

Opomba: * Čas med posameznimi vzorčenji.

** Čas posameznega vzorčenja od prvega vzorčenja



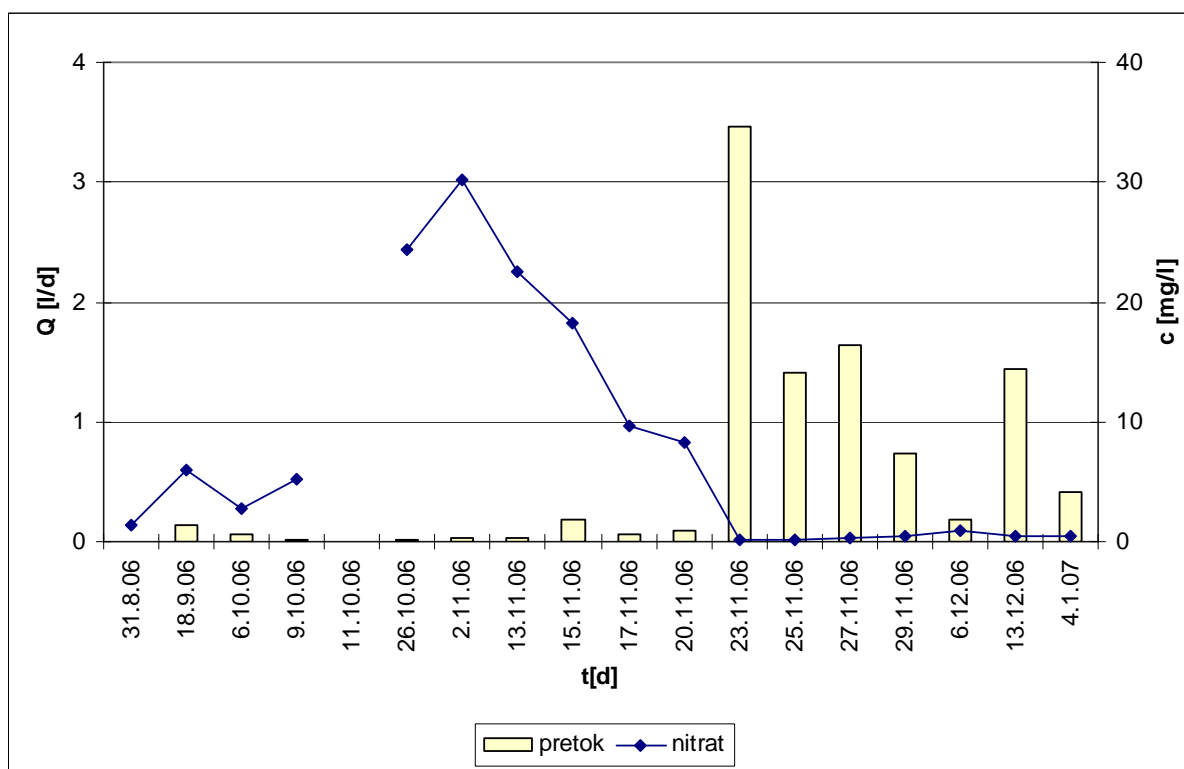
Slika 31: Pretoki in koncentracije nitratov v vodi na MM11

Tabela 20: Volumni, pretoki in koncentracije nitratov v vodi na MM12

serija	datum	ura	čas [d] *	čas [h] **	V [ml]	Q [l/d]	c[mg/l]
1	31.8.06	14:04			10000		1,4
2	18.9.06	15:28	18,058	433,4	2460	0,136	6,0
3	6.10.06	16:20	18,036	866,3	1240	0,069	2,8
4	9.10.06	15:26	2,963	937,4	60	0,020	5,2
5	11.10.06				0		
6	26.10.06	13:44	16,929	1343,7	210	0,012	24,3
7	2.11.06	11:46	6,918	1509,7	220	0,032	30,2
8	13.11.06	12:34	11,033	1774,5	280	0,025	22,5
9	15.11.06	9:29	1,872	1819,4	330	0,176	18,3
10	17.11.06	13:26	2,165	1871,4	130	0,060	9,7
11	20.11.06	10:41	2,885	1940,6	170	0,086	8,2
12	23.11.06	8:07	2,983	2010,1	10000	3,457	0,2
13	25.11.06	9:42	2,066	2059,6	2910	1,409	pmd
14	27.11.06	9:01	1,972	2107,0	3220	1,633	0,3
15	29.11.06	11:39	2,110	2157,6	1550	0,735	0,4
16	6.12.06	12:33	7,038	2326,5	1300	0,185	0,9
17	13.12.06	11:21	6,950	2493,3	10000	1,439	0,4
18	4.1.07	13:56	22,108	3023,9	9200	0,416	0,5

Opomba: * Čas med posameznimi vzorčenji.

** Čas posameznega vzorčenja od prvega vzorčenja



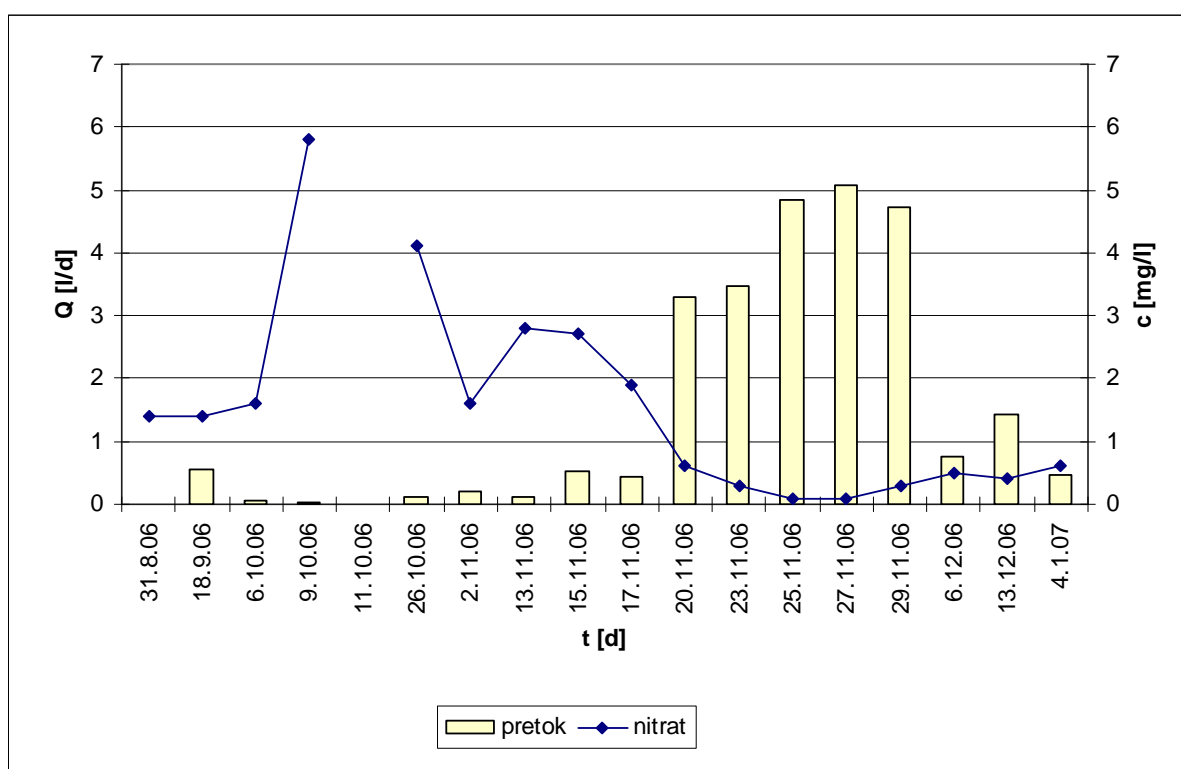
Slika 32: Pretoki in koncentracije nitratov v vodi na MM12

Tabela 21: Volumni, pretoki in koncentracije nitratov v vodi na MM13

serija	datum	ura	čas [d] *	čas [h] **	V [ml]	Q [l/d]	c [mg/l]
1	31.8.06	14:08			10000		1,4
2	18.9.06	15:34	18,060	433,4	10000	0,554	1,4
3	6.10.06	16:24	18,035	866,3	1130	0,063	1,6
4	9.10.06	15:29	2,962	937,4	60	0,020	5,8
5	11.10.06				0	0,000	
6	26.10.06	13:46	16,928	1343,6	1930	0,114	4,1
7	2.11.06	11:50	6,920	1509,7	1380	0,199	1,6
8	13.11.06	12:37	11,033	1774,5	1410	0,128	2,8
9	15.11.06	9:25	1,867	1819,3	980	0,525	2,7
10	17.11.06	13:22	2,165	1871,2	920	0,425	1,9
11	20.11.06	10:35	2,884	1940,5	9500	3,294	0,6
12	23.11.06	8:01	2,893	2009,9	10000	3,457	0,3
13	25.11.06	9:36	2,070	2059,6	10000	4,831	pmd
14	27.11.06	8:55	1,967	2106,8	10000	5,084	pmd
15	29.11.06	11:36	2,112	2157,5	10000	4,735	0,3
16	6.12.06	12:30	7,038	2326,4	5320	0,756	0,5
17	13.12.06	11:18	6,950	2493,2	10000	1,439	0,4
18	4.1.07	13:51	22,106	3023,7	10000	0,452	0,6

Opomba: * Čas med posameznimi vzorčenji.

** Čas posameznega vzorčenja od prvega vzorčenja



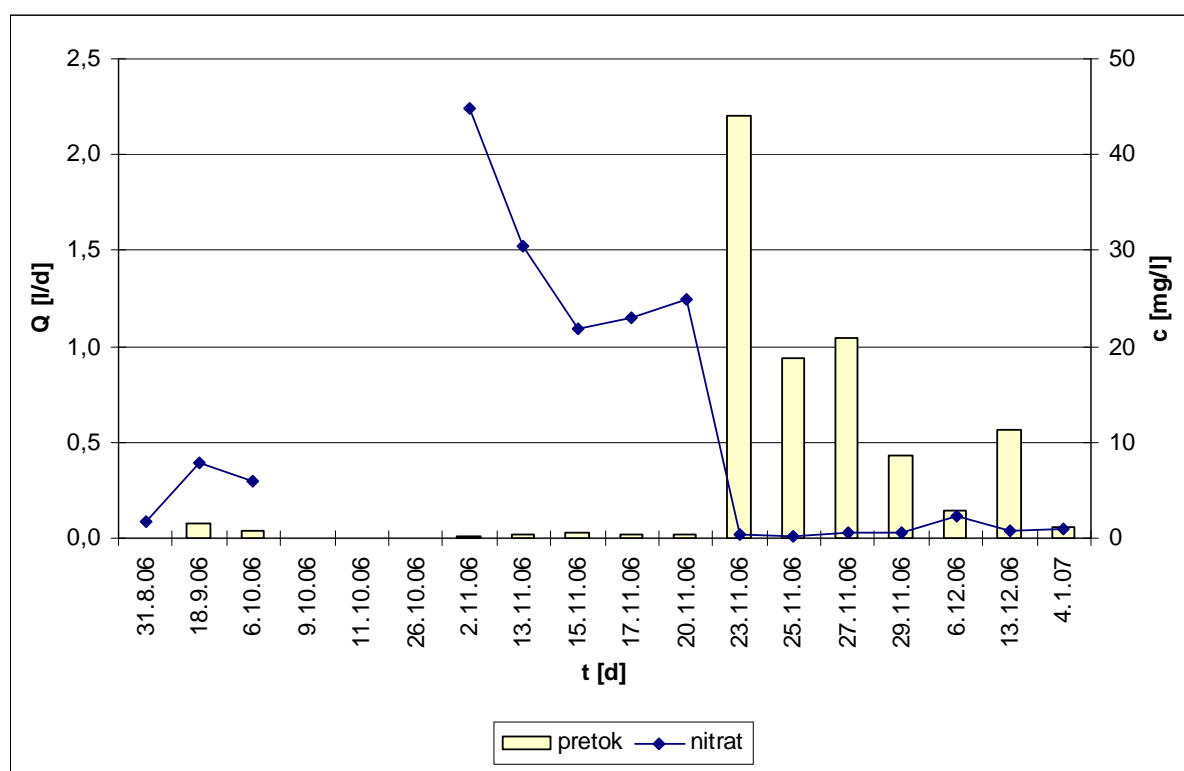
Slika 33: Pretoki in koncentracije nitratov v vodi na MM13

Tabela 22: Volumni, pretoki in koncentracije nitratov v vodi na MM14

serija	datum	ura	čas [d] *	čas [h] **	V [ml]	Q [l/d]	c [mg/l]
1	31.8.06	14:11			10000		1,8
2	18.9.06	15:38	18,060	433,5	1450	0,080	7,8
3	6.10.06	16:30	18,036	866,3	630	0,035	6,0
4	9.10.06				0		
5	11.10.06				0		
6	26.10.06				0		
7	2.11.06	11:54	26,808	1509,7	180	0,007	44,9
8	13.11.06	12:41	11,033	1774,5	190	0,017	30,4
9	15.11.06	9:22	1,862	1819,2	50	0,027	21,9
10	17.11.06	13:19	2,165	1871,1	50	0,023	22,9
11	20.11.06	10:31	2,883	1940,3	60	0,021	24,9
12	23.11.06	7:54	2,891	2009,7	6370	2,203	0,3
13	25.11.06	9:31	2,067	2059,3	1940	0,939	0,2
14	27.11.06	8:49	1,971	2106,6	2060	1,045	0,5
15	29.11.06	11:32	2,113	2157,4	920	0,435	0,5
16	6.12.06	12:26	7,038	2326,3	1000	0,142	2,3
17	13.12.06	11:12	6,949	2493,0	3940	0,567	0,7
18	4.1.07	13:47	22,108	3023,6	1240	0,056	0,9

Opomba: * Čas med posameznimi vzorčenji.

** Čas posameznega vzorčenja od prvega vzorčenja



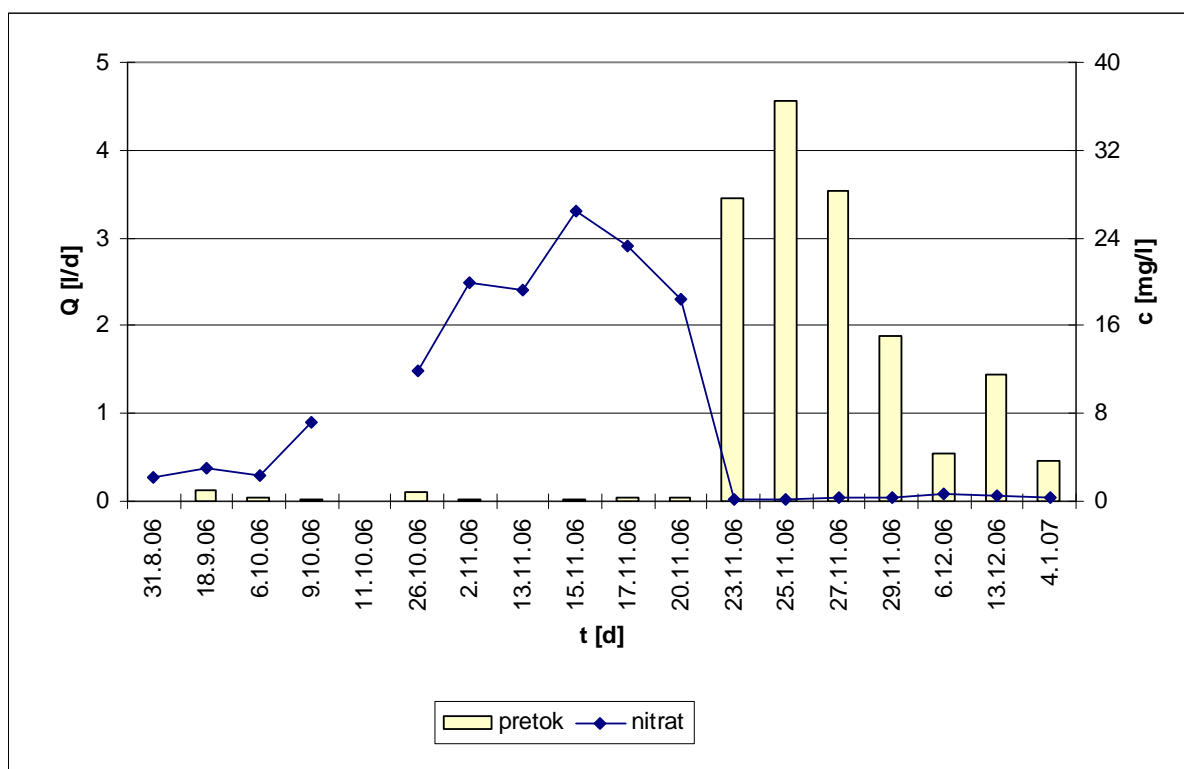
Slika 34: Pretoki in koncentracije nitratov v vodi na MM14

Tabela 23: Volumni, pretoki in koncentracije nitratov v vodi na MM15

serija	datum	ura	čas [d] *	čas [h] **	V [ml]	Q [l/d]	c [mg/l]
1	31.8.06	14:15			10000		2,1
2	18.9.06	15:43	18,061	433,5	2290	0,127	3,0
3	6.10.06	16:34	18,035	866,3	820	0,045	2,3
4	9.10.06	15:32	2,971	937,6	40	0,013	7,2
5	11.10.06				0		
6	26.10.06	13:52	16,917	1343,6	1770	0,105	11,8
7	2.11.06	11:57	6,920	1509,7	180	0,026	19,9
8	13.11.06	12:45	11,033	1774,5	80	0,007	19,3
9	15.11.06	9:19	1,857	1819,1	50	0,027	26,5
10	17.11.06	13:16	2,165	1871,0	70	0,032	23,3
11	20.11.06	10:27	2,883	1940,2	120	0,042	18,4
12	23.11.06	7:50	2,891	2009,6	10000	3,459	0,2
13	25.11.06	9:23	2,065	2059,1	9400	4,552	0,2
14	27.11.06	8:42	1,972	2106,5	6970	3,534	0,3
15	29.11.06	11:27	2,115	2157,2	3980	1,882	0,3
16	6.12.06	12:22	7,038	2326,1	3790	0,539	0,7
17	13.12.06	11:07	6,943	2492,8	10000	1,440	0,5
18	4.1.07	13:42	22,113	3023,5	10000	0,452	0,4

Opomba: * Čas med posameznimi vzorčenji.

** Čas posameznega vzorčenja od prvega vzorčenja



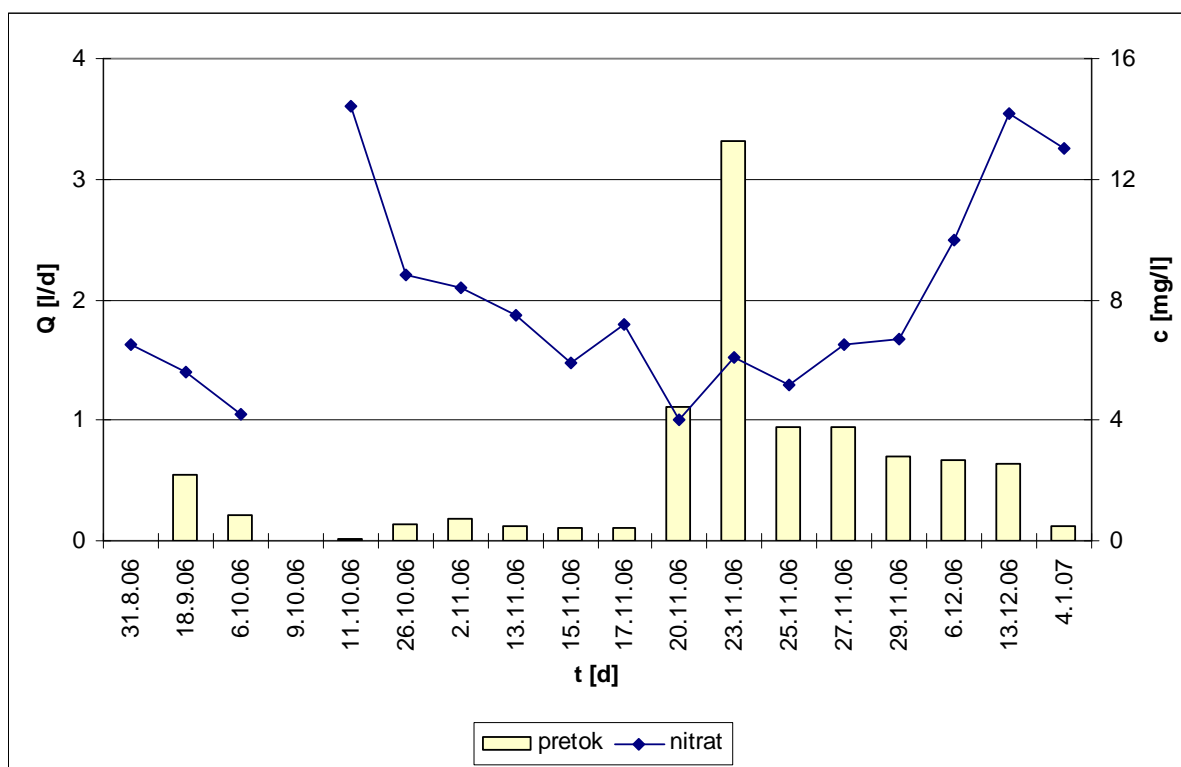
Slika 35: Pretoki in koncentracije nitratov v vodi na MM15

Tabela 24: Volumni, pretoki in koncentracije nitratov v vodi na MM27

serija	datum	ura	čas [d] *	čas [h] **	V [ml]	Q [l/d]	c [mg/l]
1	31.8.06	14:22			10000		6,5
2	18.9.06	15:52	18,063	433,5	10000	0,554	5,6
3	6.10.06	16:38	18,032	866,3	3890	0,216	4,2
4	9.10.06				0		
5	11.10.06	12:57	4,972	985,6	60	0,012	14,4
6	26.10.06	13:58	14,917	1343,6	1930	0,129	8,8
7	2.11.06	12:01	6,919	1509,7	1310	0,189	8,4
8	13.11.06	12:48	11,033	1774,4	1300	0,118	7,5
9	15.11.06	9:16	1,853	1818,9	210	0,113	5,9
10	17.11.06	13:13	2,165	1870,9	220	0,102	7,2
11	20.11.06	10:22	2,881	1940,0	3220	1,118	4,0
12	23.11.06	7:43	2,890	2009,4	9600	3,322	6,1
13	25.11.06	9:15	2,064	2058,9	1940	0,940	5,2
14	27.11.06	8:35	1,972	2106,2	1870	0,948	6,5
15	29.11.06	11:24	2,117	2157,0	1490	0,704	6,7
16	6.12.06	12:17	7,037	2325,9	4760	0,676	10,0
17	13.12.06	11:01	6,947	2492,7	4450	0,641	14,2
18	4.1.07	13:37	22,108	3023,3	2710	0,123	13,0

Opomba: * Čas med posameznimi vzorčenji.

** Čas posameznega vzorčenja od prvega vzorčenja



Slika 36: Pretoki in koncentracije nitratov v vodi na MM27

Priloga I

Rezultati analize izotopske sestave celokupnega dušika v vzorcih vode

Tabela 25: Rezultati analize izotopske sestave celokupnega dušika v vzorcih vode na MM2, MM3, MM4, MM5, MM6

datum	MM2		MM3		MM4		MM5		MM6	
	$\delta^{15}\text{N}$ [‰]	std [‰]	$\delta^{15}\text{N}$ [‰]	std [‰]	$\delta^{15}\text{N}$ [‰]	std [‰]	$\delta^{15}\text{N}$ [‰]	std [‰]	$\delta^{15}\text{N}$ [‰]	std [‰]
31.8.06					6,7	0,3	11,4	0,2	2,2	0,1
18.9.06	-1,2	0,2	-4,1	0,2	2,5	0,2	8,8	0,1	-3,5	0,3
6.10.06	0,8	0,1	-1,5	0,1	-1,8	0,2	2,5	0,2	-5,2	0,4
9.10.06					-3,1	0,1	0,9	0,3	-5,2	0,1
11.10.06					7,8	0,2			-1,4	0,1
26.10.06	-0,5	0,1			-0,6	0,1			-5,4	0,1
2.11.06					-1,5	0,4			-5,3	0,2
13.11.06					0,4	0,1	0,2	0,1	-7,2	0,4
15.11.06					-0,4	0,1			-6,3	0,1
17.11.06					-0,2	0,2	-1,5	0,2		
20.11.06					5,2	0,1	2,6	0,1	-6,9	0,4
23.11.06	-0,8	0,1	0,3	0,2	2,3	0,1	4,0	0,3	-7,3	0,4
25.11.06	-0,1	0,1			5,5	0,2	4,4	0,2	3,2	0,4
27.11.06					2,8	0,2	5,5	0,4	0,4	0,2
29.11.06					3,7	0,2	3,6	0,2		
6.12.06					2,7	0,1	2,9	0,2	3,3	0,2
13.12.06	-0,9	0,2	3,5	0,2					-2,7	0,4
4.1.07	0,4	0,2	3,7	0,3	1,6	0,1	6,2	0,2	0,3	0,2

Tabela 26: Rezultati analize izotopske sestave celokupnega dušika v vzorcih vode na MM7, MM8, MM9, MM10, MM11

datum	MM7		MM8		MM9		MM10		MM11	
	$\delta^{15}\text{N}$ [‰]	std [‰]	$\delta^{15}\text{N}$ [‰]	std [‰]	$\delta^{15}\text{N}$ [‰]	std [‰]	$\delta^{15}\text{N}$ [‰]	std [‰]	$\delta^{15}\text{N}$ [‰]	std [‰]
31.8.06					1,8	0,1	-4,1	0,2		
18.9.06			-1,0	0,1	1,3	0,3	3,2	0,3	2,4	0,1
6.10.06	4,2	0,2	-0,6	0,1	1,0	0,3	3,0	0,2	-1,5	0,1
9.10.06				0,0						
11.10.06										
26.10.06			-3,2	0,2						
2.11.06	-4,3	0,5	-3,5	0,2						
13.11.06			-5,7	0,3						
15.11.06			-5,3	0,1						
17.11.06			-4,0	0,1			0,4	0,3		
20.11.06			-5,3	0,1						
23.11.06	3,5	0,4	1,5	0,2	-1,6	0,2	-1,1	0,1	-3,5	0,3
25.11.06	0,7	0,2	-2,2	0,2	-0,7	0,1	1,4	0,1	-3,6	0,2
27.11.06					-0,5	0,1	2,5	0,1	-2,3	0,2
29.11.06			-5,2	0,4	-2,4	0,3	-3,8	0,4	0,5	0,2
6.12.06	0,4	0,2	-6,1	0,2	-1,4	0,1	-1,9	0,1	1,5	0,3
13.12.06			-1,7	0,4					1,3	0,1
4.1.07	4,2	0,2	-3,0	0,2						

Tabela 27: Rezultati analize izotopske sestave celokupnega dušika v vzorcih vode na MM12, MM13, MM14, MM15, MM27

datum	MM12		MM13		MM14		MM15		MM27	
	$\delta^{15}\text{N}$ [‰]	std [‰]	$\delta^{15}\text{N}$ [‰]	std [‰]	$\delta^{15}\text{N}$ [‰]	std [‰]	$\delta^{15}\text{N}$ [‰]	std [‰]	$\delta^{15}\text{N}$ [‰]	std [‰]
31.8.06	4,2	0,2			2,2	0,1	-0,5	0,1	1,0	0,1
18.9.06	-2,1	0,2			-1,1	0,1	0,9	0,2	0,0	0,2
6.10.06	-6,3	0,4	2,8	0,3	-0,5	0,1	-2,1	0,1	-0,3	0,1
9.10.06							-2,3	0,1		
11.10.06										
26.10.06	-2,9	0,4	-0,3	0,1					-0,4	0,1
2.11.06			-1,3	0,2					-0,2	0,2
13.11.06			-2,2	0,3					-4,5	0,1
15.11.06			-1,3	0,2						
17.11.06			-3,3	0,1						
20.11.06			-2,8	0,4					-4,7	0,1
23.11.06			-0,8	0,3	0,4	0,1	4,5	0,1	7,0	0,1
25.11.06									-3,4	0,1
27.11.06			8,0	0,1	2,1	0,1	1,9	0,4	-3,1	0,4
29.11.06			0,9	0,1			-3,9	0,1	-3,0	0,1
6.12.06			-1,9	0,2	-1,5	0,3	-6,0	0,1	-3,0	0,2
13.12.06					-2,9	0,1	0,4	0,1	-0,4	0,1
4.1.07			-0,4	0,3	1,8	0,2	-0,2	0,2	-2,5	0,3