

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

*Janova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si*



Univerzitetni program Vodarstvo in
komunalno inženirstvo

Kandidat:

Jure Bogataj

Problematika nizkih pretokov Kamniške Bistrice med Kamnikom in Domžalami

Diplomska naloga št.: 127

Mentor:
prof. dr. Mitja Brilly

Somentor:
asist. dr. Simon Rusjan

Ljubljana, 24. 9. 2009

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA:

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **JURE BOGATAJ** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:
**»PROBLEMATIKA NIZKIH PRETOKOV KAMNIŠKE BISTRICE MED
KAMNIKOM IN DOMŽALAMI«.**

Izjavljam, da se odpovedujem vsem materialnim pravicam iz dela za potrebe elektronske
separatoteke FGG.

Ljubljana, 16. 9. 2009

.....

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM

| | |
|-------------------------|--|
| UDK: | 556.167+556.32(043.2) |
| Avtor: | Jure Bogataj |
| Mentor: | prof. dr. Mitja Brilly |
| Somentor: | asist. dr. Simon Rusjan |
| Naslov: | Problematika nizkih pretokov Kamniške Bistrice med Kamnikom in Domžalami |
| Obseg in oprema: | 123 str., 27 pregl., 45 sl., 10 en. |
| Ključne besede: | Kamniška Bistrica, mlinščica, zajem vode, nizki pretoki, podtalnica, infiltracija, zrnavostna analiza, prodišče |

IZVLEČEK

Reka Kamniška Bistrica je od nekdaj pomembna pogonska sila, ki s svojim sistemom mlinščic predstavlja pomembno ekološko in spomeniško funkcijo. Na 33 kilometrih struge je bilo zgrajenih kar 11 mlinščic. Posledično je voda na posameznih odsekih tudi dvakrat alocirana iz glavne struge. Posebej pereč je problem odvzemov dveh največjih mlinščic, Radomeljske in Homške, ki vzporedno tečeta na kar petih kilometrih. Poleg obeh odvzemov pa se na tem delu voda dodatno izgublja v podtalje.

Cilj diplomske naloge je bil reševanje problematike nizkih pretokov Kamniške Bistrice na območju obeh največjih mlinščic, torej med jezom Volčji Potok in sotočjem Kamniške Bistrice z Račo. Ugotoviti je bilo potrebno količino odvzema posamezne mlinščice in določiti izgube vode tako v glavni strugi kot na obeh mlinščicah zaradi infiltracije v podtalnico. Ker je mreža vodomernih postaj na porečju Kamniške Bistrice med Kamnikom in Domžalami zelo redka, sem izvedel več dodatnih meritev pretokov. Izvedel sem tudi linijsko analizo in meritve infiltracije na treh prodiščih ter izmeril infiltracijo struge z mini infiltrometrom. Na podlagi meritev sem določil količino izgubljene vode in koeficient infiltracije na posameznem odseku struge.

Rezultati so pokazali, da je problem nizkih vodostajev Kamniške Bistrice, na odseku med jezom Volčji Potok in sotočjem z Račo, vezan predvsem na brezobzirno manevriranje z zapornicami obeh mlinščic, ki v času manjših pretokov skupaj odvezemata večji del vode iz glavne struge. Dodatno se na tem odseku v času nizkih vodostajev infiltrira v podtalnico preko 270 l/s vode, kar v izrednih razmerah lahko doprinese bistven delež k popolni presušitvi struge.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION

- UDC:** 556.167+556.32(043.2)
- Author:** Jure Bogataj
- Supervisor:** Prof. Mitja Brilly, PhD
- Co-supervisor:** Simon Rusjan, PhD
- Title:** The Issue of Low Flows of the Kamniška Bistrica River Between Kamnik and Domžale
- Notes:** 123 p., 27 tab., 45 fig., 10 eq.
- Key words:** Kamniška Bistrica, millrace, water capture, low flows, groundwater, infiltration, grain analysis, bar

ABSTRACT

The Kamniška Bistrica river has always been an important source of water power and has an important ecological function as well as being of historical value due to its system of millraces. On 33 kilometres of the river channel, up to 11 millraces were built. Consequently the water from the main channel is allocated twice at individual sections. Particularly severe is the problem of water intakes for the two largest millraces, namely the Homška Mlinščica and the Radomejska Mlinščica, which have a parallel flow with main channel for over 5 kilometres. Besides these two intakes, additional water is lost into the subsoil in the same section.

The aim of the diploma paper has been to resolve the question of low flows of the Kamniška Bistrica in the area of both parallel millrace channels; that is, between the Volčji Potok dam and the confluence of the Kamniška Bistrica with the Rača river. It was necessary to determine the water intake amount of individual millraces as well as the water loss due to infiltration into groundwater on all of the three channels. As the network of hydrometric stations in the Kamniška Bistrica river basin between Kamnik and Domžale is in poor distribution, I performed several additional flow measurements. I also performed a line analysis and infiltration measurements on the three bars and measured the level of infiltration in the river channel with a mini infiltrometer. Based on the measurements, I determined the amount of water loss and the coefficient of infiltration in each section of the channel.

The results showed that the problem of low water levels of the Kamniška Bistrica in the section between the Volčji Potok dam and the confluence with the Rača is mainly linked to the irresponsible maneuvering of the gates at intakes of the both millraces, which together take in the bulk of the water. In this affected section, additional water amounting at over 270 l/s infiltrates into the groundwater during the low flows. In extreme circumstances infiltration can play a significant role in the total drying up of the main channel of the Kamniška Bistrica.

ZAHVALA

Za pomoč pri nastajanju diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju prof. dr. Mitji Brillyju in somentorju asist. dr. Simonu Rusjanu.

Zahvalil bi se tudi naslednjim ustanovam za pomoč pri pridobivanju podatkov:

- Agenciji Republike Slovenije za okolje,
- ribiški družini »Bistrica« Domžale,
- Hidrotehnik Vodnogospodarskemu podjetju, d.d..

Hvala tudi Mateji, ki mi je nudila pomoč pri terenskemu delu in staršema, ki sta mi skozi leta študija stala ob strani.

KAZALO VSEBINE

| | | |
|--------------|---|-----------|
| 1 | UVOD | 1 |
| 2 | POVODJE KAMNIŠKE BISTRICE | 3 |
| 2.1 | Raba vode | 3 |
| 2.2 | Značilnosti povodja | 5 |
| 2.3 | Hidrografske in geološke lastnosti povodja Kamniške Bistrice | 6 |
| 3 | SISTEMA RADOMELJSKE IN HOMŠKE MLINŠČICE | 8 |
| 3.1 | Zajema vode | 8 |
| 3.2 | Potek trase mlinščic | 10 |
| 3.3 | Raba vode in dovoljeni odvzem mlinščic | 13 |
| 3.4 | Problematika količine odvzema vode | 16 |
| 4 | ANALIZA NIZKIH PRETOKOV | 19 |
| 4.1 | Vodomerne postaje na porečju Kamniške Bistrice med Kamnikom in Domžalami | 19 |
| 4.2 | Analiza obdobjnih hidroloških podatkov do leta 2005 | 22 |
| 4.3 | Določitev krivulj trajanja pretoka za vodomerni postaji Kamnik I in Vir | 25 |
| 4.4 | Analiza hidrološkega stanja med 1. septembrom in 13. oktobrom 2008 | 29 |
| 5 | ANALIZA PODZEMNIH VODA | 35 |
| 5.1 | Mreža postaj za meritve podzemne vode na porečju Kamniške Bistrice med Kamnikom in Domžalami | 35 |
| 5.2 | Analiza obdobjnih nihanj gladine podzemne vode | 37 |
| 5.3 | Nihanje gladine podtalnice med 1. septembrom in 13. oktobrom 2008 | 43 |
| 6 | PRIMERJAVA GLADIN PODTALNICE IN KAMNIŠKE BISTRICE | 46 |
| 7 | MERITVE | 50 |
| 7.1 | Meritve pretokov | 50 |
| 7.1.1 | Merilna oprema | 50 |
| 7.1.2 | Obdobje meritev | 56 |

| | | |
|----------------|---|------------|
| 7.1.3 | Rezultati meritev in analiza | 57 |
| 7.1.3.1 | Radomeljska mlinščica | 59 |
| 7.1.3.2 | Homška mlinščica | 65 |
| 7.1.3.3 | Glavna struga | 69 |
| 7.1.4 | Primerjava izmerjenih pretokov s podatki iz merilne postaje Kamnik I | 76 |
| 7.1.5 | Izračun koeficienta infiltracije na podlagi izmerjenih sprememb v pretoku | 77 |
| 7.2 | Določitev granulometrijske sestave prodišč z linijsko analizo krovnega sloja | 84 |
| 7.2.1 | Merilna oprema | 84 |
| 7.2.2 | Lokacije prodišč | 85 |
| 7.2.3 | Rezultati meritev | 86 |
| 7.2.4 | Primerjava prodišč | 98 |
| 7.3 | Določitev koeficientov infiltracije na prodiščih | 99 |
| 7.3.1 | Merilna oprema | 101 |
| 7.3.2 | Lokacije prodišč | 101 |
| 7.3.3 | Rezultati meritev in izračun koeficienta infiltracije | 102 |
| 7.3.4 | Komentar rezultatov | 109 |
| 7.4 | Meritve infiltracije v strugi | 109 |
| 7.4.1 | Merilna oprema | 110 |
| 7.4.2 | Rezultati in izračun koeficienta infiltracije | 112 |
| 7.5 | Primerjava koeficientov infiltracije | 116 |
| 8 | ZAKLJUČEK | 117 |
| 9 | PREDLAGANE REŠITVE | 119 |
| VIRI | | 120 |

KAZALO PREGLEDNIC

| | |
|--|----|
| Preglednica 1: Podeljena vodna dovoljenja in koncesije za zajem vode na Radomeljski mlinščici (sledijo si od odvzema dolvodno) (vir: ARSO, 2009) | 14 |
| Preglednica 2: Podeljena vodna dovoljenja in koncesije za zajem vode na Homški mlinščici (sledijo si od odvzema dolvodno) (vir: ARSO, 2009) | 15 |
| Preglednica 3: Osnovni podatki o vodomernih postajah na porečju Kamniške Bistrice med Kamnikom in Domžalami (vir: ARSO, 2008) | 20 |
| Preglednica 4: Podatki o pretokih različnih trajanj za merilni postaji Kamnik I in Vir | 28 |
| Preglednica 5: Osnovni podatki delujočih merilnih postajah na porečju Kamniške Bistrice med Kamnikom in Domžalami (vir: ARSO, 2009) | 36 |
| Preglednica 6: Primerjava hitrosti nihanj na posamezni merilni postaji | 43 |
| Preglednica 7: Primerjava gladin podtalnice z dnom struge oziroma gladino nizkih voda Kamniške Bistrice | 48 |
| Preglednica 8: Podatki o merilnih mestih na Radomeljski mlinščici | 59 |
| Preglednica 9: Rezultati meritev pretokov na Radomeljski mlinščici | 61 |
| Preglednica 10: Izračun izgub zaradi pronicanja vode iz struge Radomeljske mlinščice v podtalnico | 63 |
| Preglednica 11: Podatki o merilnih mestih na Homški mlinščici | 65 |
| Preglednica 12: Rezultati meritev pretokov na Homški mlinščici | 66 |
| Preglednica 13: Izračun izgub zaradi pronicanja vode iz struge Homške mlinščice v podtalnico | 68 |
| Preglednica 14: Podatki o merilnih mestih na Kamniški Bistrici s pritoki in odvzemi na odseku med Kamnikom in Domžalami | 70 |
| Preglednica 15: Rezultati meritev pretokov na Kamniški Bistrici s pritoki in odvzemi na odseku med Kamnikom in Domžalami | 72 |
| Preglednica 16: Izračun izgub zaradi pronicanja vode iz struge Kamniške Bistrice v podtalnico | 74 |
| Preglednica 17: Primerjava izmerjenih pretokov z objavljenimi na spletnih straneh ARSO in odčitki na lati na merilni postaji Kamnik I | 77 |

| | |
|--|-----|
| Preglednica 18: Izračun koeficienta infiltracije na posameznem odseku struge Radomeljske mlinščice in izračun povprečnega koeficienta infiltracije za celotno strugo | 78 |
| Preglednica 19: Izračun koeficienta infiltracije na posameznem odseku struge Homške mlinščice in izračun povprečnega koeficienta infiltracije za celotno strugo | 80 |
| Preglednica 20: Izračun koeficienta infiltracije na posameznem odseku struge Kamniške Bistrice in izračun povprečnega koeficienta infiltracije za celotno strugo | 82 |
| Preglednica 21: Rezultati meritev na prodišču 1 in preračun vsotne krivulje presejka | 89 |
| Preglednica 22: Rezultati meritev na prodišču 2 in preračun vsotne krivulje presejka | 93 |
| Preglednica 23: Rezultati meritev na prodišču 3 in preračun vsotne krivulje presejka | 97 |
| Preglednica 24: Rezultati meritev infiltracije na prodišču 2 | 102 |
| Preglednica 25: Rezultati meritev infiltracije na prodišču 3 | 104 |
| Preglednica 26: Rezultati meritev infiltracije na prodišču 4 | 107 |
| Preglednica 27: Opis lokacij merjenja in povzetek rezultatov izračuna koeficienta infiltracije | 113 |

KAZALO GRAFIKONOV

| | |
|--|----|
| Grafikon 1: Najmanjši izmerjeni dnevni letni pretoki Kamniške Bistrice na vodomernih postajah Kamnik I in Vir | 23 |
| Grafikon 2: Srednji letni pretoki Kamniške Bistrice na vodomernih postajah Kamnik I in Vir | 24 |
| Grafikon 3: Najmanjši dnevni mesečni pretoki v letu 2003 na vodomernih postajah Kamnik I in Vir | 25 |
| Grafikon 4: Povprečna krivulja trajanja pretokov med leti 1991 in 2005 in krivulja trajanja za leto 1993 na vodomerni postaji Kamnik I | 26 |
| Grafikon 5: Povprečna krivulja trajanja pretokov med leti 1991 in 2005 in krivulja trajanja za leto 1993 na vodomerni postaji Vir | 26 |
| Grafikon 6: Povprečna krivulja trajanja pretokov med leti 1991 in 2005 in krivulja trajanja za leto 1993 na vodomerni postaji Kamnik I za pretoke do $10 \text{ m}^3/\text{s}$ | 27 |
| Grafikon 7: Povprečna krivulja trajanja pretoka Kamniške Bistrice med leti 1991 in 2005 in krivulja trajanja za leto 1993 na vodomerni postaji Vir za pretoke do $10 \text{ m}^3/\text{s}$ | 27 |
| Grafikon 8: Razlika povprečnih krivulj trajanja pretokov (od leta 1991 do leta 2005) med merilnima postajama Kamnik I in Vir | 28 |
| Grafikon 9: Primerjava povprečnih dnevni pretokov med 1. septembrom in 13. oktobrom leta 2008 s povprečnimi najmanjšimi mesečnimi dnevnimi vrednostmi v septembru in oktobru med leti 1991 in 2005 - na merilni postaji Kamnik I | 31 |
| Grafikon 10: Primerjava povprečnih dnevni pretokov med 1. septembrom in 13. oktobrom leta 2008 s povprečnimi najmanjšimi mesečnimi dnevnimi vrednostmi v septembru in oktobru med leti 1991 in 2005 - na merilni postaji Vir | 32 |
| Grafikon 11: Nihanje gladine podtalnice med 1. januarjem 1999 in 31. decembrom 2005 na merilni postaji v Podgorju | 38 |
| Grafikon 12: Nihanje gladine podtalnice med 1. januarjem 1990 in 31. decembrom 2005 na merilnih postajah Mengeš, Preserje in Zgornje Jarše | 39 |

| | |
|---|-----|
| Grafikon 13: Nihanje gladine podtalnice med 1. januarjem 2001 in 31. decembrom 2005 na merilni postaji Študa | 42 |
| Grafikon 14: Nihanje gladine podtalnice med 31. avgustom in 15. oktobrom 2008 na merilni postaji Preserje ter primerjava z večletnim povprečjem | 44 |
| Grafikon 15: Nihanje gladine podtalnice med 1. septembrom in 13. oktobrom 2008 na merilni postaji Zgornje Jarše ter primerjava z večletnim povprečjem | 45 |
| Grafikon 16: Poenostavljen vzdolžni profil dna Kamniške Bistrice in gladin podtalnice | 48 |
| Grafikon 17: Nihanje pretokov Kamniške Bistrice na merilni postaji Kamnik I v času meritev pretokov v strugi Kamniške Bistrice | 57 |
| Grafikon 18: Spreminjanje merjenih pretokov po osi struge Radomeljske mlinščice | 62 |
| Grafikon 19: Vsota sprememb pretokov po osi struge Radomeljske mlinščice | 64 |
| Grafikon 20: Spreminjanje merjenih pretokov po osi struge Homške mlinščice | 67 |
| Grafikon 21: Vsota sprememb pretokov po osi struge Homške mlinščice | 69 |
| Grafikon 22: Spreminjanje merjenih pretokov po osi struge Kamniška Bistrice | 73 |
| Grafikon 23: Vsota sprememb pretokov po osi struge Kamniške Bistrice | 75 |
| Grafikon 24: Primerjava pretokov določenih na merilni postaji Kamnik I z izmerjenimi pretoki | 76 |
| Grafikon 25: Spreminjanje povprečnega koeficienta infiltracije v strugi Radomeljske mlinščice po času | 79 |
| Grafikon 26: Spreminjanje povprečnega koeficienta infiltracije v strugi Homške mlinščice po času | 81 |
| Grafikon 27: Spreminjanje povprečnega koeficienta infiltracije v strugi Kamniške Bistrice po času | 83 |
| Grafikon 28: Vsotna krivulja prikazuje delež presejka v odvisnosti od premera zrn na prodišču 1 | 90 |
| Grafikon 29: Vsotna krivulja prikazuje delež presejka v odvisnosti od premera zrn na prodišču 2 | 94 |
| Grafikon 30: Vsotna krivulja prikazuje delež presejka v odvisnosti od premera zrn na prodišču 3 | 98 |
| Grafikon 31: Prikaz meritev infiltracije in približek s premico po stabilizaciji infiltracije na prodišču 2 | 103 |

| | |
|--|-----|
| Grafikon 32: Prikaz meritev infiltracije in približek s premico po stabilizaciji infiltracije na prodišču 3 | 105 |
| Grafikon 33: Prikaz meritev infiltracije in približek s premico po stabilizaciji infiltracije na prodišču 4 | 108 |
| Grafikon 34: Primerjava izračunanih koeficientov infiltracije iz meritev z mini infiltrimetrom | 114 |

KAZALO SLIK

| | |
|--|----|
| Slika 1: Presušena glavna struga dolvodno mostu na Viru (foto: Jeriček-Lakota, 25. 10. 2008) | 2 |
| Slika 2: Trasa struge Kamniške Bistrice (označeno temno sivo) in obravnavani odsek struge med Kamnikom in Domžalami (označeno rdeče) (vir: Atlas okolja, 2007) | 5 |
| Slika 3: Povodje Kamniške Bistrice z zbirnim območjem (označeno rdeče) | 7 |
| Slika 4: Radomeljski jez z levoobrežnim odvzemom z zapornicami in talnim izpustom v času nizkega vodostaja (foto: Bogataj, 28. 8. 2009) | 9 |
| Slika 5: Preliv Homškega jez z zapornico za talni izpust na sredini v času nizkih vodostajev dne 21. 8. 2009, (levo) in zapornica, ki regulira količino odvzete vode za mlinščico (desno) (foto: Bogataj, 2009) | 9 |
| Slika 6: Široka struga Radomljske mlinščice ob naselju Hudo (foto: Bogataj, 27. 8. 2009) | 11 |
| Slika 7: Razbremenilni kanal Pšate na mestu prečkanja struge Homške mlinščice (foto: Bogataj, 13. 6. 2009) | 12 |
| Slika 8: Vtok Homške mlinščice v pokrit kanal pod delom Domžal (foto: Bogataj, 13. 6. 2009) | 12 |
| Slika 9: Potek trase obeh mlinščic med Volčjim Potokom in Domžalami (vir: Atlas okolja, 2007) | 13 |
| Slika 10: Grafični prikaz lokacij, kjer so podeljena vodna dovoljenja in koncesije za zajem vode na obeh mlinščicah | 16 |
| Slika 11: Dolvodni pogled na polno strugo Radomeljske mlinščice in zapornico, ki regulira vtok v razbremenilni kanal pred naseljem Hudo v času zelo nizkih vodostajev Kamniške Bistrice (foto: Bogataj, 28. 8. 2009) | 18 |
| Slika 12: Merilna postaja Vir na Kamniški Bistrici (foto: Bogataj, 27. 8. 2009) | 20 |
| Slika 13: Limnigraf na vodomerni postaji Podrečje na Rači (foto: Bogataj, 28. 5. 2009) | 21 |
| Slika 14: Grafični prikaz lokacij vodomernih postaj na porečju Kamniške Bistrice med Kamnikom in Domžalami | 22 |
| Slika 15: Porazdelitev padavin v septembru 2008 (vir: Kobolt, 2008) | 29 |

| | |
|---|----|
| Slika 16: Primerjava količin v septembru 2008 z dolgoletnim septembrskim povprečjem (vir: Kobolt, 2008) | 30 |
| Slika 17: Odsek popolne izsušitve struge Kamniške Bistrice v dneh 28. septembra in 10. oktobra 2008 (označeno rjavo) | 34 |
| Slika 18: Merilni jašek za analizo stanja podtalnice (levo) in limnigraf (desno) (vir: ARSO, 2008) | 36 |
| Slika 19: Grafični prikaz lokacij delujočih merilnih postajah na porečju Kamniške Bistrice med Kamnikom in Domžalami (pod imenom posamezne postaje je napisana tudi kota "0" točke) | 37 |
| Slika 20: Vzdolžni prerez Kamniške Bistrice in gladine podtalnice (najvišje in najnižje izmerjene ter stanje na dan 28.9.2008) | 47 |
| Slika 21: Meritev pretokov na Homški mlinščici (levo) in meritev pretokov na Kamniški Bistrici (desno) (foto: Lunka, 6. 2009) | 50 |
| Slika 22: Fotografija sonde in merilnega instrumenta na posebnem stojalu (foto: Bogataj, 20. 7. 2009) | 52 |
| Slika 23: 2D/3D sonda in lega vzorčne prostornine (vir: http://ksh.fgg.uni-lj.si , 2009) | 53 |
| Slika 24: Za merjenje pretokov poleg merilnega instrumenta s sondo in stojalom potrebujemo tudi tračni meter in pritrdilna klina (foto: Bogataj, 20. 7. 2009) | 54 |
| Slika 25: Skica prečnega prereza (vir: http://ksh.fgg.uni-lj.si , 2009) | 54 |
| Slika 26: Tloris pravilne postavitve merilne sonde glede na smer toka vode (vir: http://ksh.fgg.uni-lj.si , 2009) | 56 |
| Slika 27: Lokacije merjenja pretokov | 58 |
| Slika 28: Meritev srednjega premera zrn pod vrvico pri linijski analizi prodišča (foto: Lunka, 1. 8. 2009) | 84 |
| Slika 29: Kljunasto merilo, šablona za določevanje velikosti zrn in klina z vrvico (foto: Bogataj, 2. 8. 2009) | 85 |
| Slika 30: Ortofoto posnetek lokacije prodišča 1 (vir: Atlas okolja, 2007) | 86 |
| Slika 31: Posnetek prodišča 1 z opravljanjem meritev (foto: Lunka, 1. 8. 2009) | 87 |
| Slika 32: Skica prodišča 1 z označenimi linijami, po katerih so bila merjena zrna | 88 |
| Slika 33: Ortofoto posnetek lokacije prodišča 2 (vir: Atlas okolja; ARSO, 2009) | 91 |
| Slika 34: Posnetek prodišča 2 (foto: Bogataj, 7. 8. 2009) | 91 |
| Slika 35: Skica prodišča 2 z označenimi linijami, po katerih so bila merjena zrna | 92 |

| | |
|--|-----|
| Slika 36: Ortofoto posnetek lokacije prodišča 3 (vir: Atlas okolja; ARSO, 2009) | 95 |
| Slika 37: Posnetek prodišča 3 (foto: Bogataj, 8. 8. 2009) | 95 |
| Slika 38: Skica prodišča 3 z označenimi linijami, po katerih so bila merjena zrna | 96 |
| Slika 39: Polnjenje zakopanega škatlastega okvirja (levo) in meritev infiltracije (desno) (foto: Lunka, 1. 8. 2009) | 99 |
| Slika 40: Oprema za merjenje infiltracije na prodiščih (foto: Bogataj, 2. 8. 2009) | 101 |
| Slika 41: Ortofoto posnetek lokacije prodišča 4 (vir: Atlas okolja; ARSO, 2009) | 106 |
| Slika 42: Izvajanje meritev na prodišču 4 (foto: Lunka, 1. 8. 2009) | 106 |
| Slika 43: Meritev infiltracije z mini disk infiltrometrom v strugi Kamniške Bistrice ob desni brežini (foto: Bogataj, 3. 9. 2009) | 109 |
| Slika 44: Slika mini disk infiltrometra z opisom posameznih delov (vir: Decagon Devices, 2005) | 111 |
| Slika 45: Lokacije merjenja infiltracije z mini disk infiltrometrom v strugi Kamniške Bistrice | 115 |

KAZALO PRILOG

| | |
|-----------|--|
| Priloga A | Primer izhodne datoteke s podatki o meritvah pretoka z merilcem pretočnih hitrosti SonTek FlowTracker Handheld ADV |
| Priloga B | Izračun koeficienta infiltracije iz rezultatov meritev z mini disk infiltrometrom |
| B1 | Merilno mesto 1 |
| B2 | Merilno mesto 2 |
| B3 | Merilno mesto 3 |
| B4 | Merilno mesto 4 |
| B5 | Merilno mesto 5 |
| B6 | Merilno mesto 6 |
| B7 | Merilno mesto 7 |
| B8 | Merilno mesto 8 |
| B9 | Merilno mesto 9 |

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

Okrajšave

| | |
|-------|---|
| mHE | mala hidroelektrarna |
| ARSO | Agencija Republike Slovenije za okolje |
| MOP | Ministrstvo za okolje in prostor |
| RS | Republika Slovenija |
| ICRO | Inštitut za celostni razvoj in okolje |
| USGS | United States Geological Survey (ameriška geološka raziskovalna agencija) |
| ISO | International Organization for Standardization (mednarodna organizacija za standarde) |
| ZVO-1 | Zakon o varstvu okolja |
| ZV-1 | Zakon o vodah |
| ADV | Acoustic Doppler Velocity Meter (akustični Dopplerjev merilec hitrosti) |
| LCD | liquid crystal display (zaslon s tekočimi kristali) |
| SNR | signal to noise ratio (razmerje med signalom in šumom) |
| ASP | Amebisovo skladišče podatkov |

Simboli

| Simbol | Opis | Enota |
|---------------|--|----------------------|
| H_i | globina vode na odseku i | m |
| A_i | površina odseka | m^2 |
| D_i | širina odseka | m |
| L_i | lokacija meritve | m |
| V_i | povprečna hitrost vode na odseku i | m/s |
| Q_i | pretok vode odseka i | m^3/s |
| Q | pretok vode | m^3/s |
| Q_s | srednji letni pretok vode | m^3/s |
| Q_{es} | najnižji ekološko sprejemljiv pretok vode | m^3/s |
| Q_{nk} | najmanjši letni pretok v času konic | m^3/s |
| d_{50} | premer zrna, od katerega je 50 procentni delež zrn plavin drobnejših | mm |
| d_{90} | premer zrna, od katerega je 90 procentni delež zrn plavin drobnejših | mm |
| I | infiltracija | cm |
| K_s, k | koeficient infiltracije | cm/s |
| ΔQ | sprememba pretoka vode | m^3/s |
| A | naklon premice ustaljene infiltracije na grafikonu $I(t)$ | cm/s |
| c | presekok premice ustaljene infiltracije z y osjo | cm |
| t | čas | s |
| a | empirična konstanta | |
| f | korekcijski faktor | |
| H | globina vode v lesenem okvirju | cm |
| α | koeficient odvisen od tipa zemljine | cm^{-1} |
| G^* | parameter odvisen od d in r | cm |
| d | globina, do katere je zabito kovinski obroč | cm |
| r | polmer obroča infiltrometra | cm |
| C_1 | prvi parameter krivulje infiltracije na grafikonu $I(t^{1/2})$ | cm/ s |
| C_2 | drugi parameter krivulje infiltracije na grafikonu $I(t^{1/2})$ | cm/ s ^{1/2} |

A koeficient odvisen od polmera diska infiltrometra, sukcije in
karakteristik zemljine

SLOVAR MANJ ZNANIH BESED IN TUJK:

| | |
|---------------|---|
| infiltracija | Tok vode iz površine tal v porozno snov v globino (Mikoš in sod., 2002). |
| alokacija | Načrtno razdeljevanje, načrtna delitev (ASP, 1997). |
| fragmentacija | Drobitev, razdrobitev (Vlada RS, 2008). |
| sinklinala | Vbočeni del nagubanih zemeljskih skladov (ASP, 1997). |
| antiklinala | Izbočeni del nagubanih zemeljskih skladov (ASP, 1997). |
| pliocen | Mlajša doba mlajšega terciarja (ASP, 1997). |
| kvartar | Obdobje kenozoika, v katerem se je pojavil človek (ASP, 1997). |
| aluvij | Mlajša, sedanja doba kvartarja (ASP, 1997). |
| mliščica | Del potoka ali reke, speljan k mlinu (ASP, 1997). |
| limnigraf | Naprava, ki zapisuje nivoje vode v času (Mikoš in sod., 2002). |
| dataloger | Elektronska naprava, ki zapisuje podatke po času (Wikipedia, 2001). |
| diver | Senzor, ki meri parametre podzemne vode (Schlumberger, 2009). |
| amplituda | Razpon, razlika med najvišjo in najnižjo vrednostjo, mero česa (ASP, 1997). |
| sintrati | S segrevanjem delati, povzročati, da se delci česa natalijo in sprimejo (ASP, 1997). |
| sukcija | Negativni tlak (srk), kateremu mora biti izpostavljena voda, da je skozi prepustno porozno steno ali membrano v hidravličnem ravnovesju z zadržano vodo v tleh (Mikoš in sod., 2002). |

1 UVOD

Kritično nizek pretok Kamniške Bistrice je v pozno poletnih in zgodnjih jesenskih tednih postal stalnica (po pričanju lokalnih prebivalcev). Predvsem pereč problem predstavlja odsek glavne struge med Kamnikom in Domžalami oziroma natančneje med jezom v Volčjem Potoku in sotočjem z Račo pri Domžalah. Na tem odseku sta izvedena dva odvzema vode za mlinščici (Radomeljska in Homška mlinščica), ki levo in desnoobrežno alocirata vodo iz glavne struge. Poleg obeh odvzemov pa se za ta del glavne struge predvideva stik s podtalnico. Voda iz Kamniške Bistrice naj bi zatekala v podtalje in tako bogatila podtalnico (Kobolt, 2008). Glede na to, da dolvodno obeh zajemov ob nizkih vodostajih tečejo zelo majhne količine vode, delež, ki pronica v podtalnico, ni zanemarljiv.

Posledica brezobzirnega manevriranja z zapornicami na odvzemih vode za potrebe obeh mlinščic in pronicanja vode v podtalnico je bila popolna presušitev glavne struge Kamniške Bistrice med železniškim mostom pri tovarni kartona v Količevem in sotočjem z Račo v dneh 28. septembra 2008 ter 10. in 25. oktobra istega leta. Nastala je velika okoljska in gospodarska škoda. Dne 28. septembra je na suhem ostalo poleg vseh ostalih organizmov tudi približno 5500 kg rib. Ribičem in okoljskim prebivalcem je uspelo rešiti okoli 5000 kg rib, 500 kg pa jih je poginilo (Fekonja, 2008). O posledicah na ostalih vodnih organizmih žal ni podatkov. Dne 10. oktobra naj bi kljub hitremu izlovu prišlo do pogina okoli 100 kg rib. Izsušitev dne 25. oktobra se je zgodila na krajšem odseku, od mostu na regionalni cesti na Viru do sotočja z Račo (Lakota-Jeriček, 2008). Poleg omenjenih dogodkov pa so v zadnjih petnajstih letih znane vsaj še tri situacije, ko je glavna struga Kamniške Bistrice na tem istem odseku presahnila.

Namen diplomske naloge je ugotoviti glavne vzroke za nizke pretoke Kamniške Bistrice na odseku med Kamnikom in Domžalami. Analizirati je potrebno količine odvzemov obeh največjih mlinščic (Radomeljske in Homške) in količino vode, ki se na tem odseku infiltrira v podtalnico.

V prvem delu diplomske naloge sem analiziral arhivske podatke pridobljene iz vodomernih postaj na glavni strugi in na mlinščicah med Kamnikom in Domžalami ter z merilnih mest v

bližini struge Kamniške Bistrice, kjer se meri nivo gladine podtalnice. Posebej sem analiziral spreminjanje pretokov v glavni strugi v obdobju njene popolne izsušitve, in sicer v septembru in oktobru 2008. Ob zaključku prvega dela sem primerjal gladini podtalnice in Kamniške Bistrice.

V drugem delu sledi opis izvedenih meritev, rezultati in analiza. Izvedel sem večkratne meritve pretokov Kamniške Bistrice in obeh obravnavanih mlinščic na območju med Kamnikom in Domžalami. Opravil sem linijsko analizo in meritve infiltracije z lesenim okvirjem na treh prodiščih glavne struge ter meritve infiltracije z mini infiltrometrom prav tako v glavni strugi.



Slika 1: Presušena glavna struga dolvodno mostu na Viru (foto: Jeriček-Lakota, 25. 10. 2008)

2 POVODJE KAMNIŠKE BISTRICE

2.1 Raba vode

Človek je že zelo zgodaj spoznal, da lahko energijo vodnega toka rek koristno izrabi. Sprva zgolj kot prevozni medij, kasneje pa tudi kot pogonsko energijo na mlinih in žagah. V začetku industrijske dobe so vodno energijo izrabljali za pogon celotnih obratov tovarn. Kmalu so tudi spoznali, da lahko s preusmerjanjem dela vodnega toka v obtočni kanal pridobijo večjo potencialno energijo in enakomernejši tok vode, ki ni več odvisen od nihanja pretokov v glavni strugi. Tako so se začeli graditi številni jezovi z odvzemi vode za obtočne kanale oziroma mlinščice (prvotni namen je bil pogon mlinskih koles). Na vodotokih, predvsem v srednjem in nižinskem delu, se je izkopavalo in razvijalo vedno več mlinščic, ki so imele v ozadju zgolj gospodarsko korist, varstvo okolja pa je bilo postavljeno v stran. Z gradnjo vedno več in več jezov so nastajale nove prepreke vodnim organizmom, predvsem migratornim ribam. Prvi zapisi o ribjih stezah sicer segajo že v 17. stoletje, vendar se je njihova uporaba razširila šele v 20. stoletju, ko so začele nastajati ribje steze v obliki kot jo poznamo danes (Bogataj, 2009). V Sloveniji je zgrajenih le nekaj ribjih stez, ki so kot kaplja v morje glede na vse zgrajene jezove in pragove, s stopnjami višjimi od enega metra. Problem fragmentacije rek je aktualen ob vseh vodostajih. Ob nizkih pretokih pa se pojavlja tudi problem relativno prevelikih odvzemov vode za mlinščice in s tem zelo majhne preostale količine vode v glavni strugi, ki ne zagotavljajo minimalnega ekološko sprejemljivega pretoka.

V drugi polovici 20. stoletja so ljudje videli dober vir zaslужka v malih hidroelektrarnah in jih tudi množično postavljali. Idealno mesto za postavitev male hidroelektrarne je na mestu starega mlina oziroma ob mlinščicah, kjer je že pripravljeno mesto za izkoriščanje vodne moči. Odvzem vode za mlinščice je v upravljanju uporabnikov, katerih interes je čim večji odvzem v vseh letnih obdobjih, saj je le ta neposredno povezan s količino pridobljene električne energije in posledično z zaslužkom. Ker so maksimalni dovoljeni vodni odvzemi slabo zakonsko določeni, oziroma se nad odvzemi ne vrši stalna kontrola, nastajajo situacije,

ko količina odvzete vode že ob tako nizkih vodostajih presega količino preostale vode v strugi.

Kamniška Bistrica je od nekdaj pomembna pogonska sila, ki s svojim sistemom mlinščic predstavlja pomembno ekološko in spomeniško funkcijo. Na komaj 33 kilometrov dolgi strugi Kamniške Bistrice je bilo zgrajenih 11 mlinščic (ICRO, 2009). Ob reki je nastalo veliko naselij, ki jo danes praktično obkrožajo vse od Kamnika do izliva v Savo. Gospodarska raba vode iz Kamniške Bistrice je bila že nekoč znana z mlini. Mlinščice obsegajo v celoti območje od Stahovice do Kamnika, od Perovega (tik pod Kamnikom) do Šmarce in od Volčjega Potoka pa vse do njenega izliva. Reka ima posledično tudi več pragov in zajezitev.

Največja in najdaljša odzemna kanala imata odzemni mesti na jezovih Homec in Volčji Potok. Del Kamniške Bistrice, od odvzema teh dveh mlinščic do iztoka nazaj v glavno strugo oziroma do pritoka Rače, je najbolj kritičen odsek glede nizkih pretokov in je tudi predmet te naloge. Na glavni strugi, predvsem pa na mlinščicah je bila nekdaj močno razvita obrt. Obratovale so številne kovaške, žebljarske in usnjarske delavnice, pa tudi mnogi mlini in žage. Danes obratuje le še Kraljev mlin v Radomljah in več malih hidroelektrarn, voda iz mlinščic pa se uporablja tudi kot tehnološka voda v proizvodnih obratih. Mlinščici sta še vedno v polni funkciji, čeprav so mnogi obrati ob njih že opuščeni. Lastnikom malih hidroelektrarn namreč večji pretok prinaša večji dobiček.



Slika 2: Trasa struge Kamniške Bistrice (označeno temno sivo) in obravnavani odsek struge med Kamnikom in Domžalami (označeno rdeče) (vir: Atlas okolja, 2007)

2.2 Značilnosti povodja

Povodje Kamniške Bistrice ima specifično lego v predalpskem svetu in posledično izrazita vremenska dogajanja. Na tem območju se v zadnjih letih kar vrstijo ekstremni vremenski dogodki. Dolgotrajnejše sušno obdobje je zabeleženo v celotnem letu 2003 ter v septembru in oktobru leta 2008, ko je Kamniška Bistrica na krajšem odseku celo presahnila. Po pričanju ribičev so sušna obdobja čedalje pogostejša, hkrati pa so vse pogostejši tudi dogodki močnih neurij, kot je bilo 18. septembra 2007 z obilnimi padavinami in 13. julija 2008 z močnim neurjem. Ta vremenski vpliv je neposredno povezan s pretoki Kamniške Bistrice.

Ena pglavitnih značilnosti Kamniške Bistrice je tudi njen že omenjeni kontakt s podtalnico. Kot vse reke v Ljubljanski kotlini (na primer Tržiška Bistrica in Kokra) tudi Kamniška Bistrica v njenem spodnjem toku praviloma bogati podtalnico. Ob nizkovodnih stanjih (ob suši, nizki podtalnici, majhni količini pretoka v strugi) lahko v podtalnico zateka precejšen delež vode, ki teče po strugi Kamniške Bistrice.

2.3 Hidrografske in geološke lastnosti povodja Kamniške Bistrice

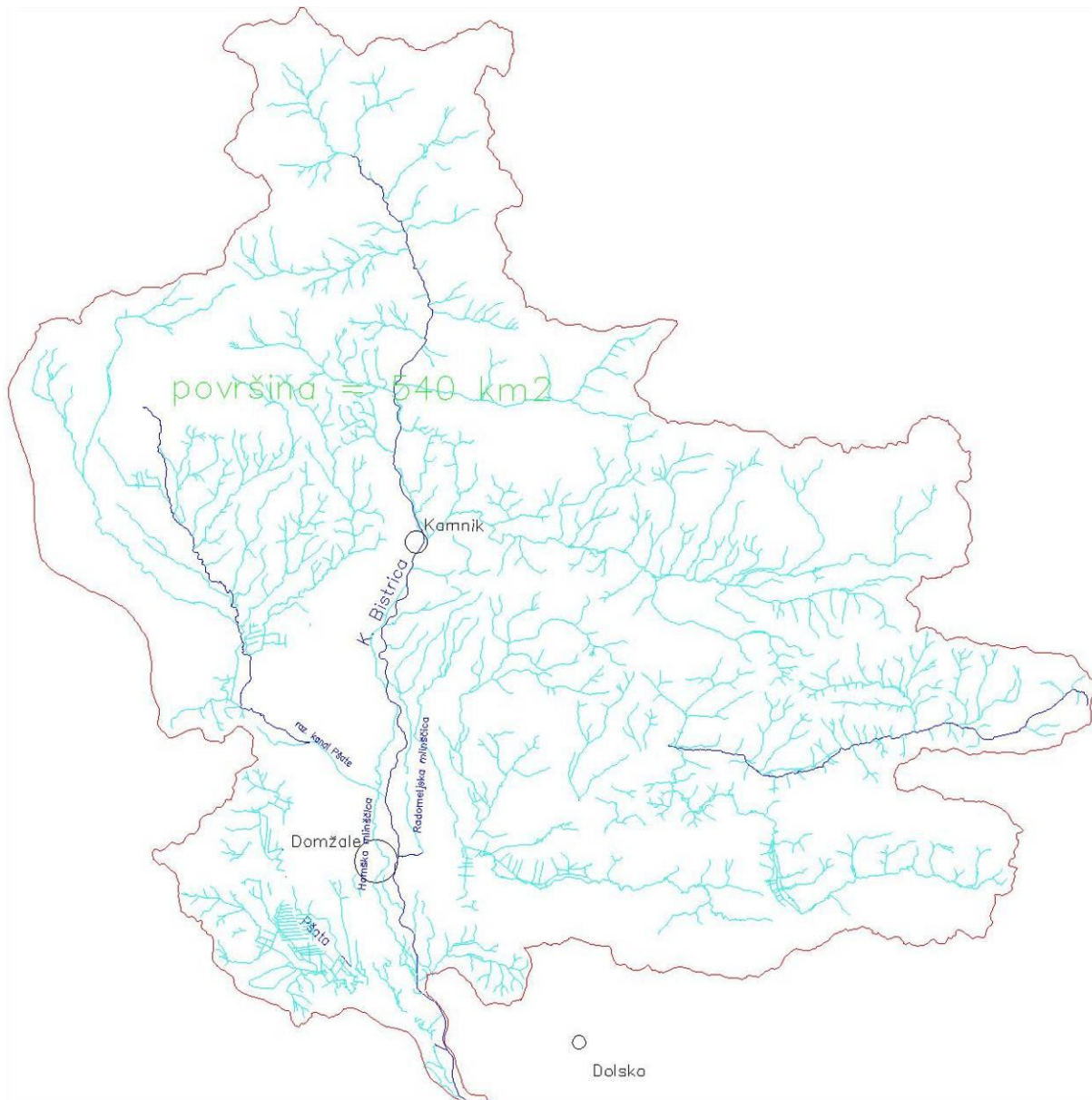
Reka Kamniška Bistrica je alpska reka z izvirov v Kamniških Alpah na nadmorski višini 623 metrov in izlivom v reko Savo pod Ljubljano pri Beričevim. Površina njenega porečja meri nekaj manj kot 540 km². Na celotnem porečju je 791,2 km vodnega omrežja, dolžina glavne struge pa je približno 33 km (Kolbezen in Pristov, 1998). Porečje obsega območje med Kamniškimi Alpami na severu, alpskimi predgorji in Ljubljansko kotlino na jugu. Vpliv visokogorskega zaledja Kamniških Alp je čutiti vse do Kamnika.

Kamniška Bistrica teče do Stahovice v ozki dolini večinoma vrezani v matično kamnino z manj nanosi. Teče po alpski, hriboviti in ravni pokrajini in ima izrazito dinamičen značaj. Njeno povodje je izredno heterogeno, saj vode prehajajo iz hudournikov (zgornji del Kamniške Bistrice, Korošica...) preko kraških delov povodja (Rača) do nižinskih predelov (Pšata, Reka...). Posledica hudourniškega značaja reke so pogosti in intenzivni pojavi visokih voda, erozijskih procesov in poplavnih dogodkov.

Bistrica izvira kot kraški izvir in teče čez Tuhinjsko sinklinalo, v Kamniku pa prestopi v področje Trojanske antiklinale, ki jo zapusti pred Domžalami. Od tu naprej je struga vrezana čez podaljšek Trboveljsko-Moravske sinklinalo, njen izlivni del pa je v območju Litijske sinklinalo. Z dviganjem Posavskega hribovja in ugrezanjem Ljubljanske kotline v pliocenskem obdobju, je Kamniška Bistrica pritegnila nase tudi odtok iz zahodnega dela Posavskega hribovja. V obdobju kvartarnega zasipavanja je dobila današnji obseg povodja in je eden večjih pritokov reke Save (Ponikvar, 2001).

V Stahovici dobi prva dva pomembnejša pritoka iz sredogorja – desnobrežno Bistričico in levobrežno Črno. Od Stahovice dolvodno teče reka po strugi v svojem aluvialnem produ in vršaju. Prvi večji pritok v Kamniško Bistrico je reka Nevljica nad Kamnikom, katere porečje meri 55 km² in odvaja vode s predelov kraških planot Velike planine in Menine planine. Dolvodno od Kamnika se strmec reke zmanjša. Struga reke od Kamnika pa vse do izliva se vije po Ljubljanski kotlini, ki je prodnata nasutina. Aluvialni prod omogoča kontakt reke s podtalnico, bodisi z njenim ponikanjem bodisi z bogatenjem (Kobolt, 2008). Med večja pritoka Kamniške Bistrice na tem delu sodita Pšata in Rača. Med Pšato in Kamniško Bistrico je narejen tudi prelivni visokovodni kanal za poplavne vode reke Pšate, ki se v Kamniško Bistrico priključi v Jaršah. Vodomerna postaja na Viru ob visoki vodi meri torej tudi vodo iz

razbremenilnika Pšate. Ob srednjih in nizkovodnih situacijah ni praktično nobenega vpliva reke Pšate na Kamniško Bistrico vse do Beričevega, kjer se naravna struga izliva v Bistrico.



Slika 3: Povodje Kamniške Bistrice z zbirnim območjem (označeno rdeče)

3 SISTEMA RADOMELJSKE IN HOMŠKE MLINŠČICE

3.1 Zajema vode

Zajem za Radomeljsko mlinščico je izveden na dvostopenjskem jezu Volčji potok, ki je lociran na glavni strugi Kamniške Bistrice, med naseljema Volčji Potok in Šmarca, na stacionaži vodotoka km 14,658 merjeno po osi struge od izliva. Preliv jezu je dolg 25 m, celotna stopnja jezu pa znaša 1,70 m. Na sredini je preliv nekoliko nižji, kar je koristno za bolj usmerjeno in koncentrirano prelivanje nizkih voda. Ob desni brežini je preko jezu izvedena ribja steza z grobo drčo, katere funkcionalnost je zaradi velike stopnje na vstopu vprašljiva. Zajem za mlinščico je izveden ob levi brežini. V betonski odzemni objekt so vgrajene tri lesene zapornice z ročnim mehanizmom dviga. Prva zapornica je postavljena kot talni izpust naplavin v strugo Kamniške Bistrice. V samo strugo mlinščice pa voda teče preko dveh vzporednih zapornic. Načeloma se odpira le leva zapornica, ki že sama zadostno napolni strugo mlinščice.

V Homško mlinščico se steka voda iz zajema na jezu Homec, tik pod Homškim hribom pri naselju Hudo. Homški jez je stacioniran na km 13,800 merjeno po osi struge od izliva in ima lomljen ter rahlo nagnjen preliv proti sredini struge. Dolžina preliva do sredinske zapornice znaša približno 39 m in na drugi strani še 20 m. Na lomu preliva je izvedena zapornica za talni izpust vode in proda naprej po strugi Kamniške Bistrice. Stopnja jezu znaša 2,15 m, vključno s stopnjo podslapja pa 2,90 m. Za odzem vode je ob desni brežini izvedena večja lesena zapornica z ročnim mehanizmom odpiranja oziroma zapiranja.

Z zapornicami manevrirajo lastniki malih hidroelektrarn na mlinščicah.



Slika 4: Radomeljki jez z levoobrežnim odvzemom z zapornicami in talnim izpustom v času nizkega vodostaja (foto: Bogataj, 28. 8. 2009)



Slika 5: Preliv Homškega jez z zapornico za talni izpust na sredini v času nizkih vodostajev dne 21. 8. 2009, (levo) in zapornica, ki regulira količino odvzete vode za mlinščico (desno) (foto: Bogataj, 2009)

3.2 Potek trase mlinščic

Radomeljska mlinščica je ena najstarejših v sistemu mlinščic ob Kamniški Bistrici. Po ustnem izročilu naj bi bila izkopana že pred več kot 400 leti. Kot je že navedeno, teče od jezua Volčji Potok preko travnikov pri naselju Volčji Potok, večinoma po naravno zaraščeni strugi. Ko se mlinščica približa naselju, se vanjo izteka še potok iz arboretuma, ki pa ima običajno zelo nizek pretok (nekaj litrov na sekundo). Pred naseljem Hudo se od mlinščice odcepi prvi razbremenilni kanal, ki preko lesene zapornice, s katero upravljajo lokalni prebivalci, odvaja del srednjih in visokih pretokov. Naprej teče mlinščica ob naseljih Hudo (Slika 6) in Radomlje, kjer so v strugo speljani drenažni kanali. Ti v suhem obdobju navadno ne prispevajo k vodnatosti mlinščice. Na delu, ko mlinščica teče skozi naselje Radomlje, voda prvič teče med obrežnimi zidovi. Gorvodno so namreč brežine večinoma naravne oziroma lokalno varovane s skalometom in lesenimi piloti. Dolvodno Radomelj teče mlinščica tik ob naselju Škrjančevo. Ob koncu naselja pa se tik pred vtokom v pokrit kanal (nad papirnico v Količevem) od struge mlinščice preko bočnega preлива odcepi še drugi razbremenilni kanal. Ta je namenjen predvsem preprečevanju vtoka prevelikih količin vode v pokrit del struge ob močnejšem deževju. Mlinščica teče po zaprti strugi pod krajšim delom naselja Škrjančevo in pod tovarno kartona v Količevem. Dolvodno tovarne teče med naseljema Vir in Količevo, kjer je struga ponovno naravno zaraščena. Skozi naselje Vir so brežine zavarovane z lokalnimi obrežnimi zavarovanji. Na Viru, pri novejši trgovini Hofer, teče mlinščica po pokriti strugi pod cesto in parkiriščem trgovine do silosov tovarne Žito. Struga je speljana tudi preko naselja Podrečje, kjer se dolvodno naselja kot desni pritok izliva v reko Račo. Skupna dolžina Radomeljske mlinščice od odvzemnega jezua v Volčjem Potoku do izliva v Račo po osi struge znaša 5,760 km.



Slika 6: Široka struga Radomljske mlinščice ob naselju Hudo (foto: Bogataj, 27. 8. 2009)

Homška mlinščica naj bi bila izkopana pred več kot 330 leti in je z dolžino struge 10,500 km najdaljša mlinščica na Kamniški Bistrici. Od jezua Homec teče tik pod Homškim hribom po nezavarovani in močno zaraščeni strugi do naselja Homec. Skozi naselje so brežine mlinščice lokalno varovane z različnimi tipi zavarovanj, ki so jih večinoma izvedli obrežni lastniki sami. V Preserjah struga zavije nekoliko proč od struge Kamniške Bistrice in vodi pod tovarno pohištva Lip Radomlje, kjer voda teče po pokritem kanalu. Čez preostali del naselja mlinščica ponovno teče po močno zaraščeni strugi z lokalnimi obrežnimi zavarovanji. V Zgornjih Jaršah je del struge preko industrijske cone pokrit vse do železnice. Pri veleprodajnem centru Tuš se od glavne struge preko betonskega preliiva odcepi razbremenilni kanal, ki odvaja visoke vode neposredno v Kamniško Bistrico. Količino vode, ki od razbremenilnega kanala teče naprej po strugi, se regulira z leseno zapornico. Na meji med Zgornjimi in Srednjimi Jaršami teče mlinščica po zaprtem betonskem koritu pod razbremenilnim kanalom Pšate (Slika 7), ki ima ob srednjih in nizkih vodostajih pretok le nekaj litrov na sekundo. Kamnitobetonsko dno razbremenilnega kanala je že nekoliko dotrajano, zato manjša količina vode iz razbremenilnega kanala izteka tudi v mlinščico. Proti pretoku mlinščice je ta delež zanemarljivo majhen. Homška mlinščica dolvodno kanala prečka naselja Srednje in Spodnje Jarše ter Rodico, v Domžale pa priteče ponovno po pokritem kanalu (Slika 8), ki poteka vse od regionalne ceste do neposredne bližine trgovskega centra Mercator. Na 700 m dolgem

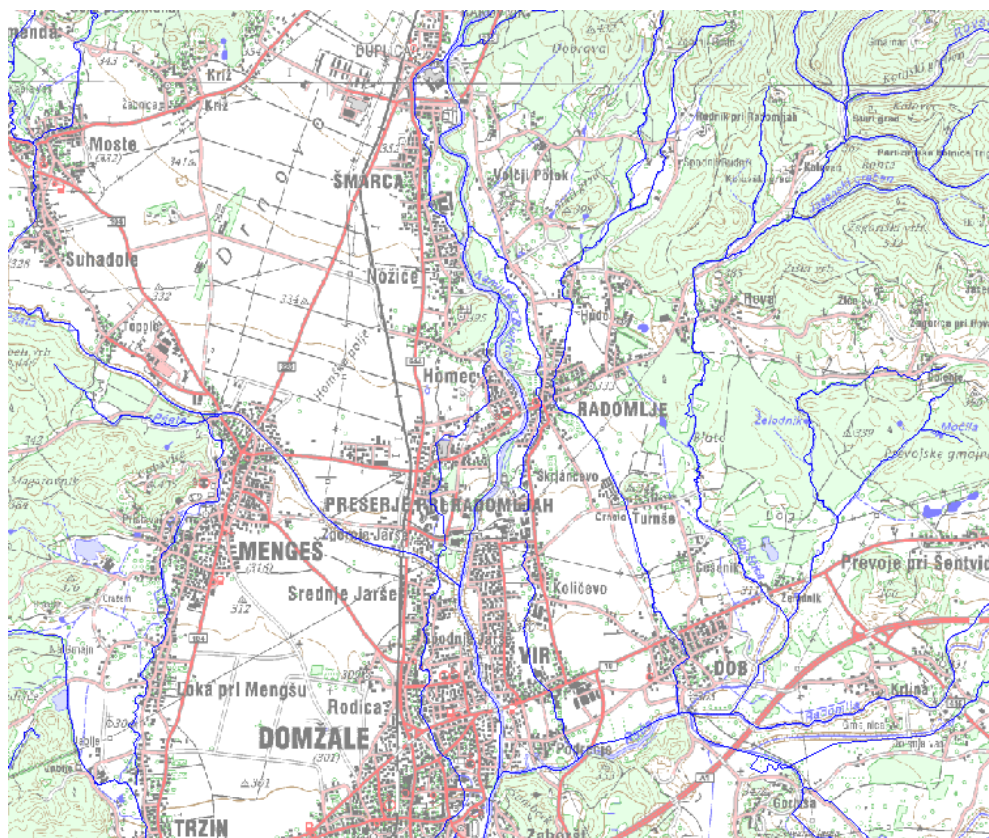
odseku kanala je nepokrite le 100 m struge. Naprej dolvodno teče mlinščica po odprti strugi preko preostalega dela Domžal, naselja Študa, kjer teče pod avtocesto ter preko travnikov in polj. V naselju Mala Loka pa se mlinščica izliva nazaj v Kamniško Bistrico.



Slika 7: Razbremenilni kanal Pšate na mestu prečkanja struge Homške mlinščice
(foto: Bogataj, 13. 6. 2009)



Slika 8: Vtok Homške mlinščice v pokrit kanal pod delom Domžal
(foto: Bogataj, 13. 6. 2009)



Slika 9: Potek trase obeh mlinščic med Volčjim Potokom in Domžalami
(vir: Atlas okolja, 2007)

3.3 Raba vode in dovoljeni odvzem mlinščic

Mlinščici sta bili zgrajeni z namenom omogočanja izrabe vode. Prvotno so izrabljali vodno moč za pogon mlinških koles in žag, kasneje za pogon celotnih industrijskih obratov. V zadnjih desetletjih se ju uporablja za dovajanje tehnološke vode industriji in za pogon malih hidroelektrarn.

Nadzor nad rabo vode ima Ministrstvo za okolje in prostor (MOP) oziroma Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO) s podeljevanjem koncesij (na primer za male hidroelektrarne) oziroma vodnih dovoljenj (na primer za odvzem tehnološke vode). V vodnem dovoljenju oziroma koncesiji je tudi določena največja dovoljena količina odvzema. V Preglednicah 1 in 2 so prikazana vodna dovoljenja in koncesije za odvzem vode iz mlinščic, ki so v letu 2009 še vedno veljavne.

Preglednica 1: Podeljena vodna dovoljenja in koncesije za zajem vode na Radomeljski mlinščici (sledijo si od odvzema dolvodno) (vir: ARSO, 2009)

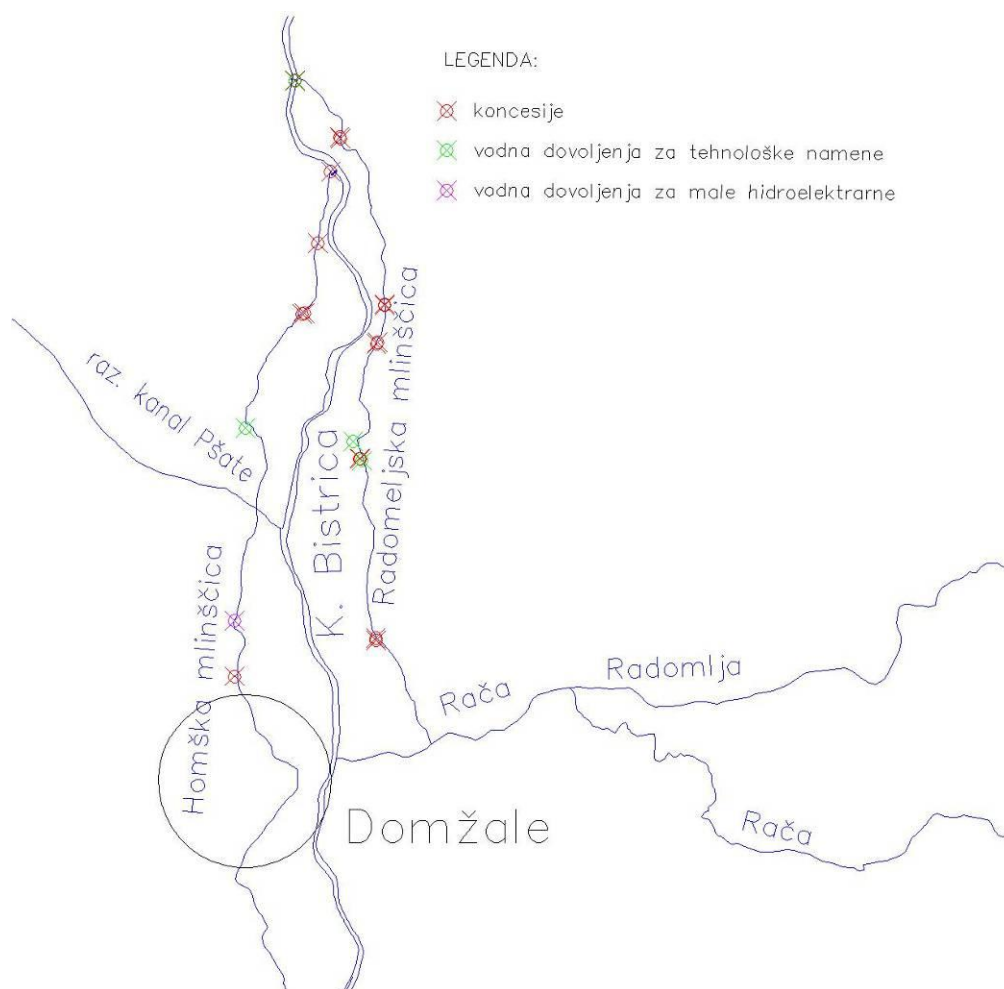
| Zap. št. | Imetnik vodnega dovoljenja oz. koncesije | Namen zajema | Zajem ali izpust | Vrsta dovoljenja | Leto izdaje | Lokacija (Gauss-Kriegerjev koordinatni sistem) | | Dovoljeni zajem [m ³ /s] |
|----------|--|-----------------|------------------|-------------------------------|-------------|--|--------|-------------------------------------|
| | | | | | | Y | X | |
| 1 | Karton Količevo | tehnološke vode | zajem | koncesija in vodno dovoljenje | 2008 | 469555 | 116047 | |
| 2 | Šraj Vitomir s.p. | mHE | zajem | koncesija | 2003 | 469891 | 115621 | |
| | | | izpust | | | 469898 | 115613 | |
| 3 | Ivan Kralj | mHE | zajem | koncesija | | 470234 | 114359 | 1,8 |
| | | | izpust | | | 470231 | 114350 | |
| 4 | Matjaž Škerjanec | mHE | zajem | koncesija | | 470177 | 114069 | 1,8 |
| | | | izpust | | | 470170 | 114061 | |
| 5 | Količevo karton | tehnološke vode | zajem | vodno dovoljenje | 2005 | 469994 | 113322 | |
| | | | zajem | | | 470061 | 113177 | 0,016 |
| 6 | Količevo karton | mHE | zajem | koncesija | 2008 | 470044 | 113194 | |
| | | | izpust | | | 470047 | 113190 | |
| 7 | "ELEKTRA" Dolgan Anton Dušan | mHE | zajem | koncesija | 2003 | 470164 | 111835 | |
| | | | izpust | | | 470167 | 111818 | |

Preglednica 2: Podeljena vodna dovoljenja in koncesije za zajem vode na Homški mlinščici
 (sledijo si od odvzema dolvodno) (vir: ARSO, 2009)

| Zap. št. | Imetnik vodnega dovoljenja oz. koncesije | Namen odvzema | Zajem ali izpust | Vrsta dovoljenja | Leto izdaje | Lokacija (Gauss-Krieger-jev koordinatni sistem) | | Dovoljen zajem [m ³ /s] |
|----------|---|-----------------|------------------|------------------|-------------|---|--------|---------------------------------------|
| | | | | | | Y | X | |
| 1 | Avto-phone d.o.o. | mHE | zajem | koncesija | 2005 | 469825 | 115360 | 1,3 |
| | | | izpust | | | 469725 | 114820 | |
| 2 | Milan Skočaj | mHE | zajem | koncesija | 2006 | 469628 | 114292 | |
| | | | izpust | | | 469610 | 114284 | |
| 3 | Induplati, industrija platnenih izdelkov d.d. | tehnološke vode | zajem | koncesija | 2004 | 469179 | 113425 | 0,00159 |
| 4 | Franc Klemenc | mHE | zajem | vodno dovoljenje | 2004 | 469095 | 111965 | |
| 5 | "ELEKTRA" Dolgan Anton Dušan | mHE | zajem | koncesija | 2006 | 469098 | 111547 | |

Na Radomeljski mlinščici imajo največji dovoljeni odvzem vode lastniki malih hidroelektrarn. Ker je poraba tehnološke vode zanemarljivo majhna proti dovoljeni količini odvzema za elektrarne in ker se voda na elektrarni ne porabi, temveč v celoti odteče do dolvodnega uporabnika, je največji dovoljeni odvzem Radomeljske mlinščice enak 1,8 m³/s.

Podobna situacija kot na Radomeljski, je tudi na Homški mlinščici, kjer pa je že na odvzemu mlinščice podeljena koncesija za rabo vode podjetju Avto-phone d.o.o., ki ima omejen odvzem na 1,3 m³/s.



Slika 10: Grafični prikaz lokacij, kjer so podeljena vodna dovoljenja in koncesije za zajem vode na obeh mlinščicah

3.4 Problematika količine odvzema vode

Kot je bilo pod prejšnjo točko opisano, imata mlinščici dovoljenje za maksimalni odvzem 1,8 oziroma 1,3 m³/s, skupno torej 3,1 m³/s vode. Na vodomerni postaji Kamnik I je torej v povprečnem letu kar 180 dni s pretokom 5,9 m³/s. Torej kljub polnemu odvzemu obeh mlinščic v strugi večino leta ostaja vsaj preko 2,8 m³/s pretoka, kar je zadovoljivo.

Problem nastane, ko pretoki Kamniške Bistrice padejo. V sušnih mesecih, kot so januar in februar ter avgust in september, lahko pretoki Kamniške Bistrice skozi Kamnik padejo tudi pod 2 m³/s. V povprečnem letu se to dogaja kar 20 dni v letu. V sedanji situaciji so problematični že pretoki nižji od 3 m³/s. Z zapornicami namreč manevrirata lastnika malih

hidroelektrarn. Njun cilj je zgolj čim večji odvzem, torej večja ekonomska korist s pridobljeno večjo količino električne energije.

Posebej kritičen je odvzem za Radomeljsko mlinščico na jezu Volčji Potok. Tu so zapornice redko priprte in količina odvzete vode le občasno pade pod $1,2 \text{ m}^3/\text{s}$. Običajno je v sušnem obdobju odvzem med $1,3$ in $1,6 \text{ m}^3/\text{s}$. Torej že na tem odvzemnem mestu pri pretokih Kamniške Bistrice pod $3 \text{ m}^3/\text{s}$ odvzeta količina vode običajno presega količino preostale vode v strugi. Kot dokaz k razsipnemu odvzemanju vode sta tudi dva razbremenilna kanala Radomeljske mlinščice, po katerih teče voda tudi v zelo sušnem obdobju (kot na primer 28. avgust 2009). Zaradi visokih temperatur in izsušenosti terena večji del te vode, preden priteče v glavno strugo, že ponikne.

Na že tako ohromljenem pretoku pa je pri Homcu izveden še drugi odvzem vode. Tu so upravljavci zapornic prisiljeni upoštevati preostali pretok v strugi. Ob nizkih pretokih je preliv Homškega jezu povsem suh, celotna količina preostale vode pa teče v glavno strugo preko sredinsko nameščene lesene zapornice, s katero upravlja isti upravljavec kot zapornice na mlinščici. Količina odvzete vode za Homško mlinščico se ob nizkem vodostaju giblje med $0,4$ in $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$. Tudi tu ni količina odvzete vode strogo odvisna od pretokov v strugi Kamniške Bistrice. Torej po drugem odvzemu na jezu Homec ob nizkih pretokih v strugi ostaja manj kot $1 \text{ m}^3/\text{s}$ vode, večjih pritokov pa do sotočja z Račo ni. V glavno strugo se na tem odseku v sušnem obdobju izlivajo dva razbremenilnika Radomeljske mlinščice, iztok iz tovarne kartona v Količevem (z nekaj litri na sekundo) in voda iz razbremenilnega kanala Pšate. Vsi ti pritoki pa imajo zanemarljiv pretok, ki se hitro porazgubi v tako široki strugi kot je struga Kamniške Bistrice. Že v prejšnjih poglavjih sem omenjal izgubljanje vode iz struge Kamniške Bistrice in tudi mlinščic v podtalnico. Tudi to pronicanje vode v podtalje ima pomembno vlogo pri zmanjšanju že tako majhnih pretokov. Zgoraj opisana situacija prikazuje dogajanje s pretoki vzdolž osi reke pri pretokih skozi Kamnik okoli $3 \text{ m}^3/\text{s}$. Toda v daljšem sušnem obdobju lahko pretoki Kamniške Bistrice pred zajemi za mlinščice padejo tudi pod $2 \text{ m}^3/\text{s}$. Dogodki popolne presušitve struge kot so bili v dneh 28. septembra ter 10. in 25. oktobra 2008, zato niso le ekstremi, ampak vse pogostejši pojav.



Slika 11: Dolvodni pogled na polno strugo Radomeljske mlinščice in zapornico, ki regulira vtok v razbremenilni kanal pred naseljem Hudo v času zelo nizkih vodostajev Kamniške Bistrice (foto: Bogataj, 28. 8. 2009)

4 ANALIZA NIZKIH PRETOKOV

Potrebno je analizirati nizke pretoke Kamniške Bistrice med Kamnikom in Domžalami. Predvsem je zanimiv odsek na območju med zajemoma vode za mlinščici (Homški jez in jez Volčji Potok) in prvim večjim pritokom, torej Rače. Rača v Kamniško Bistrico priteče skupaj z Radomeljsko mlinščico in tako močno bogati glavno strugo tudi ob ekstremno nizkih pretokih. Na tem odseku se v strugo Kamniške Bistrice priključi tudi razbremenilnik Pšate, ki pa ima ob nizkih vodostajih pretok le nekaj litrov na sekundo in ne prispeva k vodnatosti glavne struge ob nizkih vodostajih, oziroma je ta delež zanemarljiv.

4.1 Vodomerne postaje na porečju Kamniške Bistrice med Kamnikom in Domžalami

Za analizo nizkih pretokov je potrebno pridobiti podatke o vodostajih ob sušnih obdobjih. Na širšem obravnavanem območju Kamniške Bistrice je lociranih pet vodomernih postaj (Preglednica 3) s stalnim spremljanjem gladin in posredno preko pretočnih krivulj tudi pretokov. Od teh postaj sta le dve locirani na strugi Kamniške Bistrice. Vodomerne postaji v Kamniku je avtomatska, s prenosom podatkov v realnem času. Ti podatki so dostopni na spletni strani Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO). Objavljeni podatki o vodostaju naj bi bili točni (razen v obdobju tehničnih napak), podatki o pretokih pa so zgolj informativni, saj še niso korigirani. Druga, dolvodna vodomerne postaja, je locirana na Viru, kjer se zvezno spremlja vodostaj. Poleg teh dveh merilnih postaj se izvajajo enkrat dnevno opazovanja vodostajev na Homški mlinščici v Domžalah in na vodomerni postaji Vir na Rači. Na vodomerni postaji Podrečje pa se vodostaj ponovno spremlja zvezno. Na Radomeljski mlinščici ni merilne postaje, vendar je možno podati oceno pretokov glede na razliko vodostajev na vodomernih postajah Vir in Podrečje.

Preglednica 3: Osnovni podatki o vodomernih postajah na porečju Kamniške Bistrice med Kamnikom in Domžalami (vir: ARSO, 2008)

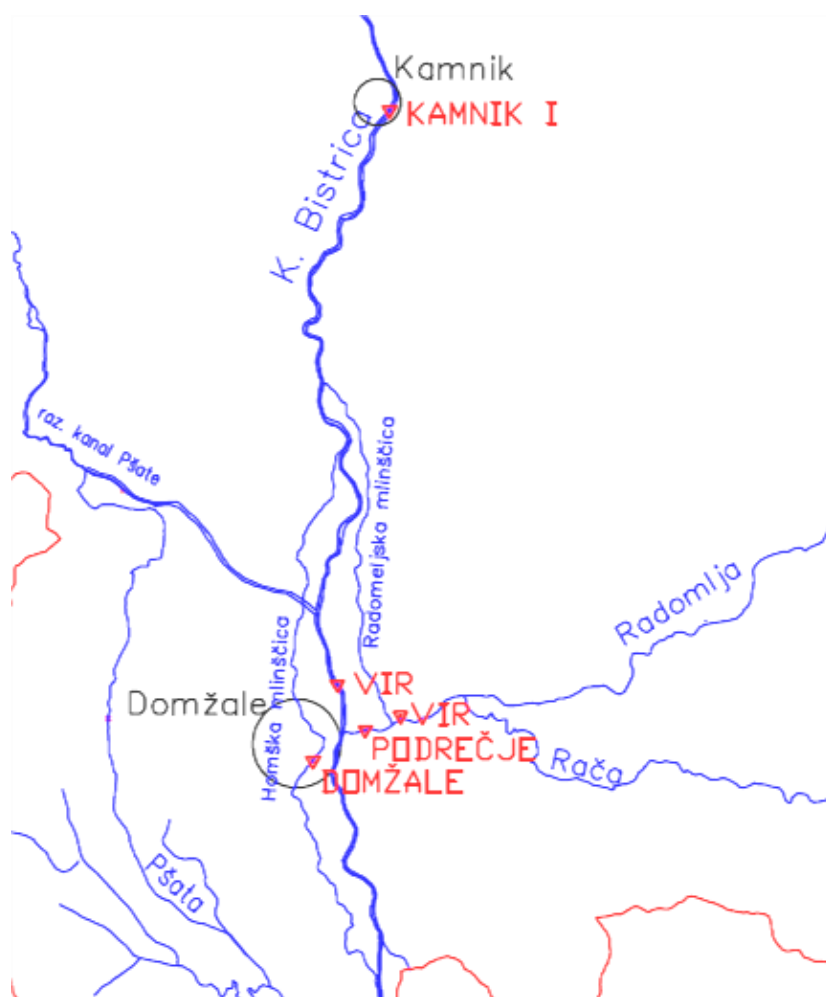
| Številka postaje | Ime vodomerne postaje | Vodotok | Stacionaža | Vodozbirna površina | Lokacija (Gauss-Kriegerjev koordinatni sistem) | | Kota točke "0" [m. n. m.] |
|------------------|-----------------------|-------------------|------------|---------------------|--|--------|------------------------------|
| | | | | | Y | X | |
| | | | [km] | [km ²] | | | |
| 4400 | KAMNIK I | Kamniška Bistrica | 19,54 | 194,87 | 470540 | 120100 | 370,799 |
| 4430 | VIR | Kamniška Bistrica | 9,58 | 207,78 | 469770 | 111620 | 301,203 |
| 4450 | DOMŽALE | Homška mlinščica | 4,26 | | 469410 | 110500 | 296,890 |
| 4515 | VIR | Rača | 1,00 | 161,13 | 470705 | 111155 | 299,195 |
| 4520 | PODREČJE | Rača | 0,32 | 164,06 | 470180 | 110950 | 297,467 |



Slika 12: Merilna postaja Vir na Kamniški Bistrici (foto: Bogataj, 27. 8. 2009)



Slika 13: Limnigraf na vodomerni postaji Podrečje na Rači (foto: Bogataj, 28. 5. 2009)

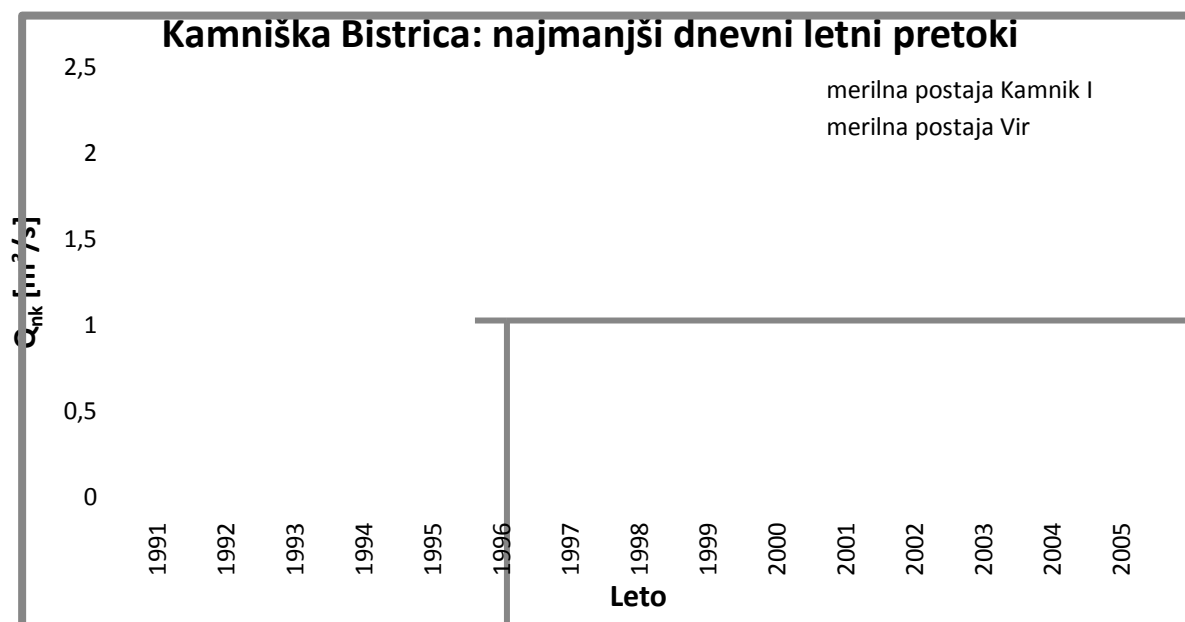


Slika 14: Grafični prikaz lokacij vodomernih postaj na porečju Kamniške Bistrice med Kamnikom in Domžalami

4.2 Analiza obdobjnih hidroloških podatkov do leta 2005

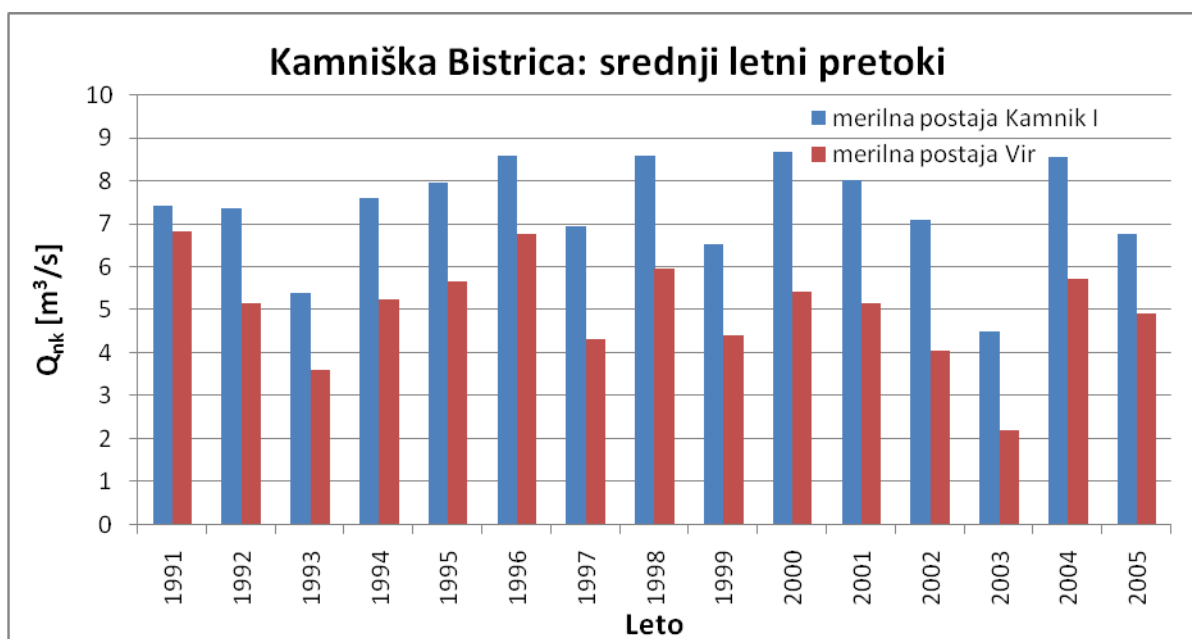
Analiza obdobjnih hidroloških podatkov prikaže hidrološki režim čez daljše časovno obdobje, za katerega imamo na voljo podatke. Zanimivi so predvsem podatki iz dveh vodomernih postaj na Kamniški Bistrici in sicer Kamnik I in Vir. Na prvi vodomerni postaji se izvajajo meritve od leta 1946, na drugi pa so se izvajale meritve med leti 1978 in 1980 ter od leta 1991 naprej. Izvedel sem analizo najmanjših letnih dnevni pretokov - konice (Q_{nk}) in srednjih letnih pretokov (Q_s) med leti 1991 in 2005, ko so znani podatki iz obeh merilnih postaj. Slednjo analizo sem izvedel predvsem za umeščanje in primerjavo lastnih meritev (v nadaljevanju). Podrobneje sem analiziral tudi pretoke za leto 2003, ki velja za eno najbolj suhih od leta 1950 naprej.

Glede na to, da analiziramo nizke pretoke, moramo upoštevati, da je pri tako majhnih pretokih prisotna precej velika relativna napaka meritev.



Grafikon 1: Najmanjši izmerjeni dnevni letni pretoki Kamniške Bistrice na vodomernih postajah Kamnik I in Vir

Na Grafikonu 1 lahko opazimo, da nizki pretoki na merilni postaji Kamnik I in merilni postaji Vir niso neposredno povezani, kot bi lahko pričakovali. Razlog je predvsem v reguliranih odvzemih vode za Homško oziroma Radomeljsko mlinščico, kjer se ob nizkih vodostajih odvzema precejšen delež vodnih količin, ostanek vode v glavni strugi pa je zabeležen na merilni postaji na Viru. V Kamniku so bili zabeleženi izredno nizki pretoki v letih 1993 in nato v letu 2003, medtem ko se na merilni postaji na Viru konstantno pojavljajo izredno nizki pretoki. Najmanjši povprečni letni pretoki na Viru ($0,21 \text{ m}^3/\text{s}$) predstavljajo le nekaj več kot štirinajst odstotni delež izmerjenih pretokov v Kamniku ($1,46 \text{ m}^3/\text{s}$). Razlika se delno odvzema za potrebe mlinščic, delno pa se najverjetneje izteka v podtalnico.



Grafikon 2: Srednji letni pretoki Kamniške Bistrice na vodomernih postajah Kamnik I in Vir

Pri srednjih letnih pretokih (Grafikon 2) je slika povsem drugačna. Tu je količina odvzete vode precej konstantna in predstavlja veliko nižji delež celotnih vodnih količin. Pri srednjih pretokih je tudi delež vode, ki pronica v podtalnico, konstantnejši in manj pomemben. Srednji letni pretoki na Viru ($5,03 \text{ m}^3/\text{s}$) predstavljajo nekaj manj kot 70 % srednjih letnih pretokov, izmerjenih na merilni postaji Kamnik I ($7,32 \text{ m}^3/\text{s}$).

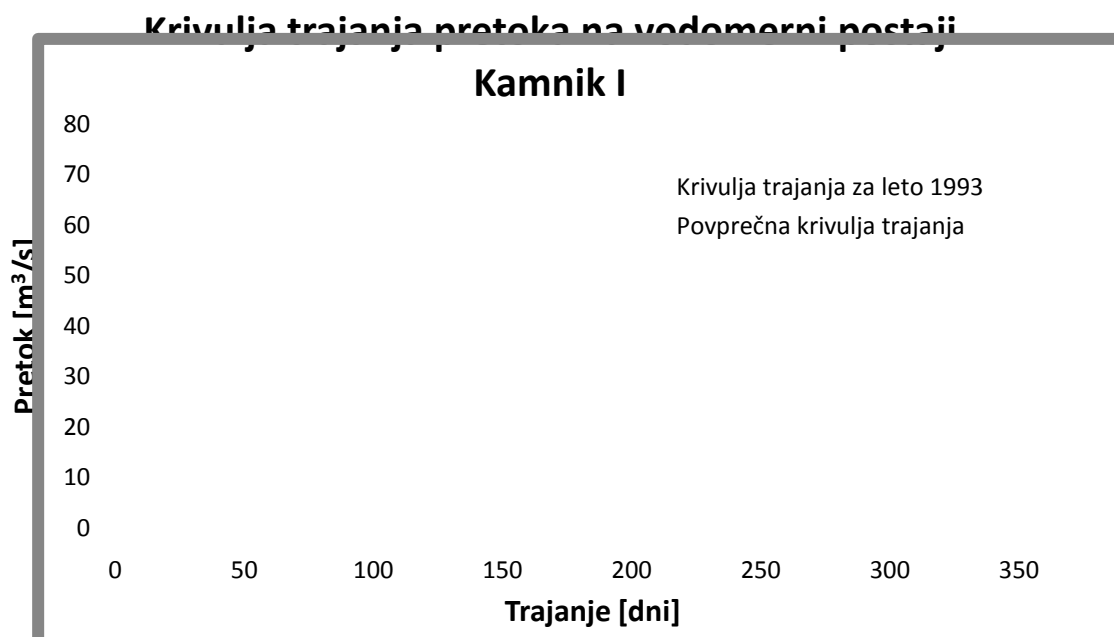


Grafikon 3: Najmanjši dnevni mesečni pretoki v letu 2003 na vodomernih postajah Kamnik I in Vir

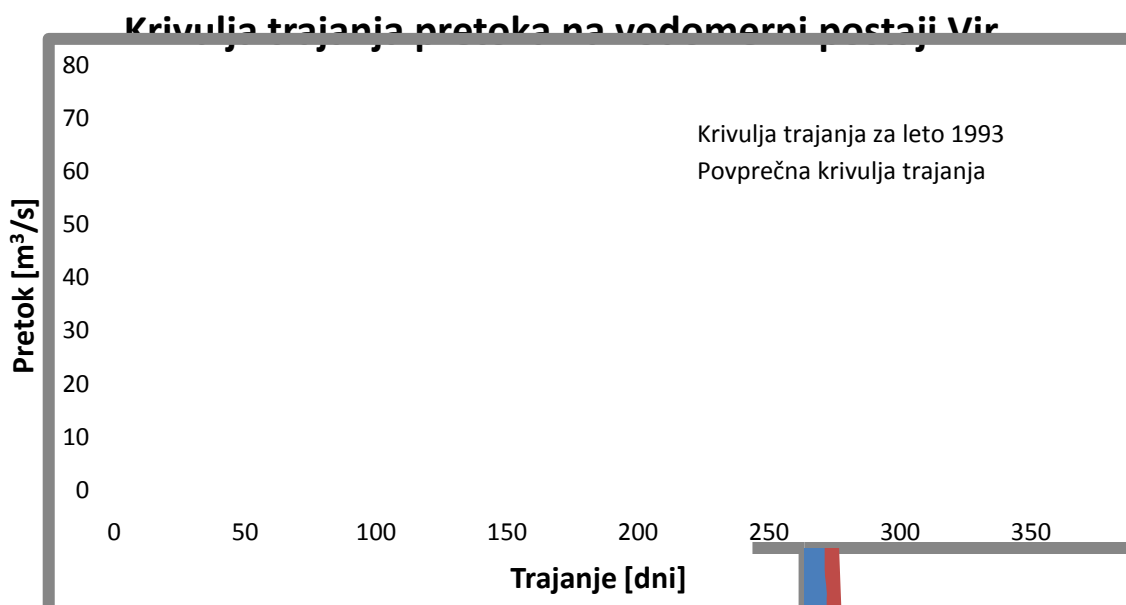
Podrobneje sem analiziral najmanjše pretoke v letu 2003, ki je, kot je opazno na Grafikonih 2 in 3, izredno sušno leto. Na merilni postaji v Kamniku je opaziti izrazit minimum v mesecu avgustu, ko je bil najnižji izmerjeni pretok manj kot $1 \text{ m}^3/\text{s}$. Takrat je bil pretok na Viru le 14 l/s , torej le dober odstotek od tistega izmerjenega na merilni postaji Kamnik I. Na Viru je tudi sicer opaziti pojav izredno nizkih pretokov skozi vse leto.

4.3 Določitev krivulj trajanja pretoka za vodomerni postaji Kamnik I in Vir

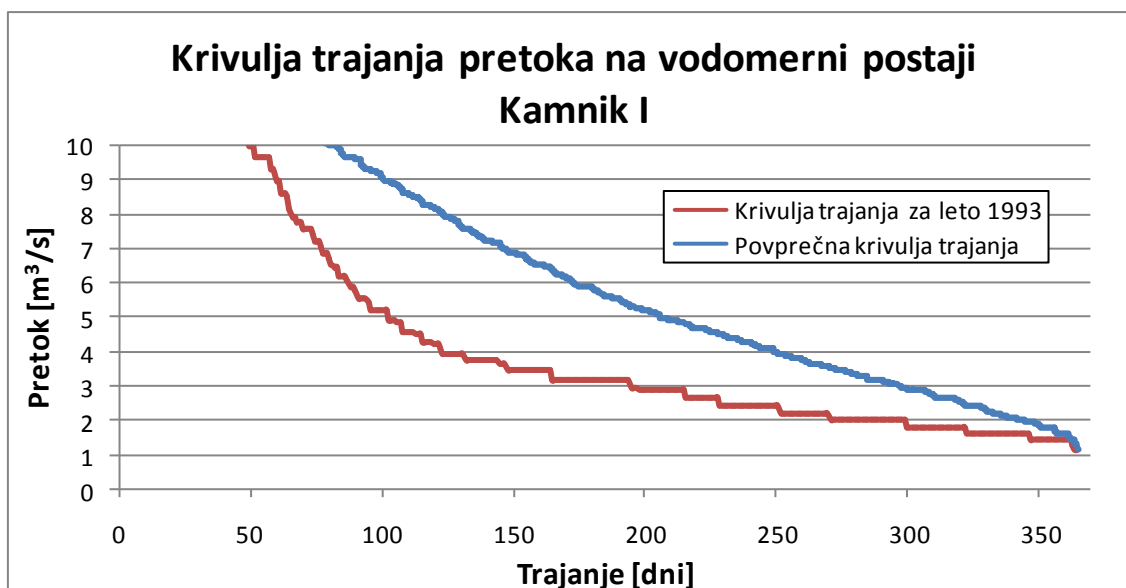
Določil sem povprečni krivulji trajanja pretoka za obe vodomerni postaji med leti 1991 in 2005. Dodatno sem obravnaval še leto 1993, saj je bilo v tem letu zabeleženih največ izredno sušnih dni.



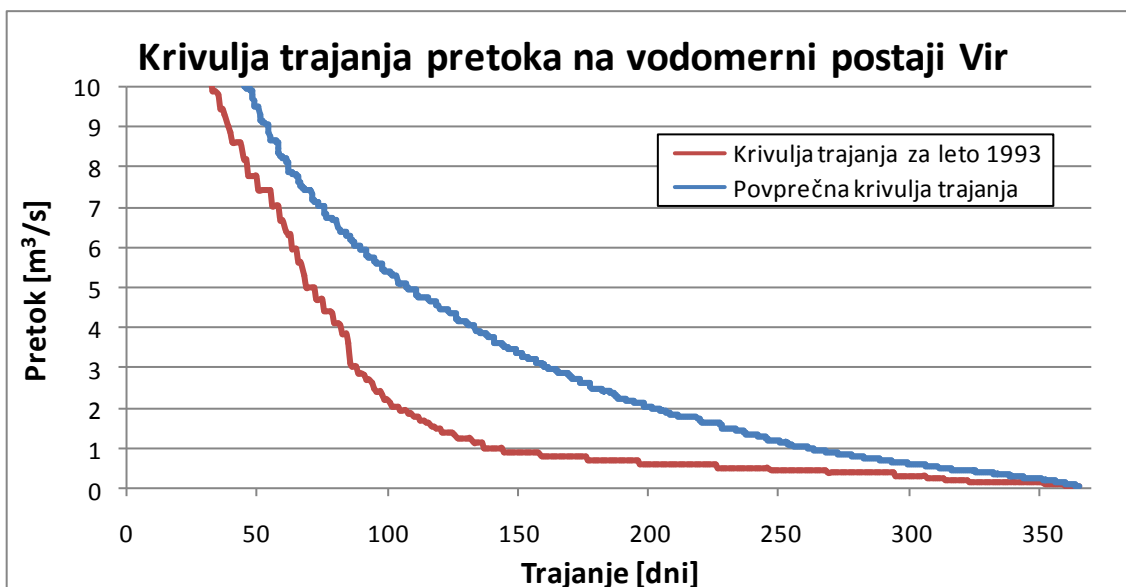
Grafikon 4: Povprečna krivulja trajanja pretokov med leti 1991 in 2005 in krivulja trajanja za leto 1993 na vodomerni postaji Kamnik I



Grafikon 5: Povprečna krivulja trajanja pretokov med leti 1991 in 2005 in krivulja trajanja za leto 1993 na vodomerni postaji Vir



Grafikon 6: Povprečna krivulja trajanja pretokov med leti 1991 in 2005 in krivulja trajanja za leto 1993 na vodomerni postaji Kamnik I za pretoke do $10 \text{ m}^3/\text{s}$



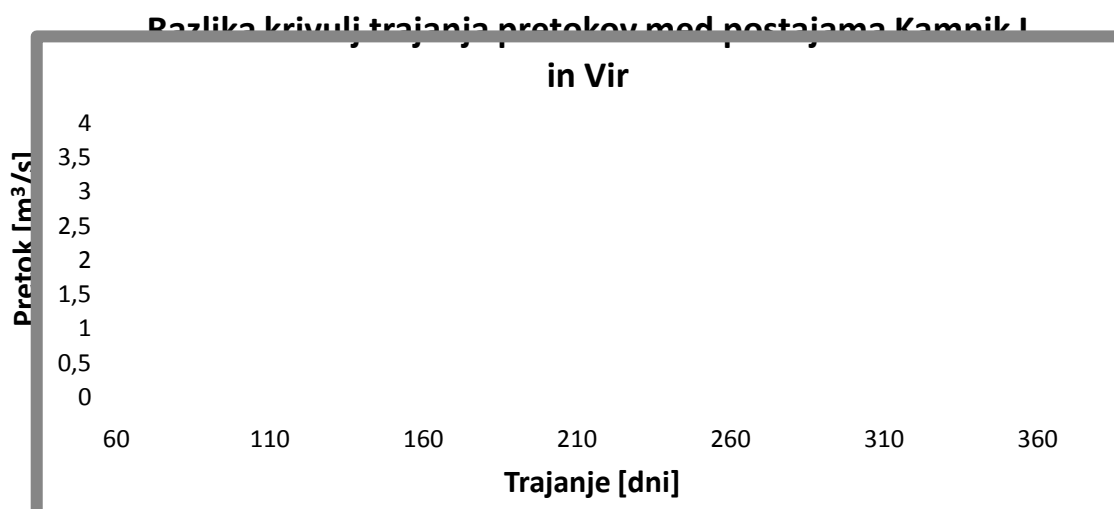
Grafikon 7: Povprečna krivulja trajanja pretoka Kamniške Bistrice med leti 1991 in 2005 in krivulja trajanja za leto 1993 na vodomerni postaji Vir za pretoke do $10 \text{ m}^3/\text{s}$

Na Grafikonih 6 in 7 sem omejil krivuljo trajanja na pretoke do $10 \text{ m}^3/\text{s}$ zaradi večje preglednosti trajanja nizkih pretokov.

Preglednica 4: Podatki o pretokih različnih trajanj za merilni postaji Kamnik I in Vir

| Trajanje | | Q | | | |
|----------|------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | | Merilna postaja | | | |
| | | Kamnik I | | Vir | |
| | | Povprečje | Leto 1993 | Povprečje | Leto 1993 |
| [dni] | Delež leta | [m ³ /s] | [m ³ /s] | [m ³ /s] | [m ³ /s] |
| 180 | 1/2 | 5,88 | 3,18 | 2,483 | 0,693 |
| 270 | 3/4 | 3,58 | 2,22 | 0,914 | 0,383 |
| 300 | 5/6 | 2,93 | 1,81 | 0,607 | 0,322 |
| 330 | 0,90 | 2,31 | 1,63 | 0,392 | 0,173 |
| 360 | 0,99 | 1,63 | 1,45 | 0,115 | 0,075 |

Medtem ko je na merilni postaji Kamnik I kar 270 dni v letu zabeležen pretok vsaj 3,58 m³/s, je na merilni postaji Vir preko 100 dni pretok celo nižji od 1 m³/s. To kaže na stalni prekomerni odvzem obeh mlinščic v času nizkih pretokov. V letu 1993 pa je na merilni postaji Vir celo manj kot 150 dni s pretoki preko 1 m³/s.



Grafikon 8: Razlika povprečnih krivulj trajanja pretokov (od leta 1991 do leta 2005) med merilnima postajama Kamnik I in Vir

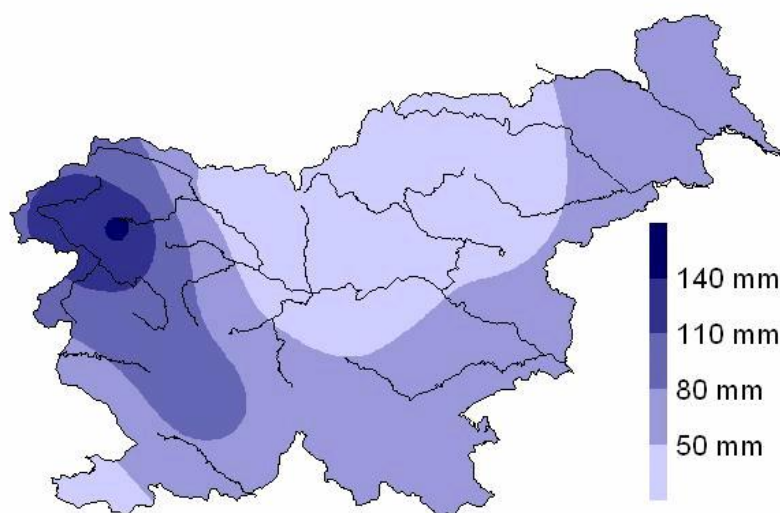
Razlika krivulj trajanja pretokov med vodomerno postajo Kamnik I in vodomerno postajo Vir (Grafikon 8) prikazuje približni odvzem vode za napajanje obeh mlinščic. Približni zato, ker so v razliko vključene tudi izgube vode zaradi pronicanja v podtalnico. Vzrok za nižanje

krivulje pri trajanju manjšem od 110 dni je dodatno napajanje struge z meteorno vodo in vodo iz razbremenilnega kanala Pšate. Pretok na Viru tako kljub polnemu odvzemu obeh mlinščic nekaj dni na leto celo preseže izmerjen pretok v Kamniku.

Odvzem obeh mlinščic skupaj z deležem infiltracije torej kar 361 dni v letu presega $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$, kar 320 dni pa celo $2,0 \text{ m}^3/\text{s}$.

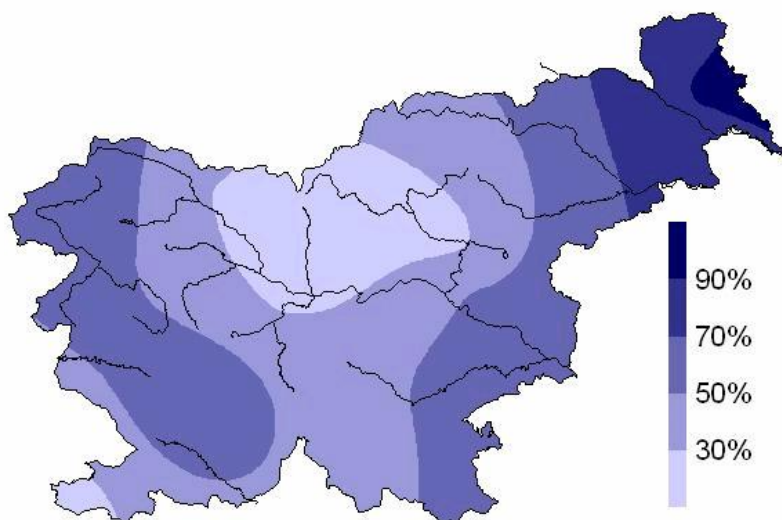
4.4 Analiza hidrološkega stanja med 1. septembrom in 13. oktobrom 2008

Septembra 2008 je bilo manj padavin od dolgoletnega povprečja. To se je odražalo tudi na nizkih pretokih rek. Predvsem so bila večja odstopanja na širšem delu Gorenjske in Štajerske (Slika 16).



Slika 15: Porazdelitev padavin v septembru 2008 (vir: Kobolt, 2008)

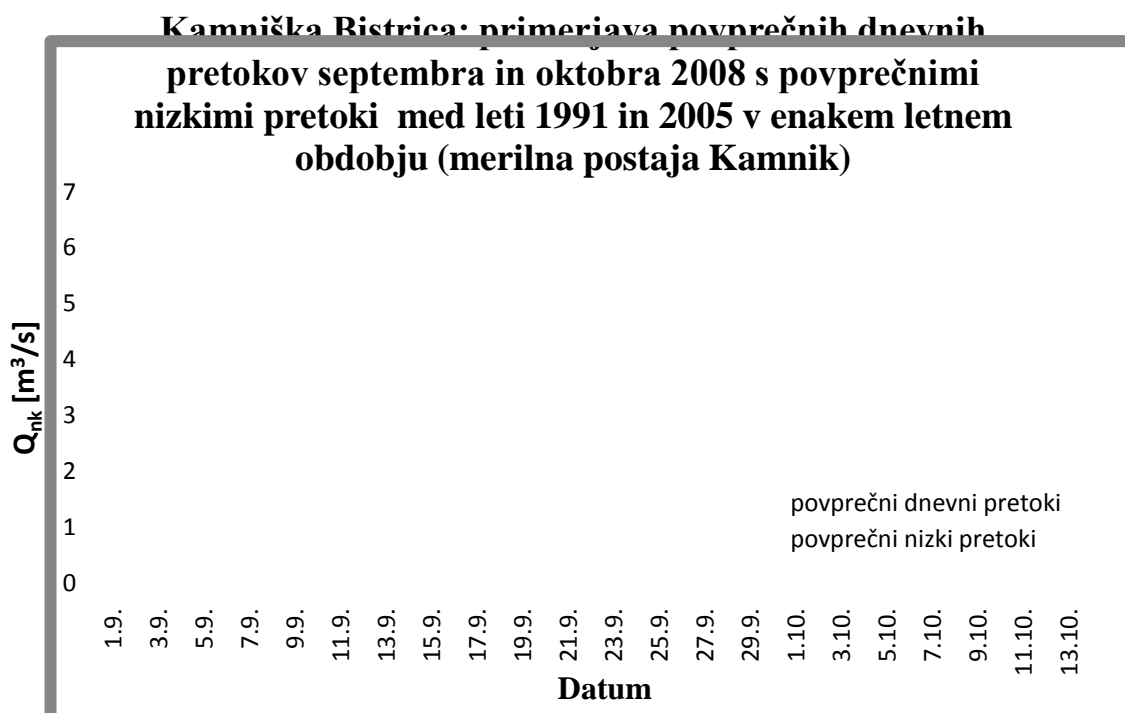
Na večjem delu Štajerske in delu Gorenjske je poleg obmorskega dela Primorske tudi v absolutnem smislu padla najmanjša količina padavin septembra v Sloveniji (pod petdeset milimetrov).



Slika 16: Primerjava količin v septembru 2008 z dolgoletnim septembrskim povprečjem

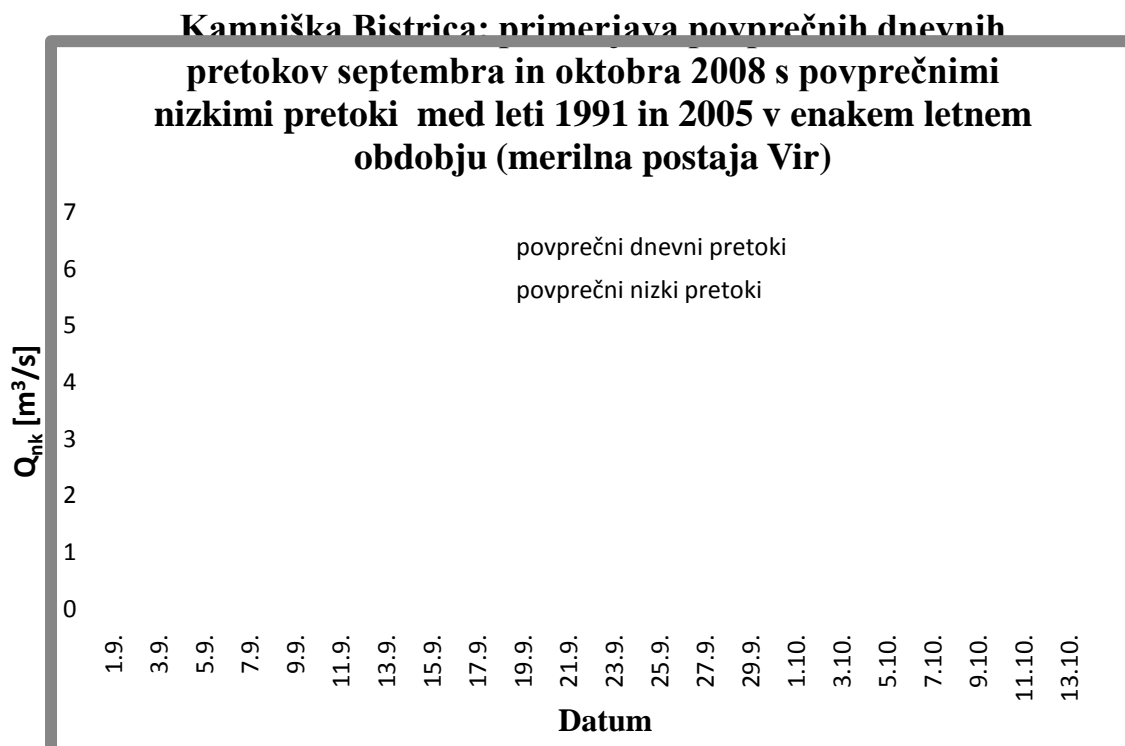
(vir: Kobolt, 2008)

Na precejšnjem delu države je padlo manj kot polovico običajnih padavin, na območju Kamniške Bistrice pa celo manj kot trideset odstotkov povprečnih količin padavin v tem obdobju. Od 1. septembra do 13. oktobra 2008 sta se na območju Kamniške Bistrice zgodila le dva večja padavinska dogodka in sicer med 12. in 15. septembrom ter med 3. in 4. oktobrom. Oba dogodka sta bila zabeležena na merilnih postajah na Krvavcu in Brniku. Kamniška Bistrica pa tudi ob teh dogodkih ni dosegla srednjih pretokov.



Grafikon 9: Primerjava povprečnih dnevnih pretokov med 1. septembrom in 13. oktobrom leta 2008 s povprečnimi najmanjšimi mesečnimi dnevnimi vrednostmi v septembru in oktobru med leti 1991 in 2005 - na merilni postaji Kamnik I

Kot je razvidno na Grafikonu 9, so vrednosti povprečnih dnevnih pretokov na merilni postaji Kamnik 24. septembra padle pod povprečne nizke pretoke značilne za to obdobje. Pretoki so se v naslednjih dneh še nižali in med 27. septembrom in 2. oktobrom dosegli najnižje vrednosti (okoli 2,79 m³/s). Sledil je padavinski dogodek med 3. in 4. oktobrom, ko je pretok naglo narasel, a ni dosegel srednjih pretokov. Zaradi predhodnega daljšega sušnega obdobja je vodostaj po 7. oktobru ponovno padel pod povprečne nizke vrednosti in po 12. oktobru dosegel pretoke okoli 2,8 m³/s. Kljub zelo nizkim vrednostim srednjih dnevni pretokov pa srednji mali pretok, ki za dotično merilno postajo znaša 2,08 m³/s in je podlaga za izdajo opozorila o malih pretokih, ni bil dosežen. Najnižji povprečni dnevni pretok za vodomerno postajo Kamnik znaša le 1,14 m³/s.



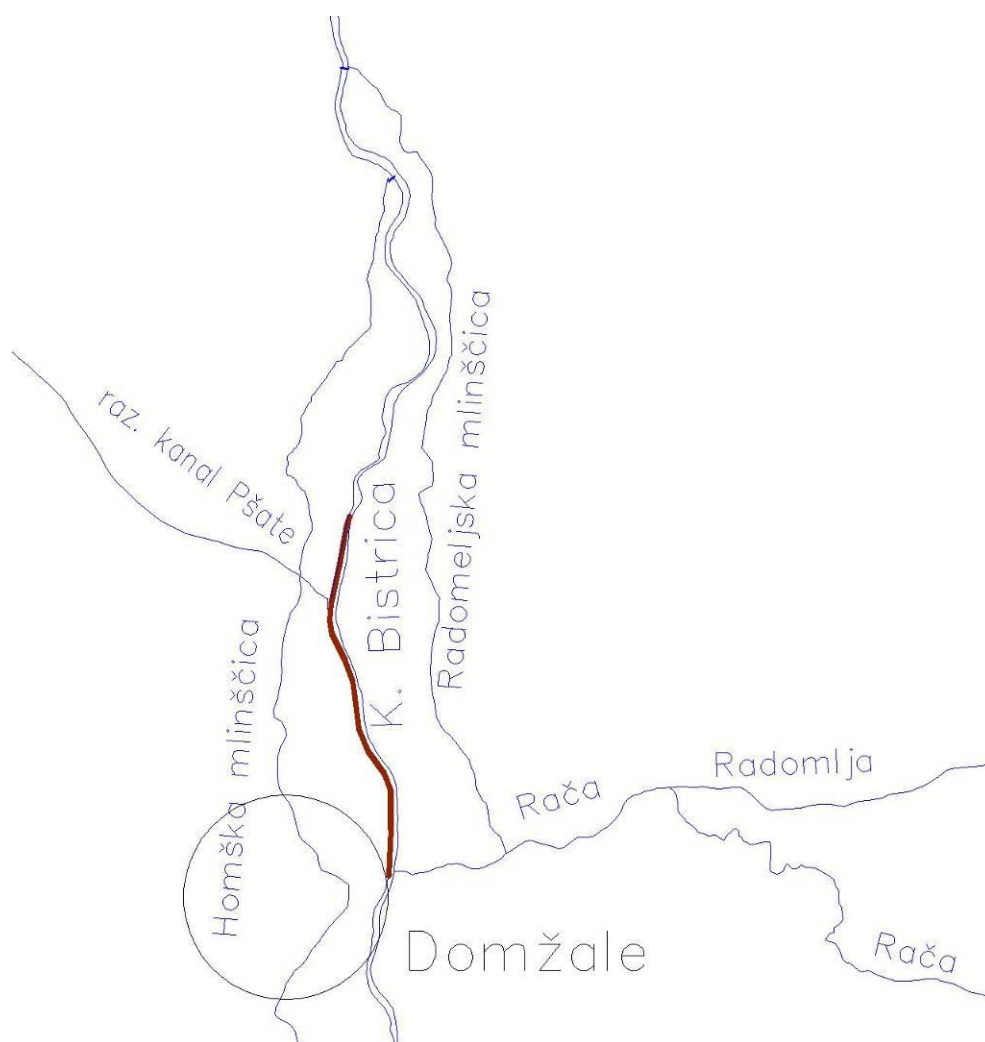
Grafikon 10: Primerjava povprečnih dnevnih pretokov med 1. septembrom in 13. oktobrom leta 2008 s povprečnimi najmanjšimi mesečnimi dnevnimi vrednostmi v septembru in oktobru med leti 1991 in 2005 - na merilni postaji Vir

Na merilni postaji Vir, ki je locirana dolvodno merilne postaje Kamnik, je bila situacija nekoliko drugačna (Grafikon 10). Pretoki so namreč že 6. septembra padli pod povprečne nizke pretoke značilne za to obdobje ($1,13 \text{ m}^3/\text{s}$). Najnižje vrednosti pretokov so bile dosežene v dneh 26., 27. in 28. septembra ter 2. in 6. oktobra, ko je bil zabeležen povprečni dnevni pretok le nekaj nad 100 l/s .

S primerjavo izmerjenih povprečnih dnevnih pretokov med 1. septembrom in 13. oktobrom 2008 na merilnih postajah Kamnik I in Vir ugovimo, da pretoki na obeh postajah ob nizkih vodostajih niso neposredno povezani. Na nizke pretoke, izmerjene na vodomerni postaji Vir, imata izreden vpliv oba odzema za Homško in Radomeljsko mlinščico, katerih zapornice se upravljajo ročno in je zato prisoten močan antropogen vpliv. Tako na primer padavinskega dogodka med 12. in 15. septembrom na Viru praktično ni bilo zaznati. Nihanje izredno nizkih pretokov med 15. septembrom in 3. oktobrom ter med 7. in 13. oktobrom pa je najverjetneje posledica dvigovanja oziroma spuščanja zapornic na zajemih mlinščic.

Zelo izrazito je na Grafikonu 10 opaziti odmevni dogodek presušene struge Kamniške Bistrice dne 28. septembra in nato naslednji dan takojšnje povečanje pretoka z domnevnim manevriranjem zapornic na vtoku v mlinščici. Struga naj bi bila 28. septembra tudi mimo merilne postaje Vir suha, a je bil na ta dan zabeležen povprečni dnevni pretok 130 l/s. Delno je to posledica netočnih umerjanj pretočne krivulje za nizke pretoke, delno pa dejstva, da imamo podatke le za povprečni dnevni pretok, na katerega ima najverjetneje vpliv tudi povečanje pretoka še isti dan. Kljub temu, da je izmerjeni pretok 28. septembra na merilni postaji Vir najverjetneje previsok, je že naslednji dan zabeleženo kar dvokratno povečanje pretoka brez znanih padavinskih dogodkov ali zabeleženega nihanja na gorvodni merilni postaji v Kamniku. Naslednji taki nepričakovani nihanji je opaziti med 2. in 3. oktobrom ter med 10. in 11. oktobrom. Kamniška Bistrica se je 10. oktobra mimo vodomerne postaje na Viru ponovno presušila. Zabeležen povprečni dnevni pretok (57 l/s) je bil celo nižji od tistih izmerjenih 28. septembra. Naslednji dan (29. septembra oziroma 11. oktobra) pa so pretoki brez zabeleženih povečanj na vodomerni postaji Kamnik poskočili za več kot petkrat oziroma iz 10. na 11. oktober skoraj za devetkrat. Torej gre ta nepojasnjena nihanja in ekstremno nizke pretoke pripisati predvsem manevriranju z zapornicami obeh mlinščic.

Na kritičnem območju (Slika 17) se gladino vode meri le na eni merilni postaji. Za natančnejšo sliko spreminjanja gladine vode vzdolž struge je potrebno postaviti večje število merilnih mest z možnostjo natančnejšega merjenja nizkih pretokov.



Slika 17: Odsek popolne izsušitve struge Kamniške Bistrice v dneh 28. septembra in 10. oktobra 2008 (označeno rjavo)

5 ANALIZA PODZEMNIH VODA

V okviru Zakona o varstvu okolja (ZVO-1) in Zakona o vodah (ZV-1) se spremljajo pojavi in procesi v hidrosferi. S hidrološkim monitoringom podzemnih voda se ugotavlja količinsko stanje podzemnih voda, kjer se preko opazovanj in meritev opazuje razmerje med viri in odvzemi podzemne vode. Ugotavljajo se vodne količine in režimi toka podzemne vode ter ocenjuje stanje podzemnih voda. Poskuša se ocenjevati dolgoročne spremembe v vodnem ciklu ter razmerju med viri in odvzemi podzemne vode. Poleg tega so podatki hidrološkega monitoringa podzemnih voda podlaga tudi sprotnemu spremljanju hidrološkega stanja podzemnih voda in poročanju o ekstremnih hidrogeoloških pojavih.

S sistematičnimi meritvami globine do podzemne vode oz. pretokov izvirov ter dopolnilnih parametrov (temperatura, specifična električna prevodnost) na osnovni mreži vodomernih postaj (piezometri, vodnjaki, izviri) ter z občasnimi meritvami na dopolnilni merilni mreži, se spremlja režim nihanja gladin podzemnih voda. Na podlagi rezultatov se ocenjuje količinsko stanje podzemne vode ter sklepa smer podzemnega toka, hidravličnih gradientov toka in vir napajanja podzemnih voda. Za mojo diplomsko nalogo pa so pomembni zgolj vodostaji oziroma nihanje nivoja gladine podtalnice.

Kot je bilo že v uvodnih poglavjih omenjeno, je za povodje Kamniške Bistrice značilen stik s podtalnico. V spodnjem toku naj bi voda iz Kamniške Bistrice praviloma bogatila podtalnico, zato moramo preveriti nihanje gladine podtalnice na obravnavanem območju (med Kamnikom in Domžalami) in izvesti primerjavo gladine podtalnice z gladino Kamniške Bistrice ob dogodku izredno nizkih voda.

5.1 Mreža postaj za meritve podzemne vode na porečju Kamniške Bistrice med Kamnikom in Domžalami

Na ožjem območju Kamniške Bistrice med Kamnikom in Domžalami je lociranih pet merilnih postaj s stalnim spremljanjem nivoja podtalnice (Preglednica 5). Od teh postaj sta dve postaji (Preserje in Študa) od glavne struge oddaljeni manj kot kilometer. Ostale tri postaje so od struge oddaljene do dveh kilometrov. Merilni postaji Podgorje in Mengeš sta

opremljeni z limnigrafii, merilna postaja Preserje s števno napravo Seba, merilni postaji Zgornje Jarše in Študa pa z datalogerji (podatkovni zapisovalniki) in diverji (tlačno sondo). Žal so vsa merilna mesta locirana desnoobrežno, kar pomeni manjšo natančnost pri kasnejšem prenosu gladin podtalnice na os struge Kamniške Bistrice.

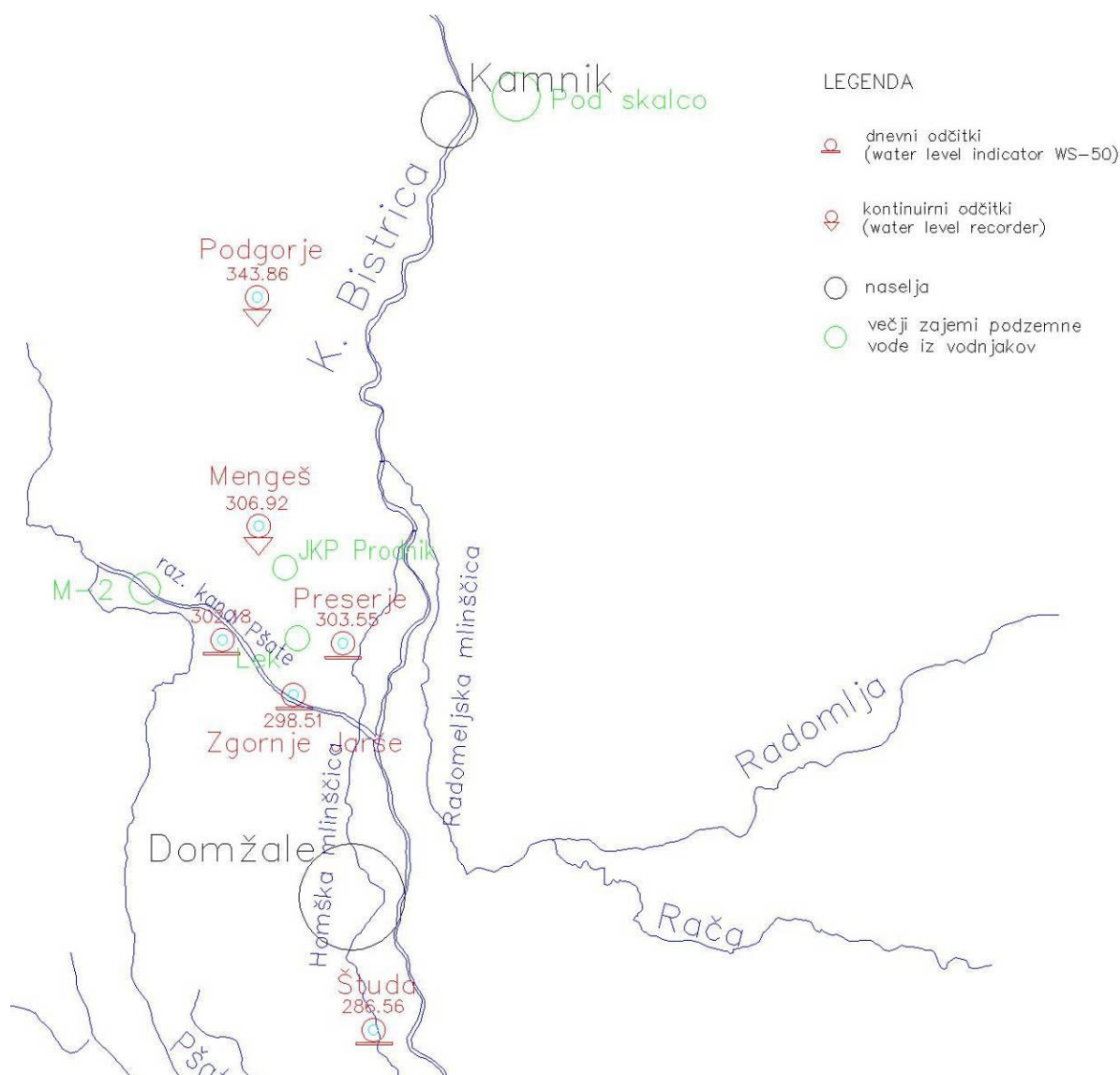
Preglednica 5: Osnovni podatki delujočih merilnih postajah na porečju Kamniške Bistrice med Kamnikom in Domžalami (vir: ARSO, 2009)

| Številka postaje | Oznaka | Postaja | Oprema | Lokacija (Gauss-Krieger-jev koordinatni sistem) | | Kota točke "0" [m. n. m.] |
|------------------|---------|---------------|---------------------|---|--------|------------------------------|
| | | | | X | Y | |
| 65010 | 100 | Podgorje | limnigraf | 467992 | 118034 | 357,50 |
| 65015 | MP-0275 | Mengeš | limnigraf | 468047 | 115276 | 343,86 |
| 65020 | 430 | Preserje | števna naprava Seba | 469050 | 113865 | 323,56 |
| 65030 | D-0582 | Zgornje Jarše | dataloger in diver | 468412 | 113252 | 318,80 |
| 65055 | 1752 | Študa | dataloger in diver | 469366 | 109133 | 292,19 |



Slika 18: Merilni jašek za analizo stanja podtalnice (levo) in limnigraf (desno)

(vir: ARSO, 2008)



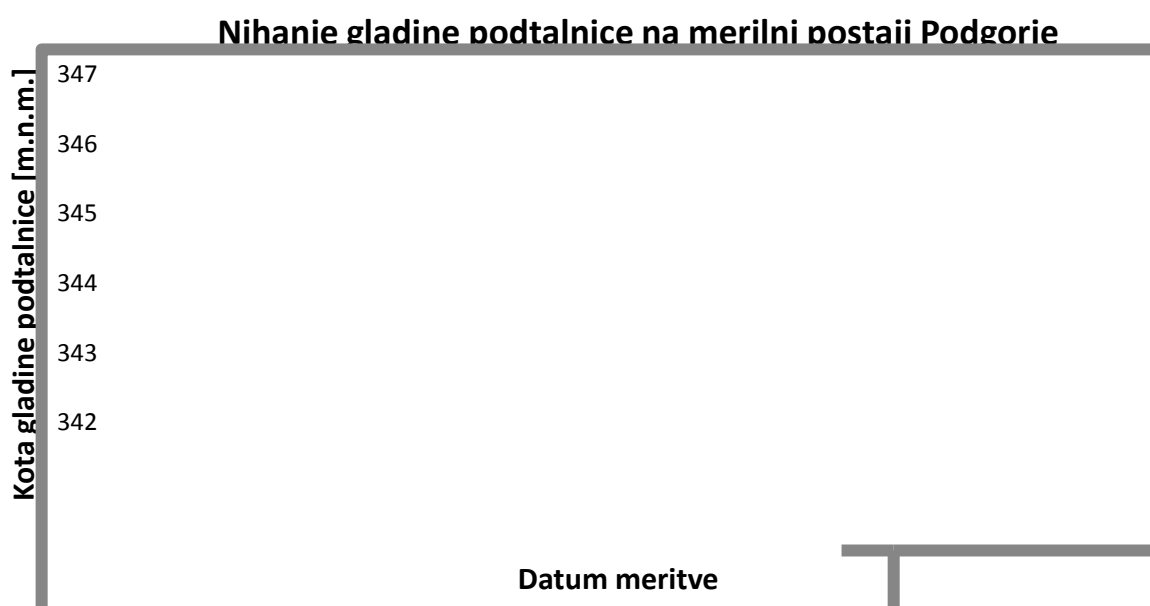
Slika 19: Grafični prikaz lokacij delujočih merilnih postajah na porečju Kamniške Bistrice med Kamnikom in Domžalami (pod imenom posamezne postaje je napisana tudi kota "0" točke)

5.2 Analiza obdobjih nihanj gladine podzemne vode

Meritve gladine podzemnih voda v preteklosti niso potekale kontinuirno in na istih lokacijah, kot je to značilno za površinske vode, ampak so se sproti prilagajale potrebam in zmožnostim merjenja. Tako so na posameznih merilnih mestih znani podatki le za krajše obdobje, spet na drugih za več let. Zaradi različnih merilnih metod (Preglednica 5) so tudi podatki beleženi različno pogosto.

Podatki iz merilnih postaj Podgorje in Študa so prikazani na ločenih grafikonih, saj sta lokaciji obeh postaj nekoliko oddaljeni od samega opazovanega območja, podatki iz ostalih treh postaj pa so prikazani na enem grafikonu.

Na merilni postaji v Podgorju se beležijo gladine podtalnice na limnigrafu od 1. januarja 1999. Analiziral sem podatke med 1. januarjem 1999 in 31. decembrom 2005.

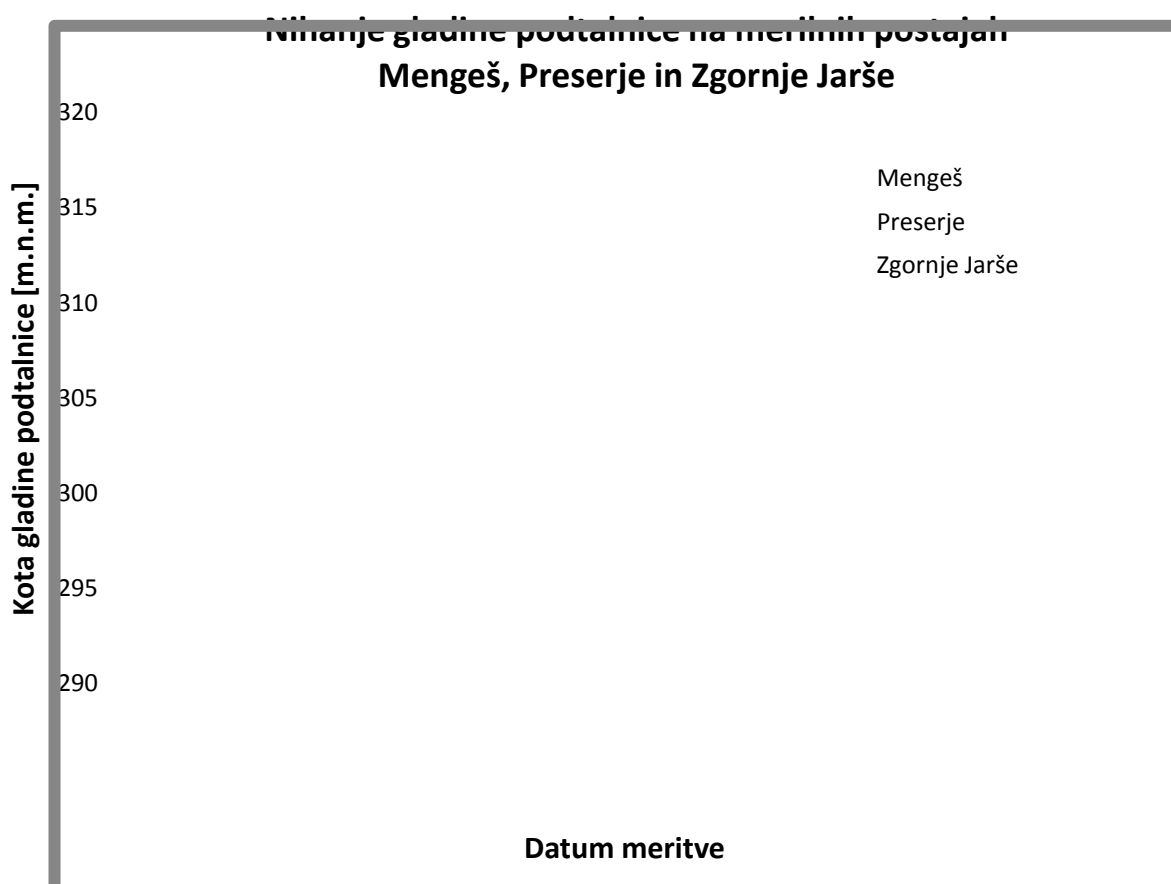


Grafikon 11: Nihanje gladine podtalnice med 1. januarjem 1999 in 31. decembrom 2005 na merilni postaji v Podgorju

Na Grafikonu 11 je opaziti značilno nihanje podtalnice z visokimi ekstremi ob večjih padavinskih dogodkih in počasnem upadanju gladine v sušnih obdobjih. Grafikon na prvi pogled precej spominja na nihanje gladine vode v vodotoku. Razlika je v trajanju in intenziteti posameznega dogodka. Pri podtalnici so namreč vsi procesi precej počasnejši in nihanja predvsem na mesečnem nivoju. Poleg tega so tudi odstopanja od povprečja na merilni postaji v Podgorju precej nizka. Za konkretni primer nihanja gladine podtalnice med leti 1999 in 2005 je odstopanje najnižje izmerjene gladine (343,66 m.n.m.) od povprečja v tem obdobju (344,18 m.n.m.) le 52 centimetrov, odstopanje najvišje izmerjene gladine (346,52 m.n.m) od povprečja pa 2,34 metra.

Kljub temu da je na dotični merilni postaji beležiti majhna nihanja gladine podtalnice, pa se le ta spreminja tudi v odvisnosti od količine padavin v posameznem letu. Najnižji letni povprečni nivo podtalnice je bil zabeležen v letu 2003, katerega sem že v tretjem poglavju (Analiza nizkih pretokov) opredelil kot izredno sušnega. Nasprotno je leta 2004, ki velja za padavinsko bogato leto, zaznati najvišji povprečni letni nivo podtalnice.

Merilna postaja v Podgorju je sicer nekoliko oddaljena od obravnavanega odseka Kamniške Bistrice, vendar nam podatki tudi iz te postaje dajejo celovitejšo podobo nihanja gladine podtalnice na širšem območju.



Grafikon 12: Nihanje gladine podtalnice med 1. januarjem 1990 in 31. decembrom 2005 na merilnih postajah Mengeš, Preserje in Zgornje Jarše

Merilne postaje Mengeš, Preserje in Zgornje Jarše so locirane desnoobrežno od struge Kamniške Bistrice in relativno blizu kritičnega odseka med Kamnikom in Domžalami. Ker se

na vseh treh postajah beleži gladina podtalnice že dalj časa, lahko nihanja med seboj neposredno primerjamo.

S primerjavo nihanj ugotovimo, da je na vseh treh merilnih mestih opaziti približno enako amplitudo makro nihanja (obdobje celega leta). Na splošno bi lahko rekli, da podtalnica na tem območju doseže svoj maksimum konec decembra in začetek januarja, nato pa celo leto pada do konca septembra oziroma začetka novembra. To padanje v povprečju znaša približno 5 cm na dan na vseh treh merilnih postajah. Ko gladine dosežejo minimalni nivo v jesenskih mesecih, bliskovito narastejo in ob koncu leta ponovno dosežejo maksimalne vrednosti. To naglo rast bi lahko pripisali jesenskemu deževju.

Med postajami pa je opaziti razliko v periodi nihanja. V Mengšu je tako razlika med minimalno (299,48 m.n.m.) in maksimalno izmerjeno gladino (315,61 m.n.m) kar 16,13 m.

K tako velikemu nihanju najverjetneje delno prispeva tudi črpališče podjetja Javno komunalno podjetje Prodnik d.o.o., ki izvaja med drugim tudi gospodarsko javno službo oskrbe s pitno vodo za občine Domžale, Mengeš, Trzin, Lukovica in Moravče. Črpališče je sicer od merilne postaje oddaljeno 600 metrov.

Merilna postaja v Preserjeh deluje že od 1. januarja 1981, z izjemo leta 1990, ko ni znanih podatkov iz tega merilnega mesta. V analizo sem vključil podatke od 1. januarja 1991 do 31. decembra 2005.

Gladina podtalnice v Preserjeh je pogojena tako s kratkotrajnejšimi padavinskimi dogodki kot daljšim padavinskim oziroma sušnim obdobjem. Razlika med minimalno (300,04 m.n.m.) in maksimalno izmerjeno gladino (312,86 m.n.m) je 12,82 m. Povprečna kota gladine podtalnice znaša 304,11 m.n.m. Za to merilno postajo je značilno, da izredno visoke in nizke gladine niso enkratni dogodki, ampak se pojavljajo vsakih nekaj let.

Na merilni postaji Preserje so zabeležena izjemna dnevna nihanja. Podtalnica lahko v enem dnevu naraste tudi za 2 m oziroma upade za 0,8 m. Tudi v obdobju 10 dni lahko podtalnica v povprečju naraste kar za 0,75 m dnevno.

Vpliv na gladino podtalnice na merilnem mestu v Preserjeh je delno pripisati tudi črpališču podjetja Lek farmacevtska družba d.d., ki zajema tehnološko vodo iz vodnjakov. Vodnjaki so od merilnega mesta oddaljeni približno 500 metrov.

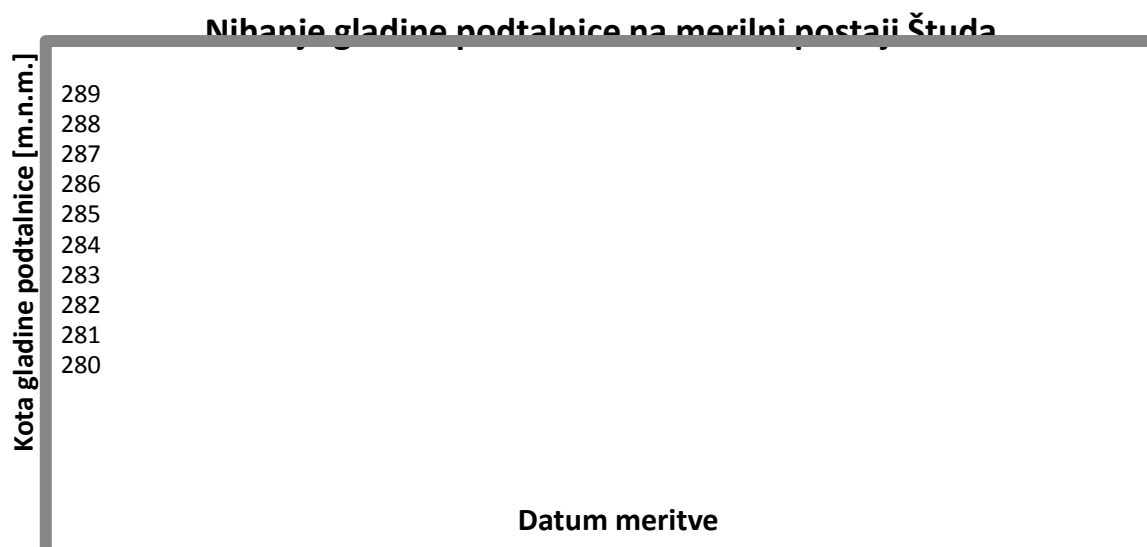
Podatki iz te merilne postaje so za analiziranje vpliva podtalnice na nizke pretoke v Kamniški Bistrici najpomembnejši, saj je merilno mesto locirano najbližje glavni strugi (tik ob Homški mlinščici) na kritičnem območju do sotočja s Pšato.

Merilna postaja v Zgornjih Jaršah neprekinjeno deluje že od 5. junija 1982. Izvajajo se opazovanja trenutnih vrednosti v časovnem razmaku največ pet dni. V zadnjih letih pa so na to postajo namestili tlačno sondo in podatkovni zapisovalec, ki avtomatsko beleži urne podatke o gladini podtalnice. V analizo sem vključil podatke med 1. januarjem 1990 in 31. decembrom 2005.

Tudi tu je gladina podtalnice pogojena s kratkotrajnejšimi padavinskimi dogodki in daljšim padavinskim oziroma sušnim obdobjem. Razlika med minimalno (293,61 m.n.m.) in maksimalno izmerjeno gladino (303,79 m.n.m) znaša 10,18 m, povprečna kota gladine pa 298,53 m.n.m.

Vpliv na gladino podtalnice na tem merilnem mestu ima tudi razbremenilni kanal Pšate, ki je od merilnega mesta oddaljen le približno 80 metrov. Razbremenilni kanal naj ne bi imel pretoka v sušnem obdobju, a na podlagi terenskega ogleda in pričanja okoljskih prebivalcev se v njem vedno zadržuje voda.

Na merilni postaji Študa se na podatkovnem zapisovalniku zapisujejo podatki o gladinah podtalnice, ki jih meri tlačna sonda od leta 2001. Analiziral sem vse pridobljene podatke od 1. januarja 2001 do 31. decembra 2005. V začetku leta 2002 je prišlo do napake pri beleženju podatkov. Tako so v prvih štirih mesecih tega leta znani le podatki, merjeni kot kontrolne meritve, izvajane enkrat mesečno.



Grafikon 13: Nihanje gladine podtalnice med 1. januarjem 2001 in 31. decembrom 2005 na merilni postaji Študa

Glede na to, da sem na merilni postaji analiziral le podatke petih let, je težko določiti trende in periodo nihanja. Vsekakor je jasno vidno upadanje gladine podtalnice od konca leta 2002 do septembra 2003, ko njena gladina doseže minimalno izmerjeno vrednost pri 283,05 m.n.m. Ta upad gladine podtalnice preko leta se ujema z nihanjem na merilnih postajah Mengeš, Preserje in Zgornje Jarše. Močan upad je opaziti še v sredini leta 2004. Proti koncu leta 2005 pa njena gladina doseže največjo izmerjeno vrednost v opazovanem obdobju (288,37 m.n.m.). Razlika med najnižjo in najvišjo izmerjeno gladino podtalnice na merilni postaji Študa tako znaša 5,32 m.

Podtalnica se na območju te merilne postaje najverjetneje tudi delno napaja iz struge Homške mlinščice, ki je od merilnega mesta oddaljena le 50 metrov.

Merilno mesto je locirano nekoliko dolvodno od obravnavanega dela Kamniške Bistrice (med Kamnikom in Domžalami), vendar leži najbližje glavni strugi. Od struge je namreč oddaljeno le nekaj več kot 400 metrov.

Preglednica 6: Primerjava hitrosti nihanj na posamezni merilni postaji

| Oznaka | Postaja | Maksimalna izmerjena dnevna sprememba gladine | | Maksimalna sprememba gladine v časovnem intervalu 10 dni | | Povprečno obdobjno nihanje gladine |
|---------|---------------|---|----------|--|----------|------------------------------------|
| | | rast | upadanje | rast | upadanje | upadanje |
| | | [cm/dan] | [cm/dan] | [cm/dan] | [cm/dan] | [cm/dan] |
| 100 | Podgorje | 92 | 20 | 25 | 17 | / |
| MP-0275 | Mengeš | 112 | 45 | 55 | 33 | 4,5 |
| 430 | Preserje | 204 | 80 | 75 | 30 | 8 |
| D-0582 | Zgornje Jarše | 72 | 32 | 48 | 17 | 5 |
| 1752 | Študa | 90 | 95 | 23 | 21 | 1,3 |

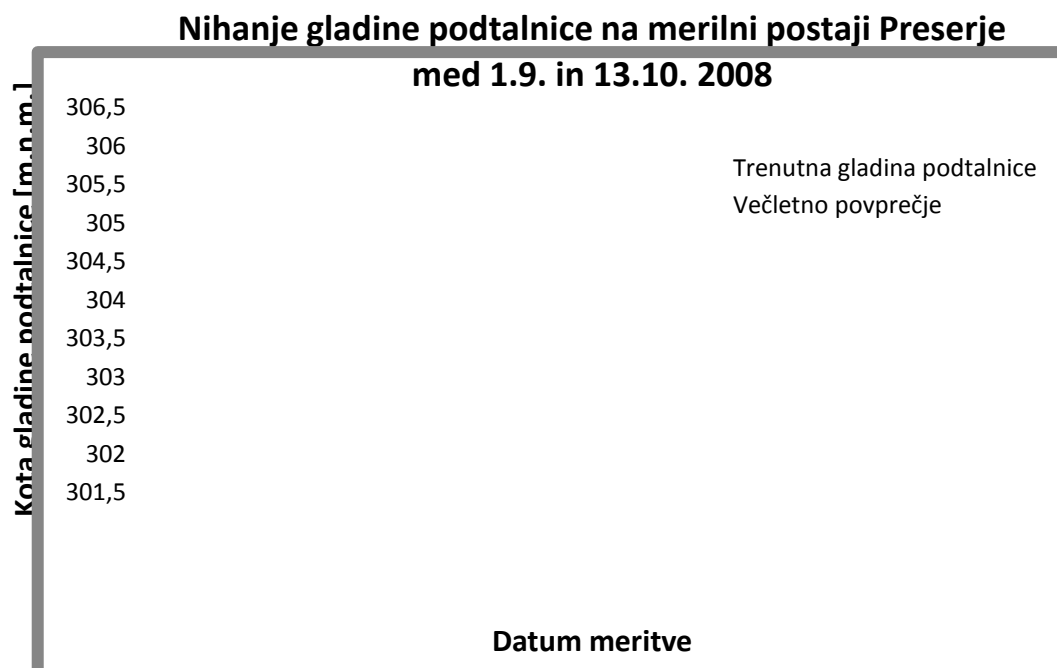
Ker so podatki o dnevni spremembi gladine lahko podvrženi raznim napakam, sem določil tudi največjo desetdnevno spremembo gladine, izraženo v centimetrih na dan.

Na vseh merilnih postajah je hitrejša rast od upadanja gladine. Največje razlike je opaziti na merilnih postajah Mengeš, Preserje in Zgornje Jarše. To so tudi postaje, na katerih je bilo zabeleženo največje nihanje gladin in na katerih podtalnica tudi najhitreje niha. Te merilne postaje so hkrati locirane najbližje problematičnemu odseku Kamniške Bistrice (med Volčjim Potokom in Domžalami), posebej merilna postaja v Preserjah, kjer je bilo izmerjeno tudi najhitrejšo povprečno deset dnevno nihanje s kar 75 cm dnevnega porasta in 30 cm dnevnega upada gladine. Obdobjno sem opazoval le upadanje gladine, saj rast gladine v daljšem časovnem obdobju močno variira in je odvisna od intenzitete in trajanja padavin. Tudi pri upadu gladine v daljšem časovnem obdobju (več mesecev) je najhitrejši upad pričakovano zabeležen na merilni postaji v Preserjah. Na merilni postaji v Podgorju pa izrazitega obdobjnega nihanja ni.

5.3 Nihanje gladine podtalnice med 1. septembrom in 13. oktobrom 2008

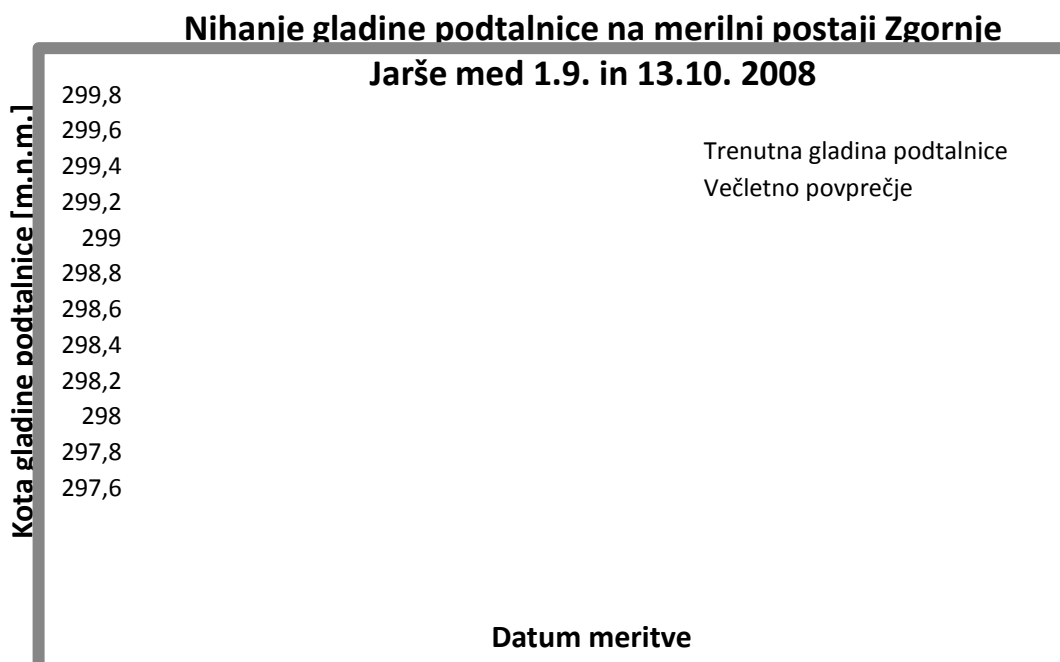
Predvsem daljša sušna obdobja precej vplivajo na stanje gladine podtalnice, enkratne padavinske dogodke pa je na gladini podtalnice komaj zaznati. Kot sem že omenil pri analizi pretokov Kamniške Bistrice, je bilo septembra 2008 precej manj padavin kot znaša dolgoletno povprečje na tem območju. Dva večja padavinska dogodka, ki sta se zgodila v tem času, pa nimata bistvenega vpliva na spremembo gladine podtalnice. Analiziral sem nihanje gladine v

obdobju med 1. septembrom in 13. oktobrom na merilnih postajah Preserje in Zgornje Jarše, ki se nahajata v bližini problematičnega odseka struge Kamniške Bistrice, med jezom Volčji Potok in sotočjem z Račo.



Grafikon 14: Nihanje gladine podtalnice med 31. avgustom in 15. oktobrom 2008 na merilni postaji Preserje ter primerjava z večletnim povprečjem

Na merilni postaji v Preserjeh se globina gladine podtalnice meri kot trenutni odčitek vrednosti z intervalom meritev pet dni, zato je prikazan grafikon datumsko nekoliko razširjen. Velika perioda odčitavanj izravna dva manjša padavinska dogodka, ki sta se zgodila v tem obdobju. Na grafikonu (Grafikon 14) ni opaziti niti manjših nihanj zaradi padavin. Zaradi daljšega predhodnega sušnega obdobja je večino padlega dežja najverjetneje zadržala že presušena zgornja humusna plast. Nivo podtalnice v času opazovanja gladko pada s hitrostjo 10 cm na dan. Pod večletno povprečno vrednost (304,11 m.n.m.) pade med 20. in 25. septembrom, minimalno vrednost (303,21 m.n.m.) pa doseže 10. oktobra, ko se trend padanja obrne in začne nivo podtalnice rasti.



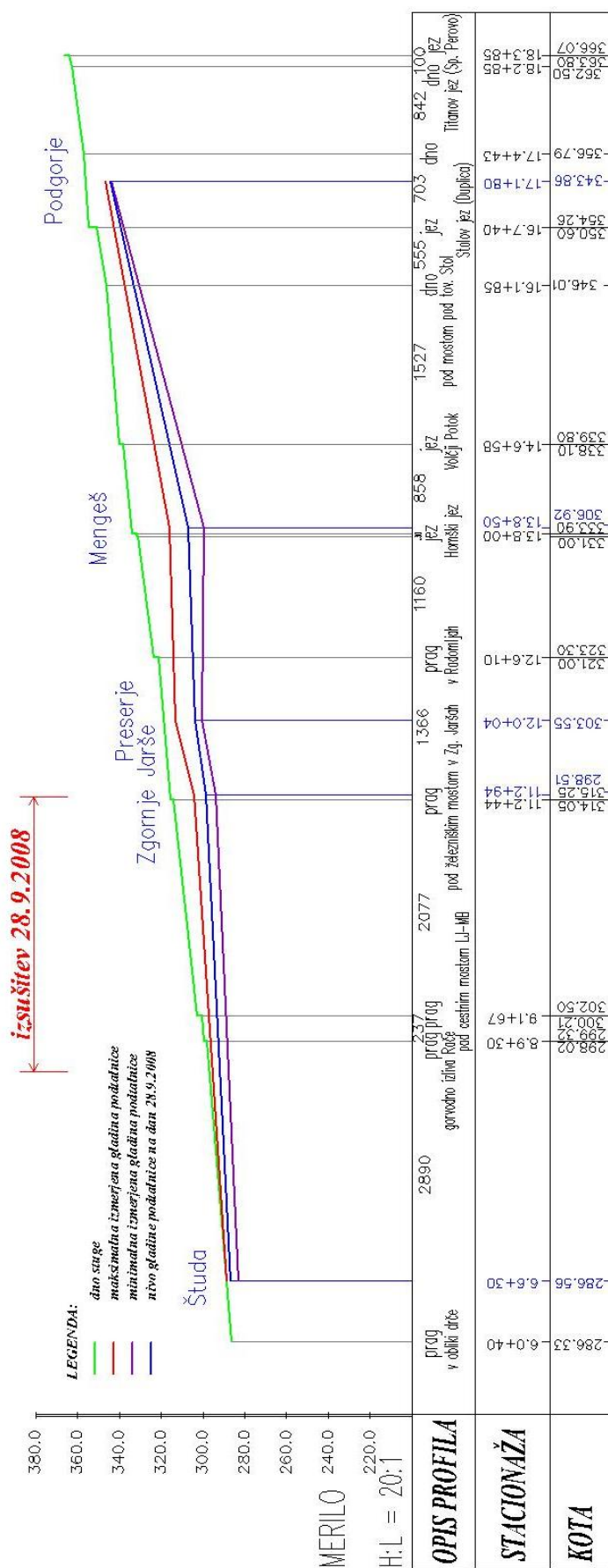
Grafikon 15: Nihanje gladine podtalnice med 1. septembrom in 13. oktobrom 2008 na merilni postaji Zgornje Jarše ter primerjava z večletnim povprečjem

Merilna postaja Zgornje Jarše ima nameščeno tlačno sondo in podatkovni zapisovalec, ki avtomatsko beleži urne podatke o gladini podtalnice. Kljub prikazu povprečnih dnevni vrednosti se na Grafikonu 15 jasno vidi dve lokalni konici oziroma rahla dviga podtalnice ob manjših padavinskih dogodkih. Prvi dvig gladine ima vrh 15. septembra, drugi pa 5. oktobra. V obeh primerih gre le za dnevni dvig gladine podtalnice. Če izvzamemo ti dve lokalni anomaliji, lahko rečemo, da nivo gladine podtalnice dokaj enakomerno pada s hitrostjo približno 4 cm na dan. Pod večletno povprečno vrednost (298.53 m.n.m.) pade šele med 26. in 27. septembrom. Po 9. oktobru se trend padanja gladine nekoliko umiri in doseže minimalno vrednost (298.32 m.n.m.) 13. oktobra.

6 PRIMERJAVA GLADIN PODTALNICE IN KAMNIŠKE BISTRICE

Glede na to, da merilna mesta podtalnice niso locirana neposredno ob glavni strugi Kamniške Bistrice, sem izvedel prenos gladin podtalnice pravokotno na os struge ob predpostavki, da hidroizohipse potekajo približno v tej smeri. Ker nas zanima predvsem dogajanje ob nizkih vodostajih, lahko aproksimiramo gladino nizkih voda s koto dna. Ko po široki strugi Kamniške Bistrice teče le nekaj 100 litrov vode na sekundo, je debelina vodne plasti na prelivih pragov in jezov (znane kote) namreč le nekaj centimetrov, kar pa je zanemarljivo.

Primerjavo gladin sem izvedel na vzdolžnem profilu Kamniške Bistrice med Domžalami in Kamnikom (Slika 20), kjer je prikazano dno struge (zelena črta), maksimalne (rdeča črta) in minimalne (vijolična črta) izmerjene gladine podtalnice v večletnem opazovanem časovnem obdobju (določene v poglavju 5.2) ter nivo gladine podtalnice na dan 28. septembra 2008 (modra črta). Vzdolžni profil dna struge je bil sestavljen iz znanih podatkov o kotah prelivov (fiksne točke) in podslapij oziroma stopenj jezov in pragov (Hidrotehnik, 2009).

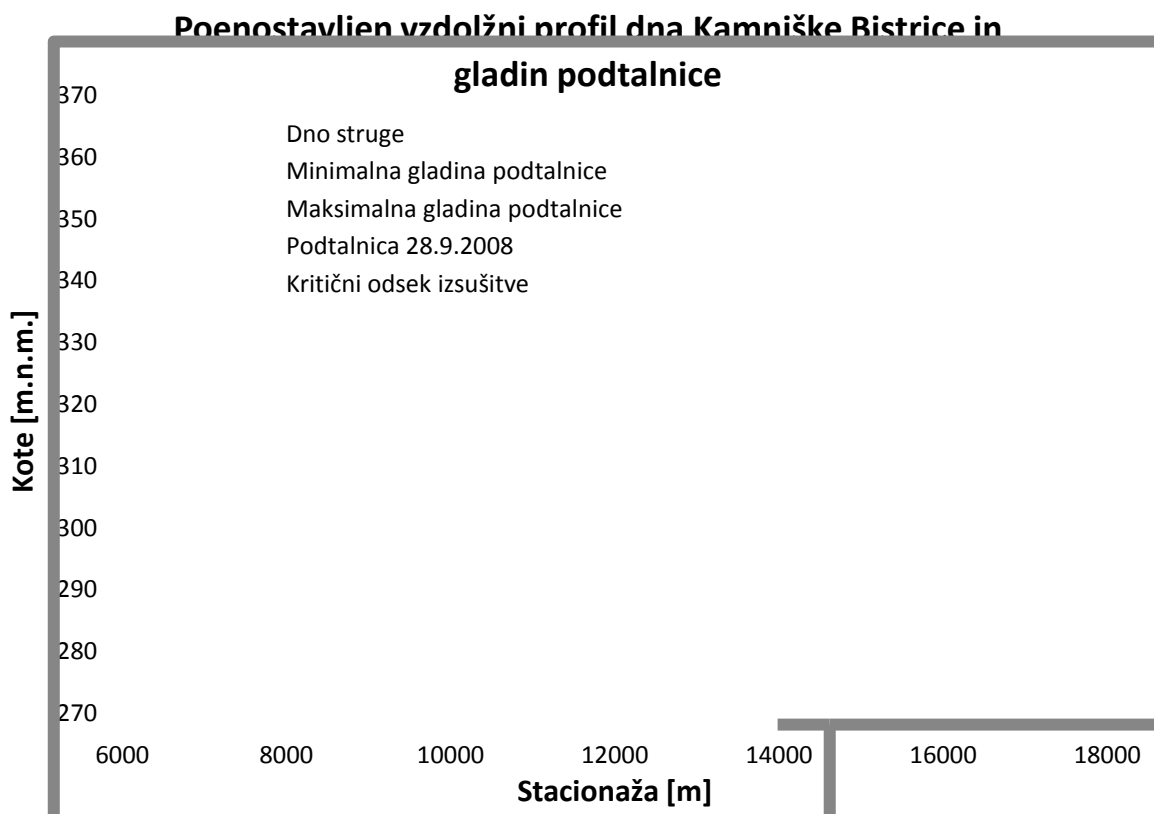


Slika 20: Vzdolžni prerez Kamniške Bistrice in gladine podtalnice (najvišje in najnižje izmerjene ter stanje na dan 28.9.2008)

V nadaljevanju je prikazan povzetek vzdolžnega prereza v primerjalni tabeli in na grafikonu.

Preglednica 7: Primerjava gladin podtalnice z dnom struge oziroma gladino nizkih voda Kamniške Bistrice

| Stacionaža | Merilna postaja | Kota dna struge | Ekstremne izmerjene vrednosti gladine podtalnice | | Kota gladine podtalnice na dan 28.9.2008 |
|------------|-----------------|-----------------|--|------------|--|
| | | | minimalne | maksimalne | |
| [km] | | [m.n.m.] | [m.n.m.] | [m.n.m.] | [m.n.m.] |
| 6.630 | Študa | 288.99 | 283.05 | 288 | 286.56 |
| 11.294 | Zgornje Jarše | 315.46 | 293.61 | 303.79 | 298.51 |
| 12.004 | Preserje | 318.45 | 300.04 | 312.86 | 303.55 |
| 13.850 | Mengeš | 334.14 | 299.48 | 315.61 | 306.92 |
| 17.180 | Podgorje | 355.84 | 323.66 | 346.52 | 343.86 |



Grafikon 16: Poenostavljen vzdolžni profil dna Kamniške Bistrice in gladin podtalnice

Grafikon 16 prikazuje poenostavljen vzdolžni potek dna struge oziroma približka gladine nizkih voda ter razpon nihanja podtalnice v daljšem časovnem obdobju. Vijoličasta črta predstavlja gladino podtalnice dne 28. 9. 2008, torej na dan, ko je bila znana popolna presušitev struge Kamniške Bistrice na odseku med pragom pri papirnici v Količevem in pritokom Rače.

Tako v Preglednici 7 kot na Grafikonu 16 lahko opazimo, da gladina podtalnice na celotnem opazovanem odseku med Domžalami in Kamnikom nikoli ne dosega nivoja dna struge. Šele pod Domžalami se podtalnica ob visokih vodostajih prične približevati nivoju struge in jo dolvodno najverjetneje začne tudi napajati. Iz tega lahko sklepamo, da nivo podtalnice med Kamnikom in Domžalami ne vpliva na količino vode v strugi Kamniške Bistrice. Na kritičnem odseku se je podtalnica približala dnu struge na največ 2 metra. Nizke in srednje gladine podtalnice pa so globoko pod dnom.

Dne 28. 9. 2008 so bile gladine podtalnice kljub zelo sušnemu septembru tistega leta večinoma le nekoliko pod povprečnimi vrednostmi, iz česar bi lahko sklepali na možnost povečanega napajanja iz struge Kamniške Bistrice.

7 MERITVE

Za bolj točno analizo nizkih pretokov oziroma vodno bilanco v strugi Kamniške Bistrice obstoječa stalna mreža merjenja pretokov ne zadostuje, zato je bilo potrebno izvesti dodatne meritve. Ker so vse meritve izvedene le v krajšem časovnem obdobju leta 2009 (junij, julij in avgust), tudi ti podatki ne prikazujejo popolne slike, vendar se vseeno lahko z rezultati teh meritev ustvari slika dogajanja in problematike. Poleg meritev pretokov sem izvedel tudi linijsko analizo prodišč in meritve infiltracije po dveh metodah na več lokacijah.

7.1 Meritve pretokov

Izvedel sem več meritev pretokov Kamniške Bistrice in mlinščic (Radomeljske in Homške mlinščice) na odseku med Kamnikom in Domžalami. Meritvene profile sem postavil na vseh večjih vtokih oziroma iztokih ter na vmesnih lokacijah. Tako sem dobil pregledno bilanco pretokov in razlik na posameznem odseku glavne struge in obeh mlinščic.



Slika 21: Meritev pretokov na Homški mlinščici (levo) in meritev pretokov na Kamniški Bistrici (desno) (foto: Lunka, 6. 2009)

7.1.1 Merilna oprema

Pretoke sem meril s pomočjo Dopplerjevega profilnega merilca pretočnih hitrosti (FlowTracker Handheld ADV proizvajalca Sontek). Za postavitev merjenega profila sem uporabil tračni meter dolžine 30 m, ki sem ga pritrdil na nasprotna bregova pravokotno na os

struge. Za stacioniranje merilnega inštrumenta na različne globine sem uporabil prilagojeno stojalo.

FlowTracker Handheld ADV, Sontek (merilec pretočnih hitrosti) in pripadajoča oprema

Tehnični podatki:

- razpon merskih hitrosti: 0,01-500 cm/s
- vzorčna prostornina: 0,25 cm³
- minimalna merska globina: 2 cm
- točnost meritve: ±1 % merjene hitrosti
- frekvenca merjenja: 10 impulzov/s
- frekvenca zapisa merskih podatkov: 1/s
- natančnost temperaturnega senzorja: 0,1 °C
- minimalni SNR (razmerje signal : šum): 3
- čas merjenja na posameznem merskem mestu: 10 – 1000 s
- interni spomin: 64 datotek (po 100 merilnih mest)

Profilni merilec pretočnih hitrosti FlowTracker Handheld ADV, ki deluje na osnovi Dopplerjevega pojava, je sodoben merilni instrument za natančno, hitro in enostavno merjenje hitrosti vode na terenu. Upravlja se z ročnim upravljalnikom, ki vsebuje procesorsko elektroniko, baterije, tipkovnico, zaslon LCD in zunanji priključek. Tipkovnica je nameščena na sprednji strani ročnega upravljalnika in je namenjena vnašanju ukazov in merskih parametrov. Zaslona LCD se uporablja za prikaz vnesenih parametrov, izbora ukazov in dejanskih izmerjenih količin. Zunanji priključek omogoča prenos podatkov z instrumenta na osebni računalnik. Sonda in ročni upravljalnik sta povezana mehansko z dolgim upogljivim kablom. Sonda je sestavljena iz oddajnika in treh sprejemnikov kratkih pulzov zvočnih valov določene frekvence ter temperaturnega senzorja. Podatki o temperaturi vode se uporabljajo za avtomatsko uravnavanje sprememb hitrosti zvoka, podatek o temperaturi vode pa lahko prikažemo tudi na zaslonu. Med izvajanjem meritev sondo in instrument pritrdimo na posebno stojalo (Slika 22). Le to je opremljeno z merilno skalo, ki omogoča enostavno nastavitve sonde na željeno globino merjenja in odčitavanje globine vode na merjenem mestu.



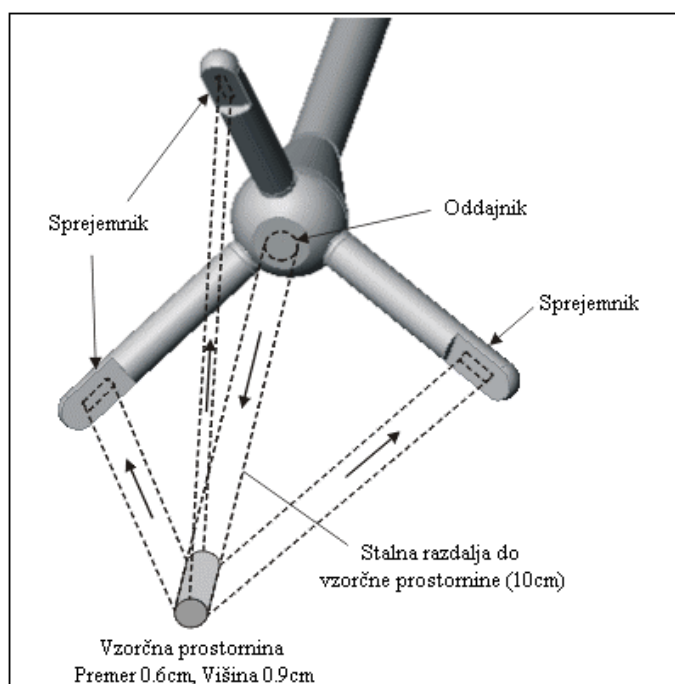
Slika 22: Fotografija sonde in merilnega instrumenta na posebnem stojalu

(foto: Bogataj, 20. 7. 2009)

FlowTracker Handheld ADV se lahko uporablja za:

- merjenje pretokov v naravnih vodotokih (uporaba uveljavljenih USGS/ISO metod),
- merjenje pretokov v kanalih s prosto gladino,
- meritve v velikih cevovodih,
- meritve v rudniških rovih,
- večtočkovne meritve hitrosti,
- monitoring na napravah za oskrbo z vodo.

Dopplerjev merilec pretočnih hitrosti določa hitrosti vode z merjenjem spremembe v frekvenci zvoka, ki se odbija od posameznih suspendiranih snovi v vodi (problem meritev v zelo čistih vodah npr. Soča). FlowTracker je bistatični merilni instrument, kar pomeni, da se za oddajnik in sprejemnik uporabljajo ločeni zvočni elementi. Oddajnik in sprejemniki so postavljeni tako, da se njihovi žarki sekajo v majhni prostornini vode, imenovani vzorčna prostornina, ki je od osrednjega oddajnika oddaljena 10 cm (Slika 23).

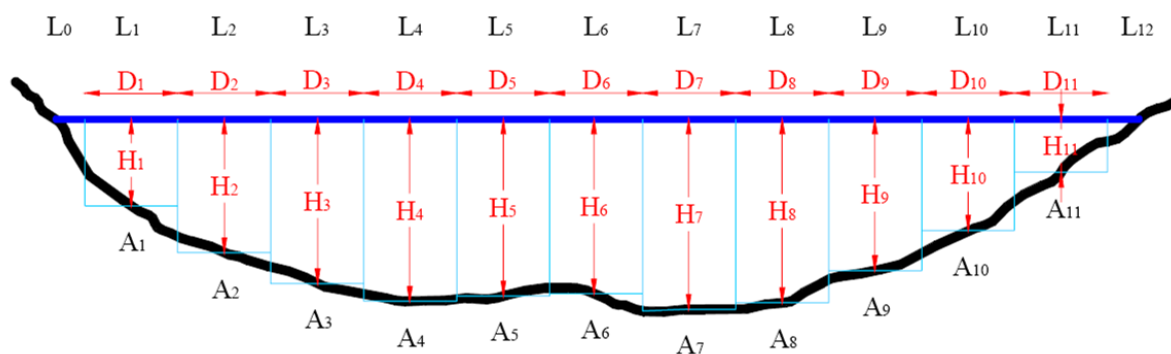


Slika 23: 2D/3D sonda in lega vzorčne prostornine (vir: <http://ksh.fgg.uni-lj.si>, 2009)

FlowTracker Handheld ADV merilec pretočnih hitrosti ima v procesor vgrajen poseben algoritem, ki omogoča tudi izračun pretoka na podlagi merjenih pretočnih hitrosti in vnesenih podatkov o lokaciji posamezne meritve v prečnem prerezu. Pridobivanje podatkov za izračun pretoka se izvede s postopnim pomikanjem čez vodotok v ravni liniji in merjenjem hitrosti na različnih mestih po vsem prečnem prerezu. Za označitev prečnega prereza se uporabi tračni meter, ki se ga napelje med obe brežini pravokotno na os struge (Slika 24). Na metru se odčitava lokacijo obeh brežin in horizontalne premike oziroma stacionažo meritve, ki se jo vpiše v sam instrument. Prav tako je potrebno na vsakem merilnem mestu odčitati globino vode na skali stojala instrumenta. Meritve pretočnih hitrosti se lahko izvajajo na eni ($0,6 \cdot H$), dveh ($0,2$ in $0,8 \cdot H$) ali treh ($0,2$; $0,6$ in $0,8 \cdot H$) globinah vode, kjer je H globina vode na merilnem mestu, rezultat pa pomeni globino postavitve merilne sonde od gladine vode. Gre za standardno merjenje pretokov, ki upošteva uveljavljene USGS/ISO metode.



Slika 24: Za merjenje pretokov poleg merilnega instrumenta s sondo in stojalom potrebujemo tudi tračni meter in pritrdilna klina (foto: Bogataj, 20. 7. 2009)



Slika 25: Skica prečnega prereza (vir: <http://ksh.fgg.uni-lj.si>, 2009)

Princip izračuna pretoka:

Izračun širine posameznega odseka (D_i)

$$D_i = \frac{L_{i+1} - L_i}{2} + \frac{L_i - L_{i-1}}{2} \quad (1)$$

L_i predstavlja lokacijo odseka (odčitek na metru raztegnjenem preko struge). Z znano širino odseka in globino vode (H_i) lahko izračunamo površino odseka (A_i)

$$A_i = D_i \times H_i \quad (2)$$

Z znano površino posameznega odseka in povprečno hitrostjo vode na tem odseku (V_i) lahko izračunamo pretok posameznega odseka (Q_i).

$$Q_i = A_i \times V_i \quad (3)$$

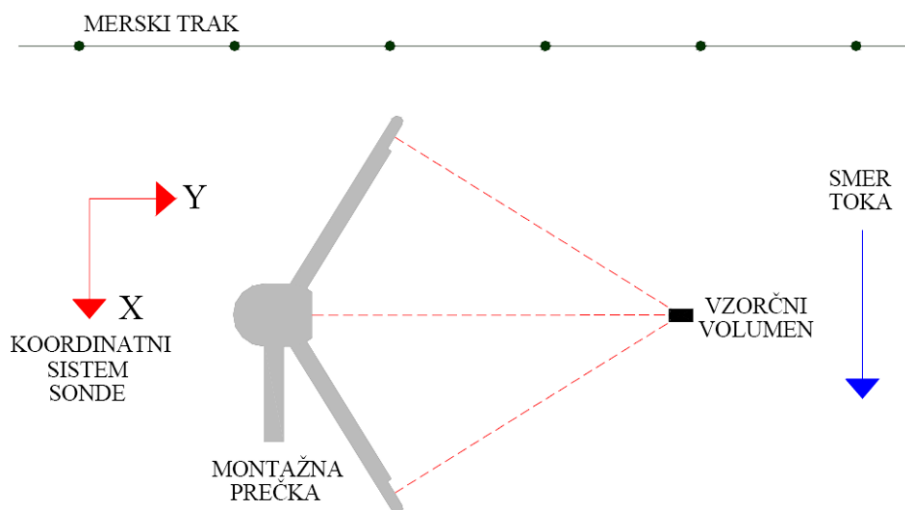
Ko nato seštejemo vse delne pretoke na prečnem profilu (Q_i), dobimo skupni pretok preko postavljenega profila.

$$Q = \sum(Q_i) \quad (4)$$

Sam instrument računa tudi kakovost meritve na posameznem profilu. Ob vsaki meritvi instrument opozarja na morebitna prevelika odstopanja vsakega izmed merjenih parametrov (mejne vrednosti so nastavljive). Ob izpisu rezultatov (primer v Prilogi A) pa instrument poda tudi točnost meritve, ki je odvisna od:

- SNR (signal-to-noise ratio) - razmerje med signalom in šumom kot merilo jakosti odbitih zvočnih impulzov,
- standardna napaka hitrosti (povzamemo jo lahko kot natančnost srednje hitrosti v merskem intervalu),
- robna uravnava (upoštevanje zvočnih motenj, ki so posledica odboja zvočnih impulzov od raznih ovir v pretočnem profilu),
- kot toka vode (pri izračunu pretoka se uporablja samo komponenta toka v smeri toka vode (X))

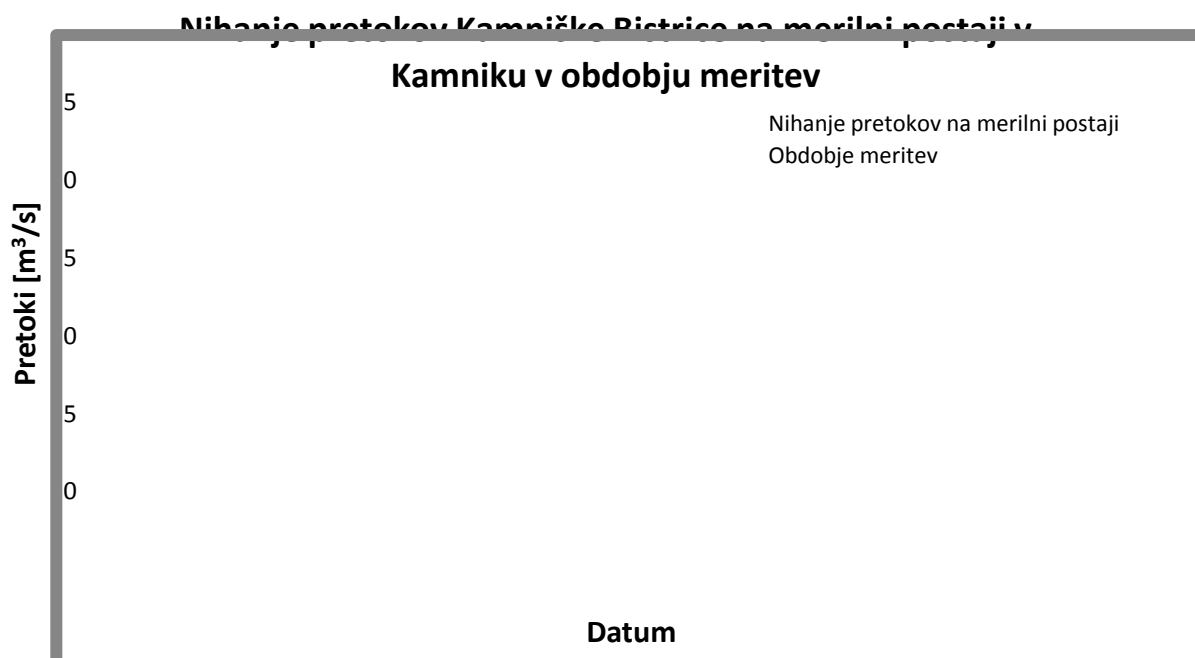
V praksi se te napake oziroma maksimalna odstopanja običajno gibljejo nekje od 2 do 7 %, odvisno od merjenega profila in upoštevanja opozoril.



Slika 26: Tloris pravilne postavitve merilne sonde glede na smer toka vode (vir: <http://ksh.fgg.uni-lj.si>, 2009)

7.1.2 Obdobje meritev

Meritve pretokov na Kamniški Bistrici sem izvajal v času konic nizkih pretokov oziroma tik pred napovedanim padavinskim dogodkom. Žal je obdobje primerno za merjenje pretokov s postopkom merjenja hitrosti po prečnem prerezu na večjih vodotokih zelo omejeno. Za potrebe naloge sem potreboval meritve na nizkih oziroma ekstremno nizkih pretokih. Ti pretoki ponavadi nastopijo dvakrat letno, v zimskih mesecih (januar in februar), ko je fizično merjenje v vodi zaradi nizkih temperatur zelo težko izvedljivo, ter ob koncu poletja v mesecih avgust in september. Torej sem z meritvami pretokov moral počakati do poletnih mesecev. Pretoki v času prvih dveh meritev kljub temu niso dosegali nizkih pretokov, saj je bilo leto 2009 med marcem in julijem izredno mokro. V visokogorju je tudi v začetku poletja zapadel nov sneg in tako povzročil povišanje pretokov zaradi taljenja tudi v obdobju brez padavin. Avgust pa je bil podpovprečno suh, tako da sem lahko izvedel tudi dve meritvi v času nizkih pretokov. Nihanje pretokov sem spremljal preko podatkov na spletni strani ARSO (<http://www.arso.gov.si/>), kjer so dostopni podatki o vodostaju iz merilne postaje Kamnik I. Iz te postaje se v časovnem intervalu 30 minut v realnem času izpisujejo podatki o globini vode in temperaturi, informativno pa so preračunani tudi podatki o pretokih. Na Grafikonu 17 je prikazano nihanje pretokov v obdobju merjenja (ARSO, 2009).

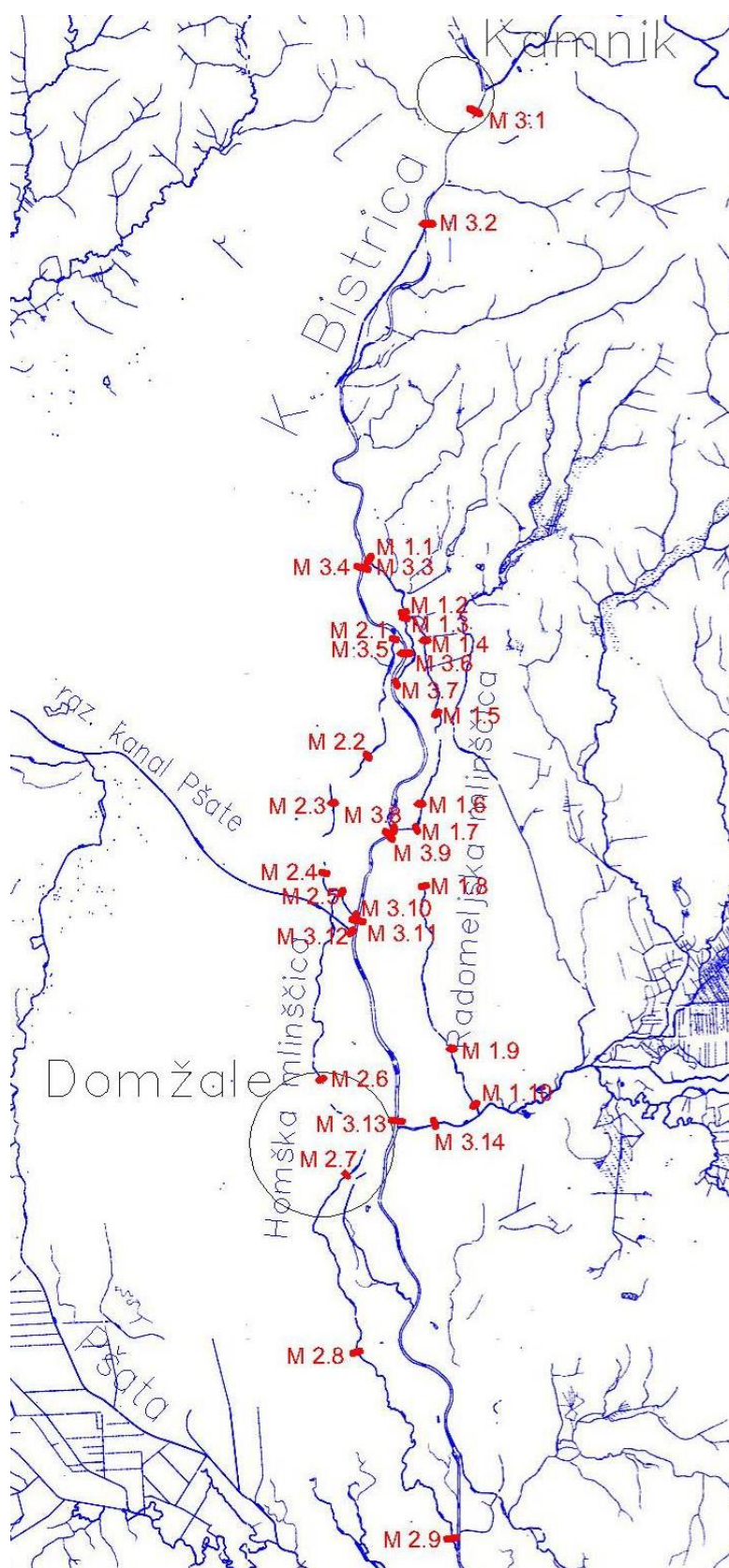


Grafikon 17: Nihanje pretokov Kamniške Bistrice na merilni postaji Kamnik I v času meritev pretokov v strugi Kamniške Bistrice

Kljub temu, da je merilna postaja v Kamniku avtomatska in se podatki na spletno stran prenašajo samodejno, pa nastanejo posamezna krajša obdobja, ko podatki na spletni strani zaradi tehničnih težav niso dostopni (prekinjena črta).

7.1.3 Rezultati meritev in analiza

Izvedel sem pet meritev pretokov na glavni strugi in tri meritve na obeh problematičnih mlinščicah med Kamnikom in Domžalami. Merilna mesta sem izbral pri vsakem pritoku oziroma iztoku ter na vmesnih lokacijah. Lokacije merilnih mest so prikazane na Sliki 27.



Slika 27: Lokacije merjenja pretokov

7.1.3.1 Radomeljska mlinščica

Pretoke na Radomeljski mlinščici sem meril 12. junija, 16. julija ter 7. in 27. avgusta. Vodostaji na Kamniški Bistrici so bili v času prvih dveh meritev srednji, v času tretje meritve nizki srednji, v času zadnje meritve pa nizki. Odvzet pretok je bil v času prvih treh meritev visok in približno konstanten, v času zadnje pa nekoliko nižji. Podatki o merilnih mestih so prikazani v Preglednici 8, rezultati meritev pa v Preglednici 9.

Preglednica 8: Podatki o merilnih mestih na Radomeljski mlinščici

| Zap. št. | Oznaka | Vodotok | Kraj | Opis merilnega mesta | Stacionaža po osi struge | Lokacija (Gauss-Kriegerjev koordinatni sistem) | |
|----------|--------|--|--------------|---|--------------------------|--|--------|
| | | | | | | [km] | Y |
| 1 | M 1.1 | Radomeljska mlinščica | Volčji potok | približno 30 m dolvodno vtoka v mlinščico | 5,730 | 469595 | 116033 |
| 2 | M 1.2 | Radomeljska mlinščica | Hudo | približno 35 m gorvodno vtoka v razbremenilnik v Hudem | 5,100 | 469908 | 115560 |
| 3 | M 1.3 | Radomeljska mlinščica (razbremenilnik) | Hudo | približno 30 m dolvodno iztoka iz mlinščice v Hudem | 5,065 | 469916 | 115501 |
| 4 | M 1.4 | Radomeljska mlinščica | Hudo | približno 300 m dolvodno vtoka v razbremenilnik v Hudem | 4,740 | 470100 | 115301 |
| 5 | M 1.5 | Radomeljska mlinščica | Radomlje | približno 30 m dolvodno starega obokanega mostu v Radomljah | 4,050 | 470202 | 114648 |
| 6 | M 1.6 | Radomeljska mlinščica | Škrjančevo | Škrjančevo, približno 200 m gorvodno vtoka v razbremenilnik | 3,120 | 470057 | 113823 |

se nadaljuje ...

... nadaljevanje

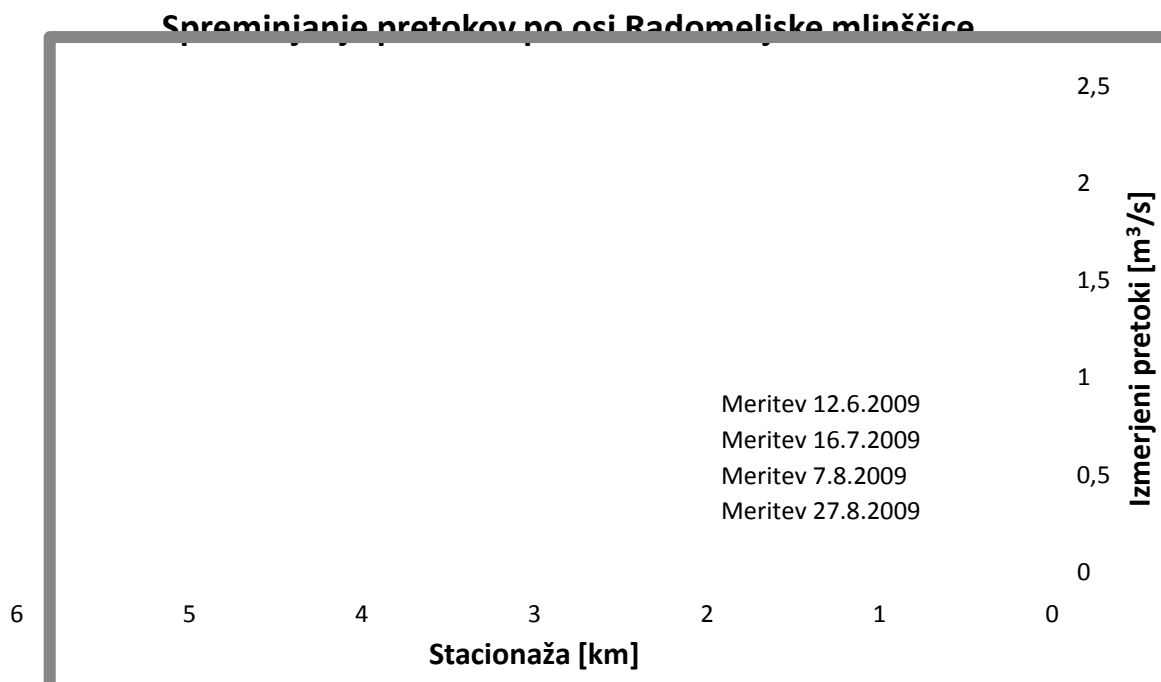
| Zap. št. | Oznaka | Vodotok | Kraj | Opis merilnega mesta | Stacionaža po osi struge | Lokacija (Gauss-Kriegerjev koordinatni sistem) | |
|----------|--------|--|------------|---|--------------------------|--|--------|
| | | | | | | [km] | Y |
| 7 | M 1.7 | Radomeljska mlinščica (razbremenilnik) | Škrjančevo | razbremenilnik pri iztoku iz mlinščice nad Papirnico Količevo | 2,920 | 470019 | 113606 |
| 8 | M 1.8 | Radomeljska mlinščica | Količevo | pri iztoku pod Papirnico Količevo | 2,300 | 470089 | 113088 |
| 9 | M 1.9 | Radomeljska mlinščica | Vir | pri silosih tovarne Žito | 0,670 | 470337 | 111615 |
| 10 | M 1.10 | Radomeljska mlinščica | Podrečje | približno 100 m gorvodno sotočja z Račo v Podrečju | 0,090 | 470545 | 111117 |

Na Radomeljski mlinščici sem izvajal meritve v 10 profilih, od tega sta bila dva merilna profila postavljena na iztoku razbremenilnika iz mlinščice. Lokacije merjenih profilov sem izbiral na mestih predvidene spremembe pretokov (pred in za pokritim kanalom, ob koncu travnikov in naselij ter pred oziroma po odcepih razbremenilnih kanalov). Stacionaža posameznega merilnega mesta je merjena po osi struge od izliva v Račo gorvodno.

Preglednica 9: Rezultati meritev pretokov na Radomeljski mlinščici

| Zap. št. | Oznaka | MERITEV 1 | | MERITEV 2 | | MERITEV 3 | | MERITEV 4 | |
|----------|--------|---------------------------|---------------------|---------------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------|---------------------|
| | | Izmerjen pretok 12.6.2009 | Ura začetka meritve | Izmerjen pretok 16.7.2009 | Ura začetka meritve | Izmerjen pretok 7.8.2009 | Ura začetka meritve | Izmerjen pretok 27.8.2009 | Ura začetka meritve |
| | | [m ³ /s] | | [m ³ /s] | | [m ³ /s] | | [m ³ /s] | |
| 1 | M 1.1 | 1,862 | 16:50 | 1,956 | 8:36 | 1,939 | 8:37 | 1,446 | 11:15 |
| 2 | M 1.2 | 1,829 | 16:12 | 1,858 | 9:11 | 2,123 | 9:03 | 1,327 | 9:45 |
| 3 | M 1.3 | 0,050 | 15:55 | 0,064 | 9:30 | 0,055 | 9:28 | 0,015 | 10:05 |
| 4 | M 1.4 | 1,878 | 15:44 | 1,780 | 9:59 | 2,070 | 9:45 | 1,259 | 11:37 |
| 5 | M 1.5 | 1,804 | 14:33 | 1,693 | 11:04 | 2,006 | 10:21 | 1,275 | 11:55 |
| 6 | M 1.6 | 1,832 | 13:25 | 1,606 | 11:44 | 2,004 | 10:44 | 1,263 | 10:35 |
| 7 | M 1.7 | 0,130 | 13:05 | 0,005 | 12:10 | 0,070 | 11:00 | 0,010 | 10:45 |
| 8 | M 1.8 | 1,606 | 12:13 | 1,541 | 12:21 | 1,795 | 11:23 | 1,243 | 12:30 |
| 9 | M 1.9 | / | / | 1,541 | 14:00 | 1,669 | 12:22 | 1,228 | 13:19 |
| 10 | M 1.10 | 1,732 | 11:06 | 1,647 | 13:00 | 1,748 | 12:43 | 1,212 | 13:54 |

V času prvega merjenja sem zabeležil nepredviden porast pretoka med profiloma M 1.8 in M 1.10, zato sem v nadaljnjih merjenjih meril pretoke na dodatnem vmesnem profilu. Pri zadnji meritvi pa je med merjenjem prišlo do nepredvidenega manevriranja z zapornicami, saj se je pretok, kljub stalno zelo nizkem vodostaju Kamniške Bistrice, v zelo kratkem časovnem intervalu dvignil iz 1,3 m³/s na preko 1,6 m³/s in nato ponovno padel na 1,4 m³/s. Zaradi nepredvidenega dogodka sem meritve ponovil.



Grafikon 18: Spreminjanje merjenih pretokov po osi struge Radomeljske mlinščice

Na Grafikonu 18 je prikazano spreminjanje pretokov vzdolž osi mlinščice od odvzemnega mesta v Volčjem Potoku do izliva v Račo. Pri grafičnem prikazu sem upošteval vse znane pritoke oziroma iztoke, ki se na grafikonu vidijo kot zob oziroma točkovna sprememba pretoka. Naklon posamezne linije pa pomeni dejansko znižanje pretoka zaradi infiltracije oziroma pronicanja vode v podtalnico. Najvišji vodostaj mlinščice je bil zabeležen ob meritvah dne 7. avgusta, ko je bil vodostaj na Kamniški Bistrici nizek srednji. V časovnem razmiku med prvo in drugo meritvijo tega dne je najverjetneje prišlo do dviga zapornic na odvzemu v Volčjem Potoku, zato je prva meritev neuporabna za primerjavo. Nekaj nepredvidenega nihanja je tudi v meritvi z dne 12. junij. To nihanje oziroma napako lahko deloma pripišemo tudi prvim meritvam pretokov oziroma neizkušenosti pri izbiranju merilnega profila. Generalno gledano je pri vseh meritvah na Radomeljski mlinščici opaziti trend upadanja pretokov vzdolž osi dolvodno. Izjema je le zadnji odsek (med silosi tovarne Žito in izlivom v Račo), na katerem sem kar v treh meritvah od štirih zabeležil povečanje pretoka. Razlog je najverjetneje v neevidentiranem izpustu na tem odseku ali manj verjetni vpliv podtalnice, za katero levoobrežno Kamniške Bistrice nimamo podatkov. Pri zadnji

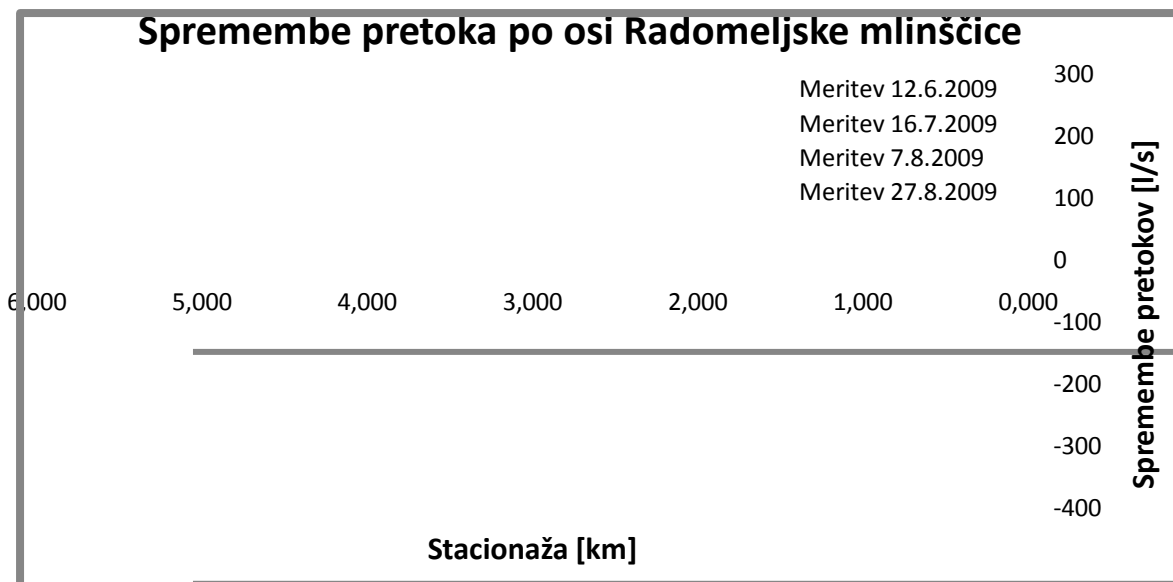
meritvi (v izredno sušnem obdobju) tega vpliva pri meritvah ni zaznati. Konkretni izračun količin vode, ki izhajajo iz Radomeljske mlinščice v podtalje, sem določil v Preglednici 10.

Preglednica 10: Izračun izgub zaradi pronicanja vode iz struge Radomeljske mlinščice v podtalnico

| Mer. prof. | Ods. | Lega | L | MERITEV 1 | | | MERITEV 2 | | | MERITEV 3 | | | MERITEV 4 | | |
|----------------|------|-------------------------|-------------|------------|----------|------------|-------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|
| | | | | ΔQ | | | ΔQ | | | ΔQ | | | ΔQ | | |
| | | | | [km] | [km] | [l/s] | [l/s/km'] | [%] | [l/s] | [l/s/km'] | [%] | [l/s] | [l/s/km'] | [%] | [l/s] |
| M 1.1 | 1 | 5,100 -5,730 | 0,63 | -33 | -52 | -1,8 | -98 | -156 | -5,0 | 184 | 292 | 9,5 | -119 | -189 | -8,2 |
| M 1.2 | 2 | 4,740 -5,100 | 0,36 | 99 | 275 | 5,4 | -14 | -39 | -0,8 | 2 | 6 | 0,1 | -53 | -147 | -4,0 |
| M 1.4 | 3 | 4,050 - 4,750 | 0,70 | -74 | -106 | -3,9 | -87 | -124 | -4,9 | -64 | -91 | -3,1 | 16 | 23 | 1,3 |
| M 1.5 | 4 | 3,120 - 4,050 | 0,93 | 28 | 30 | 1,6 | -87 | -94 | -5,1 | -2 | -2 | -0,1 | -12 | -13 | -0,9 |
| M 1.6 | 5 | 2,300 - 3,120 | 0,82 | -96 | -117 | -5,2 | -60 | -73 | -3,7 | -139 | -170 | -6,9 | -10 | -12 | -0,8 |
| M 1.8 | 6 | 0,670 - 2,300 | 1,63 | 0 | 0 | 0,0 | 0 | 0 | 0,0 | -126 | -77 | -7,6 | -15 | -9 | -1,2 |
| M 1.9 | 7 | 0,090 - 0,670 | 0,58 | 126 | 217 | 7,8 | 106 | 183 | 6,9 | 79 | 137 | 4,8 | -16 | -28 | -1,3 |
| M 1.10 | | | | | | | | | | | | | | | |
| SKUPAJ: | | 0,090- 5,730 | 5,65 | 50 | 9 | 2,7 | -240 | -42 | -12 | -66 | -12 | -3,4 | -209 | -37 | -14 |

V Preglednici 10 je prikazana absolutna sprememba pretoka zaradi infiltracije, količina infiltrirane vode na tekoči kilometer struge in delež izgub v podtalnico na posameznem odseku med dvema meritvama pretokov na strugi mlinščice. Absolutne spremembe pretokov so prikazane tudi na Grafikonu 19. Če izvzamemo zadnji odsek, kjer v strugo doteka nepredviden dotok vode, se je dne 16. 7. 2009 iz struge Radomeljske mlinščice v podtalje zatekalo 346 l/s vode oziroma kar 12 % celotnega pretoka. Z izjemo drugega odseka je količina izgubljene vode vzdolž struge mlinščice upadala, dokler nista bila v profilih M 1.8 in

M 1.9 izmerjena pretoka popolnoma enaka. Pri zadnji meritvi dne 27. 8. 2009 je bil večji upad pretokov opaziti le na gorvodnem delu struge. Na prvih dveh odsekih se je izgubilo kar 82 % vseh izgub oziroma 172 l/s. Na celotni strugi pa se je izgubilo 209 l/s pretoka.



Grafikon 19: Vsota sprememb pretokov po osi struge Radomeljske mlinščice

7.1.3.2 Homška mlinščica

Na Homški mlinščici sem izvajal meritve v naslednjih dneh: 13. junij, 16. julij, 7. avgust in 27. avgust 2009. Tudi v tej mlinščici je bil pretok v času prvih treh meritev relativno visok in precej konstanten, v času zadnje meritve pa nekoliko znižan. Podatki o merilnih mestih so prikazani v Preglednici 11, rezultati meritev pa v Preglednici 12.

Preglednica 11: Podatki o merilnih mestih na Homški mlinščici

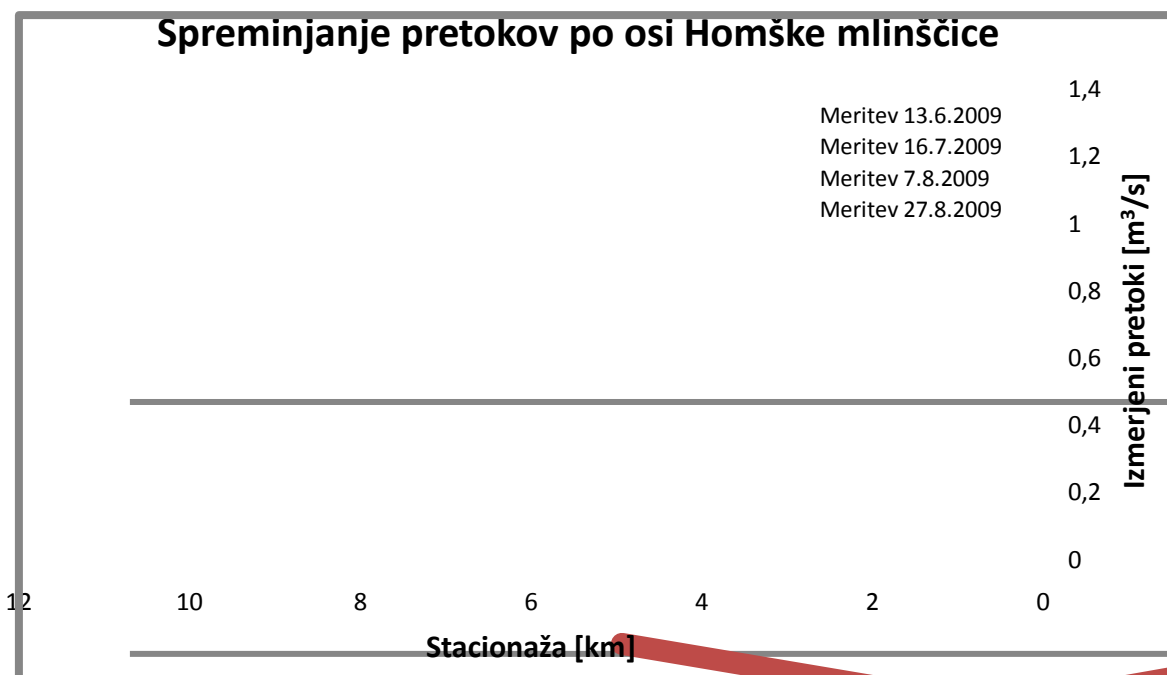
| Zap. št. | Oznaka | Vodotok | Kraj | Merilno mesto | Stacionaža | Lokacija (Gauss-Kriegerjev koordinatni sistem) | |
|----------|--------|-----------------------------------|---------------|---|------------|--|--------|
| | | | | | | [km] | Y |
| 1 | M 2.1 | Homška mlinščica | Homec | približno 40 m dolvodno vtoka v mlinščico | 10,460 | 469820 | 115313 |
| 2 | M 2.2 | Homška mlinščica | Homec | gorvodno mostu pri šoli v Homcu | 9,270 | 469581 | 114262 |
| 3 | M 2.3 | Homška mlinščica | Preserje | približno 30 m dolvodno mostu pri podjetju Lip Radomlje | 8,600 | 469271 | 113834 |
| 4 | M 2.4 | Homška mlinščica | Zgornje Jarše | pri iztoku pod podjetjem Induplati | 7,920 | 469189 | 113207 |
| 5 | M 2.5 | Homška mlinščica (razbremenilnik) | Zgornje Jarše | 10 m dolvodno vtoka v razbremenilnik | 7,630 | 469347 | 113035 |
| 6 | M 2.6 | Homška mlinščica | Rodica | gorvodno vtoka v pokrit kanal nad Domžalami | 5,700 | 469167 | 111347 |
| 7 | M 2.7 | Homška mlinščica | Domžale | gorvodno mostu pri Mercatorju v Domžalah | 4,580 | 469388 | 110481 |
| 8 | M 2.8 | Homška mlinščica | Študa | dolvodno naselja Študa | 2,700 | 469479 | 108884 |
| 9 | M 2.9 | Homška mlinščica | Mala Loka | približno 120 m gorvodno izliva v Kamniško Bistrico | 0,120 | 470336 | 107205 |

Pretoke na Homški mlinščici sem meril v osmih prečnih prerezih in enem prerezu na razbremenilniku mlinščice. Lokacije merjenih profilov sem izbiral na mestih verjetne lokalne spremembe pretokov (pred in za pokritim kanalom, pred oziroma po odcepu razbremenilnika). V zgornjem toku sem meritve izvajal gosteje, v spodnjem toku (pod Domžalami) pa le še v dveh prerezih, saj ta del mlinščice leži precej dolvodno obravnavanega odseka Kamniške Bistrice med Volčjim Potokom in sotočjem z Račo. Stacionaža posameznega merilnega mesta je merjena po osi struge od izliva v Kamniško Bistrico, v naselju Mala Loka v smeri gorvodno.

Preglednica 12: Rezultati meritev pretokov na Homški mlinščici

| Zap. št. | Oznaka | MERITEV 1 | | MERITEV 2 | | MERITEV 3 | | MERITEV 4 | |
|----------|--------|------------------------------|---------------------|------------------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------|------------------------------|---------------------|
| | | Izmerjen pretok 13.6.2009 | Ura začetka meritve | Izmerjen pretok 16.7.2009 | Ura začetka meritve | Izmerjen pretok 7.8.2009 | Ura začetka meritve | Izmerjen pretok 27.8.2009 | Ura začetka meritve |
| | | [m ³ /s] | | [m ³ /s] | | [m ³ /s] | | [m ³ /s] | |
| 1 | M 2.1 | 1,133 | 11:07 | 1,209 | 14:49 | 1,023 | 13:27 | 0,780 | 14:31 |
| 2 | M 2.2 | 1,014 | 11:53 | 1,159 | 15:29 | 1,039 | 14:08 | 0,705 | 15:08 |
| 3 | M 2.3 | 0,996 | 12:25 | 1,189 | 16:15 | 1,001 | 14:33 | 0,701 | 15:29 |
| 4 | M 2.4 | 0,989 | 13:16 | 1,279 | 16:40 | 0,997 | 14:57 | 0,685 | 15:50 |
| 5 | M 2.5 | 0,169 | 13:59 | 0,260 | 16:55 | 0,139 | 15:15 | 0,016 | 16:07 |
| 6 | M 2.6 | 0,871 | 14:52 | 0,967 | 17:22 | 0,797 | 15:44 | 0,594 | 16:32 |
| 7 | M 2.7 | 0,918 | 16:27 | 0,813 | 17:51 | 0,742 | 16:08 | 0,587 | 16:55 |
| 8 | M 2.8 | 0,786 | 17:10 | 0,846 | 18:44 | 0,709 | 16:36 | 0,569 | 17:19 |
| 9 | M 2.9 | / | / | 0,691 | 19:19 | 0,692 | 17:22 | 0,523 | 17:52 |

V času prvega merjenja zaradi tehničnih težav nisem mogel opraviti meritve pretoka v zadnjem dolvodnem profilu.



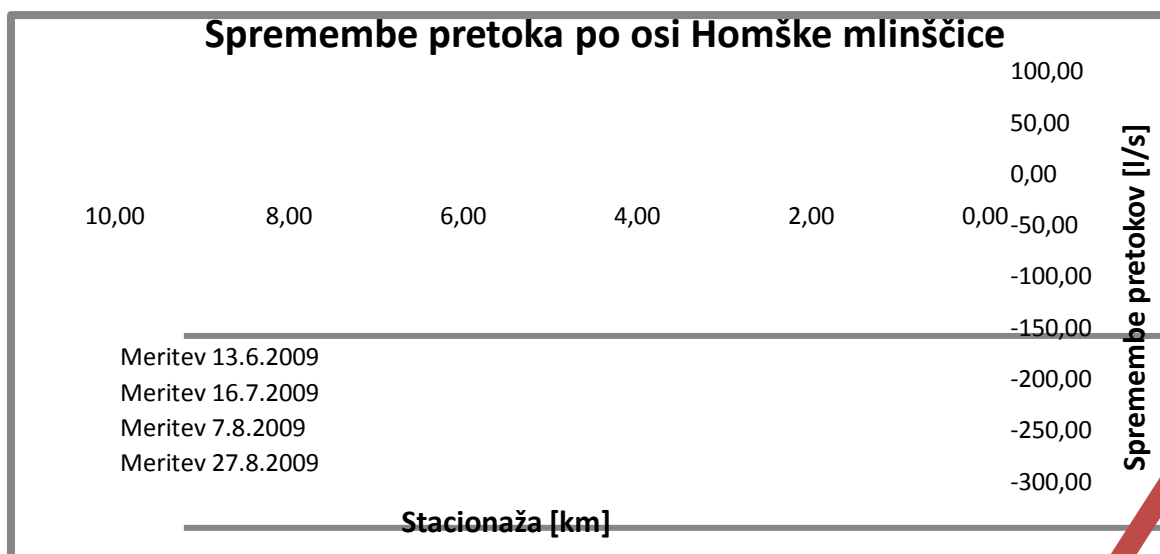
Grafikon 20: Spreminjanje merjenih pretokov po osi struge Homške mlinščice

Na Grafikonu 20 je prikazano spreminjanje pretokov vzdolž osi Homške mlinščice od odvzemnega mesta pod hribom Homec do izliva v Kamniško Bistrico dolvodno naselja Mala Loka. Najvišji vodostaj mlinščice je bil zabeležen na meritvah dne 16. julija, ki pa zaradi naglega dviga pretokov niso transparentne. Najnižji vodostaj Homške mlinščice pa je bil pričakovano izmerjen 27. avgusta. Pri meritvi dne 13. junija je opaziti velik vpliv merske napake. Tudi na tej mlinščici je opaziti trend upadanja pretokov vzdolž osi dolvodno. Izračun količine vode, ki izhaja iz Homške mlinščice v podtalje, sem določil v Preglednici 13.

Preglednica 13: Izračun izgub zaradi pronicanja vode iz struge Homške mlinščice v podtalnico

| Mer. prof. | Ods. | Lega | L | MERITEV 1 | | | MERITEV 2 | | | MERITEV 3 | | | MERITEV 4 | | |
|----------------|------|-----------------------|-------------|-------------|------------|------------|------------------------|------------|------------|------------------------|------------|--------------|------------------------|------------|------------|
| | | | | ΔQ | | | ΔQ | | | ΔQ | | | ΔQ | | |
| | | | | [km] | [km] | [l/s] | [l/s/km ²] | [%] | [l/s] | [l/s/km ²] | [%] | [l/s] | [l/s/km ²] | [%] | [l/s] |
| M 2.1 | 1 | 9,270 - 10,460 | 1,19 | -119 | -100 | -11 | -50 | -42 | -4,1 | 16 | 13 | 1,6 | -75 | -63 | -9,6 |
| M 2.2 | 2 | 8,600 - 9,270 | 0,67 | -18 | -27 | -1,8 | 30 | 45 | 2,6 | -38 | -57 | -3,7 | -4 | -6 | -0,6 |
| M 2.3 | 3 | 7,920 - 8,600 | 0,68 | -7 | -10 | -0,7 | 90 | 132 | 7,6 | -4 | -6 | -0,4 | -16 | -24 | -2,3 |
| M 2.4 | 4 | 5,700 - 7,920 | 2,22 | 51 | 23 | 5,2 | -52 | -23 | -4,1 | -61 | -27 | -6,1 | -75 | -34 | -11 |
| M 2.6 | 5 | 4,580 - 5,700 | 1,12 | 47 | 42 | 5,4 | -154 | -138 | -16 | -55 | -49 | -6,9 | -7 | -6 | -1,2 |
| M 2.7 | 6 | 2,700 - 4,580 | 1,88 | -132 | -70 | -14 | 33 | 18 | 4,1 | -33 | -18 | -4,4 | -18 | -10 | -3,1 |
| M 2.8 | 7 | 0,120 - 2,700 | 2,58 | 0 | 0 | 0,0 | -155 | -60 | -18 | -17 | -7 | -2,4 | -46 | -18 | -8,1 |
| M 2.9 | | | | | | | | | | | | | | | |
| SKUPAJ: | | 0,120 - 10,460 | 10,3 | -178 | -17 | -16 | -258 | -25 | -21 | -192 | -19 | -18,8 | -241 | -23 | -31 |

Za razliko od Radomeljske mlinščice, kjer je pronicanje vode v podtalnico izrazitejše v zgornjem toku, je pri Homški mlinščici dokaj enakomerno (nekaj odstopanj je pripisati tudi merski napaki). Po izračunih iz podatkov meritve 3 se na celotni strugi mlinščice izgubi 192 l/s pretoka, kar predstavlja skoraj 19 % začetnega pretoka. Zanimivo je, da so bile ob zadnji meritvi dne 27. avgusta, kljub precej nižjemu pretoku, zabeležene celo večje absolutne izgube kot 7. avgusta. Ob zadnji meritvi so absolutne izgube znašale 241 l/s oziroma kar 31 % začetnega pretoka. Razlog za tako velike izgube je najverjetneje v visokih temperaturah in veliki izsušenosti brežin. Dan pred meritvijo naj bi bila namreč gladina v strugi Homške mlinščice precej nižja. Izgube vode iz struge Homške mlinščice so prikazane na Grafikonu 21.



Grafikon 21: Vsota sprememb pretokov po osi struge Homške mlinščice

Če primerjamo delež izgub na kilometer struge ob zadnji meritvi, dobimo pri obeh mlinščicah približno enako vrednost med 2 in 3 %.

7.1.3.3 Glavna struga

Pretoke na glavni strugi Kamniške Bistrice z vsemi znanimi vtoki in odvzemi sem meril med Kamnikom in Domžalami v naslednjih dneh: 19. junija, 17. julija ter 8., 21. in 28. avgusta. V času prvih dveh meritev je bil pretok Kamniške Bistrice srednji, zato nisem izvajal meritev na gorvodnih profilih (problem večjih globin). V avgustu pa se je vodostaj precej znižal, zato je bilo možno izvajati vse meritve. Podatki o merilnih mestih so prikazani v Preglednici 14, rezultati meritev pa v Preglednici 15.

Preglednica 14: Podatki o merilnih mestih na Kamniški Bistrici s pritoki in odvzemi na odseku med Kamnikom in Domžalami

| Zap. št. | Oznaka | Vodotok | Kraj | Merilno mesto | Stacionaža po osi struge | Lokacija (Gauss-Krieger-jev koordinatni sistem) | |
|----------|--------|--|----------------|--|--------------------------|---|--------|
| | | | | | | [km] | Y |
| 1 | M 3.1 | Kamniška Bistrica | Kamnik | približno 20 m dolvodno merilnega mesta v Kamniku | 19,585 | 470547 | 120074 |
| 2 | M 3.2 | Kamniška Bistrica | Spodnje Perovo | približno 40 m gorvodno Titanovega jezua oz. 1,2 km dolvodno merilnega mesta v Kamniku | 18,425 | 470125 | 119060 |
| 3 | M 3.3 | Radomeljska mlinščica | Volčji Potok | 30 m dolvodno vtoka v mlinščico | 14,655 | 469595 | 116033 |
| 4 | M 3.4 | Kamniška Bistrica | Volčji Potok | 100 m dolvodno jezua Volčji Potok | 14,560 | 469536 | 115956 |
| 5 | M 3.5 | Homška mlinščica | Homec | 40 m dolvodno vtoka v mlinščico | 13,810 | 470540 | 120100 |
| 6 | M 3.6 | Kamniška Bistrica | Homec | 200 m dolvodno Homškega jezua | 13,720 | 469770 | 111620 |
| 7 | M 3.7 | Radomeljska mlinščica (razbremenilnik) | Radomlje | 30 m nad iztokom razbremenilnika v Kamniško Bistrico v Radomljah | 13,280 | 469921 | 115181 |
| 8 | M 3.8 | Radomeljska mlinščica (razbremenilnik) | Škrjančevo | 20 m nad iztokom razbremenilnika v Kamniško Bistrico v Škrjančevem | 11,840 | 470705 | 111155 |
| 9 | M 3.9 | Kamniška Bistrica | Škrjančevo | 70 m dolvodno iztoka razbremenilnika v Kamniško Bistrico v Škrjančevem | 11,770 | 470180 | 110950 |

se nadaljuje ...

...nadaljevanje

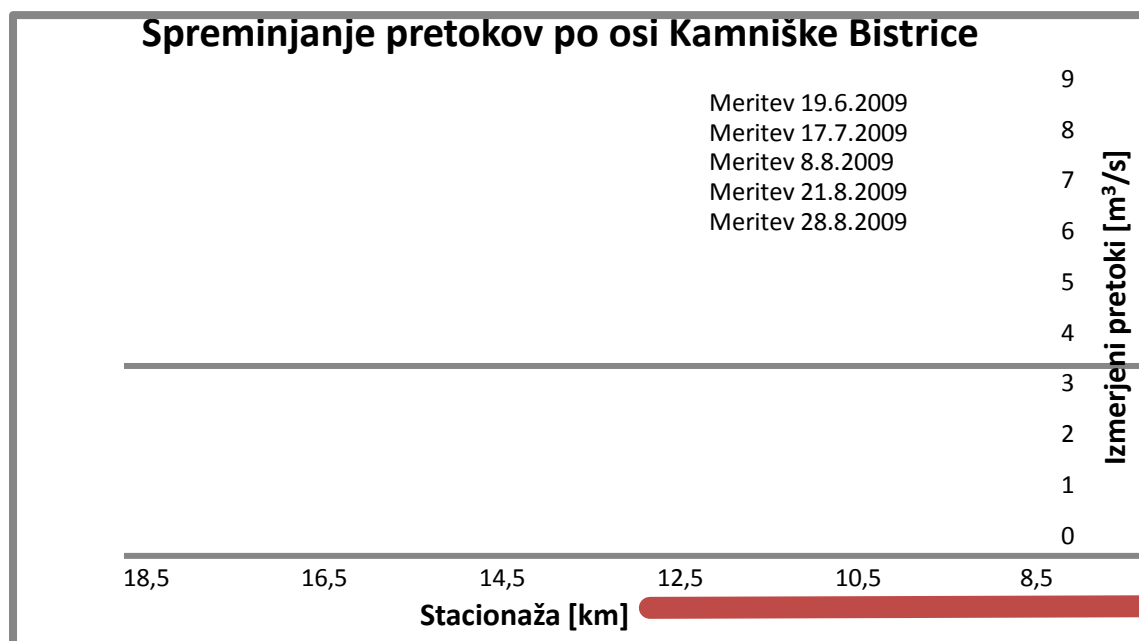
| Zap. št. | Oznaka | Vodotok | Kraj | Merilno mesto | Stacionaža po osi struge | Lokacija (Gauss-Krieger-jev koordinatni sistem) | |
|-----------|---------------|-----------------------------------|----------------------|--|--------------------------|---|---------------|
| | | | | | | Y | X |
| | | | | | [km] | | |
| 10 | M 3.10 | Homška mlinščica (razbremenilnik) | Zgornje Jarše | 20 m nad iztokom razbremenilnika v Kamniško Bistrica v Zgornjih Jaršah | 10,855 | 469466 | 112815 |
| 11 | M 3.11 | Kamniška Bistrica | Zgornje Jarše | nad pragom, 20 m dolvodno iztoka razbremenilnika Homške mlinščice v Zgornjih Jaršah | 10.830 | 469489 | 112773 |
| 12 | M 3.12 | razbremenilni kanal Pšate | Zgornje Jarše | nad iztokom razbremenilnega kanala Pšate v Kamniško Bistrico | 9,720 | 469439 | 112677 |
| 13 | M 3.13 | Kamniška Bistrica | Domžale | 60 m gorvodno iztoka Rače | 8,930 | 469840 | 110969 |
| 14 | M 3.14 | Rača | Podrečje | pri vodomerni postaji Podrečje na Rači | 8,870 | 470185 | 110946 |

Krepko označena polja v Preglednicah 14 in 15 pomenijo meritve na glavni strugi, ostale meritve pa so bile izvedene na pritokih in odvzemih (mlinščicah).

Meritve sem izvajal na sedmih profilih v glavni strugi, na obeh strugah mlinščic po odvzemu, na treh razbremenilnih kanalih, ki odvajajo presežek vode iz mlinščic v glavno strugo, na razbremenilnem kanalu Pšate in na Rači, nad sotočjem s Kamniško Bistrico. Merilne profile sem razporedil po glavni strugi glede na lokacije spremembe pretokov (pri odvzemih obeh obravnavanih mlinščic, pri pritokih razbremenilnikov in nad sotočjem z Račo). Izvedel sem tudi meritve pri merilni postaji v Kamniku in gorvodno Titanovega jezua v Spodnjem Perovem pod Kamnikom. Stacionaža posameznega merilnega mesta je določena po osi struge z vrednostjo 0 pri izlivu v Savo.

Preglednica 15: Rezultati meritev pretokov na Kamniški Bistrici s pritoki in odvzemi na odseku med Kamnikom in Domžalami

| Zap. št. | Oznaka | MERITEV 1 | | MERITEV 2 | | MERITEV 3 | | MERITEV 4 | | MERITEV 5 | |
|----------|--------|------------------------------|-------|------------------------------|-------|-----------------------------|-------|------------------------------|-------|------------------------------|-------|
| | | Izmerjen pretok 19.6.2009 | ura | Izmerjen pretok 17.7.2009 | ura | Izmerjen pretok 8.8.2009 | ura | Izmerjen pretok 21.8.2009 | ura | Izmerjen pretok 28.8.2009 | ura |
| | | [m ³ /s] | | [m ³ /s] | | [m ³ /s] | | [m ³ /s] | | [m ³ /s] | |
| 1 | M 3.1 | / | / | / | / | 5,494 | 8:37 | 3,332 | 8:47 | 2,691 | 10:14 |
| 2 | M 3.2 | / | / | 7,727 | 12:00 | 5,509 | 9:33 | 3,073 | 9:53 | 2,640 | 9:32 |
| 3 | M 3.3 | 1,965 | 10:53 | 1,87 | 13:00 | 1,934 | 10:37 | 1,651 | 10:54 | 1,373 | 11:00 |
| 4 | M 3.4 | 5,622 | 9:58 | 5,875 | 13:55 | 3,478 | 11:06 | 1,515 | 11:31 | 1,246 | 11:26 |
| 5 | M 3.5 | 1,044 | 11:30 | 1,108 | 14:25 | 0,904 | 11:52 | 0,439 | 12:03 | 0,572 | 11:56 |
| 6 | M 3.6 | 4,424 | 12:03 | 4,919 | 15:05 | 2,397 | 12:13 | 1,206 | 12:22 | 0,676 | 12:18 |
| 7 | M 3.7 | 0,026 | 13:04 | 0,070 | 15:30 | 0,059 | 12:39 | 0,010 | 12:40 | 0,008 | 12:39 |
| 8 | M 3.8 | 0,009 | 16:23 | 0,005 | 16:20 | 0,038 | 13:15 | 0,082 | 13:23 | 0,005 | 13:10 |
| 9 | M 3.9 | 4,538 | 16:42 | 4,8405 | 16:20 | 2,531 | 13:36 | 1,225 | 13:27 | 0,687 | 13:23 |
| 10 | M 3.10 | 0,185 | 18:08 | 0,201 | 17:05 | 0,142 | 14:38 | suh | 14:15 | suh | 14:00 |
| 11 | M 3.11 | 4,110 | 18:27 | 4,930 | 17,55 | 2,585 | 14:55 | 1,175 | 14:28 | 0,614 | 14:22 |
| 12 | M 3.12 | 0,007 | 17:51 | 0,006 | 18:10 | 0,008 | 15:15 | 0,006 | 14:45 | 0,011 | 14:08 |
| 13 | M 3.13 | 3,911 | 20:45 | 4,517 | 18:40 | 2,433 | 15:45 | 0,958 | 15:19 | 0,420 | 15:41 |
| 14 | M 3.14 | 2,650 | 19:48 | 3,756 | 19:15 | 3,068 | 16:41 | 2,268 | 16:15 | 1,859 | 15:12 |



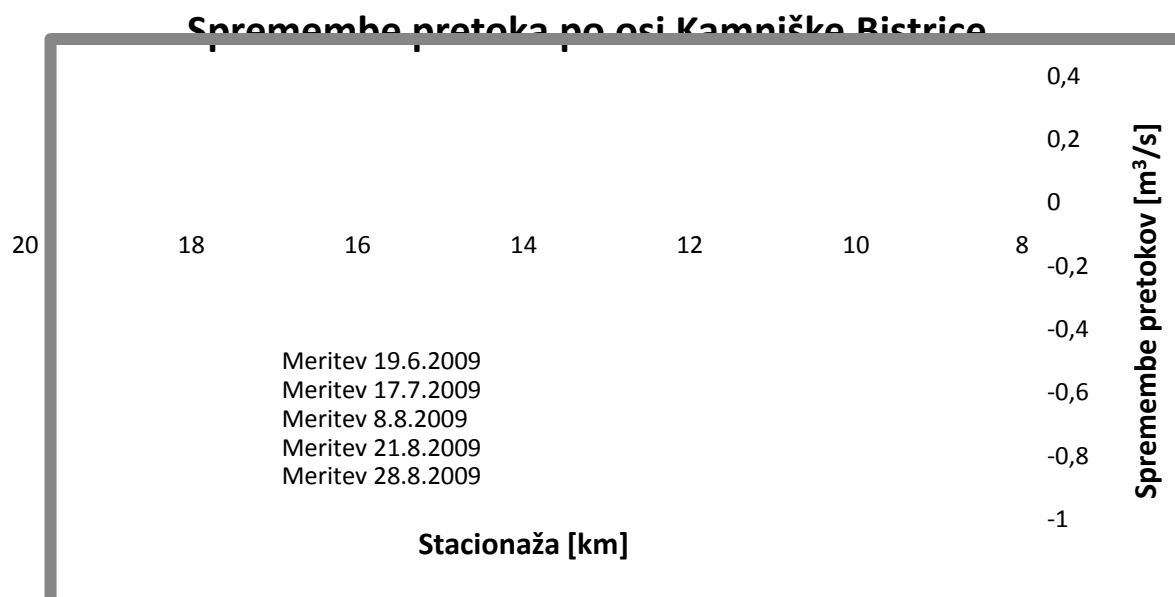
Grafikon 22: Spreminjanje merjenih pretokov po osi struge Kamniška Bistrice

Na Grafikonu 22 je prikazano spreminjanje pretokov vzdolž osi Kamniške Bistrice od avtomatske merilne postaje Kamnik I do sotočja z Račo. Najvišji pretoki so bili izmerjeni pri meritvah dne 17. julija, najnižji pa 28. avgusta. Pri vseh meritvah se, razen lokalnih anomalij, pojavljajo enaki trendi. Glede na intenziteto infiltracije bi lahko merjeni odsek razdelili na tri pododseke. Na prvem pododseku, od merilne postaje v Kamniku do jezua Volčji Potok, izgub praktično ni. Na drugem, od jezua Volčji Potok do pritoka razbremenilnika Radomeljske mlinščice pri tovarni kartona v Količevem, je zaznati rahlo infiltracijo. Lokalne anomalije na tem odseku najverjetneje pomenijo manipuliranje z zapornicami na enem ali drugem jezua v času meritev. Na tretjem pododseku, od tovarne kartona oziroma železniškega mostu do sotočja z Račo, pa je pri vseh meritvah opaziti veliko znižanje pretokov, kar pomeni, da se na tem delu izgubljajo največje količine vode.

Preglednica 16: Izračun izgub zaradi pronicanja vode iz struge Kamniške Bistrice v podtalnico

| Mer. prof. | Zap. št. | Stac. | L | MERITEV 2 | | | MERITEV 3 | | | MERITEV 4 | | | MERITEV 5 | | |
|----------------|----------|---|-------------|---------------------|-----------------------------|-------------|---------------------|-----------------------------|-------------|---------------------|-----------------------------|--------------|---------------------|-----------------------------|--------------|
| | | | | ΔQ | | | ΔQ | | | ΔQ | | | ΔQ | | |
| | | [km] | [km] | [m ³ /s] | [m ³ /s/ km'] | [%] | [m ³ /s] | [m ³ /s/ km'] | [%] | [m ³ /s] | [m ³ /s/ km'] | [%] | [m ³ /s] | [m ³ /s/ km'] | [%] |
| M 3.1 | 1 | 18,425 | 1,16 | / | / | / | 0,02 | 0,01 | 0,3 | -0,26 | -0,22 | -7,8 | -0,05 | -0,04 | -1,9 |
| | | - | | | | | | | | | | | | | |
| M 3.2 | 2 | 14,560 | 3,87 | 0,02 | 0,00 | 0,2 | -0,1 | -0,03 | -3,2 | 0,09 | 0,02 | 3,0 | -0,02 | -0,01 | -0,8 |
| | | - | | | | | | | | | | | | | |
| M 3.4 | 3 | 13,720 | 0,84 | 0,15 | 0,18 | 2,6 | -0,18 | -0,21 | -5,1 | 0,13 | 0,15 | 8,6 | 0,00 | 0,00 | 0,2 |
| | | - | | | | | | | | | | | | | |
| M 3.6 | 4 | 11,770 | 1,95 | -0,15 | -0,08 | -3,1 | 0,04 | 0,02 | 1,5 | -0,07 | -0,04 | -6,1 | 0,00 | 0,00 | -0,3 |
| | | - | | | | | | | | | | | | | |
| M 3.9 | 5 | 10,830 | 0,94 | -0,11 | -0,12 | -2,3 | -0,09 | -0,09 | -3,5 | -0,05 | -0,05 | -4,1 | -0,07 | -0,08 | -10,6 |
| | | - | | | | | | | | | | | | | |
| M 3.11 | 6 | 8,930 | 1,90 | -0,42 | -0,22 | -8,5 | -0,16 | -0,08 | -6,2 | -0,22 | -0,12 | -19,0 | -0,21 | -0,11 | -33,4 |
| | | - | | | | | | | | | | | | | |
| M 3.13 | | | | | | | | | | | | | | | |
| SKUPAJ: | | 8,930 - 18,425 | 10,7 | -0,51 | -0,05 | -6,7 | -0,47 | -0,04 | -8,6 | -0,38 | -0,04 | -11,5 | -0,35 | -0,03 | -13,0 |

V Preglednici 16 so prikazane količine in deleži pronicanja vode iz struge Kamniške Bistrice v podtalje. Zaradi velikih odstopanj v analizo nisem vključil prve meritve. Izgube vode iz struge Kamniške Bistrice so prikazane na Grafikonu 23.



Grafikon 23: Vsota sprememb pretokov po osi struge Kamniške Bistrice

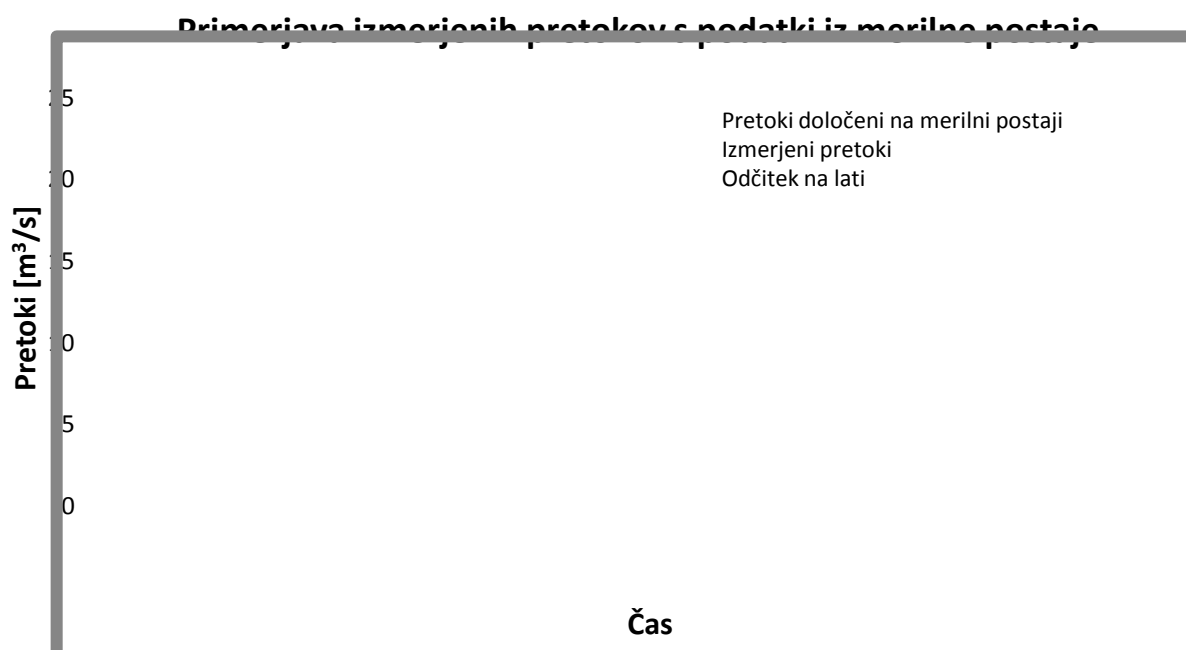
V nadaljni analizi pa sem obravnaval podatke iz meritev 4 in 5, ki sta ključnega pomena za to diplomsko nalogo, saj so bili pretoki merjeni v zelo nizkem vodostaju Kamniške Bistrice.

Celotna izguba vode v podtalje pri meritvi 4 znaša 380 l/s, kar predstavlja 11,5 % pretokov izmerjenih pretokov na merilni postaji v Kamniku. Toda tu ni zajetih odvzemov obeh mlinščic, ki sta ključnega pomena. Pretok nad sotočjem z Račo (0,958 m³/s) tako predstavlja manj kot 30 % pretoka izmerjenega v Kamniku. V absolutnem smislu je na petem in šestem odseku v podtalnico zatekalo 270 l/s vode.

Meritev 5 je bila izvedena v času zelo nizkih vodostajev, saj je pretok nad sotočjem z Račo znašal komaj 420 l/s. Ker je bila meritev opravljena v zelo sušnem obdobju, so izključeni marsikateri zunanji faktorji. Pretok je bil ves čas konstanten, mlinščici sta odvezemali enakomerno, razbremenilniki mlinščic so bili na dotoku praktično suhi in meritve so se zaradi počasnejšega ter bolj laminarnega toka izvajale z večjo natančnostjo. Zanimivo je, da so izgube od merilne postaje v Kamniku do tovarne kartona v Kamniku praktično zanemarljive. Na skoraj 8 kilometrov dolgem odseku je poniknilo zgolj 76 l/s vode. Nasprotno pa je na petem in šestem odseku poniknilo kar 280 l/s na samo 2,8 km struge. Pri tej meritvi izmerjen pretok Kamniške Bistrice nad pritokom Rače znaša manj kot 16 % pretoka izmerjenega v Kamniku.

7.1.4 Primerjava izmerjenih pretokov s podatki iz merilne postaje Kamnik I

Na Grafikonu 24 so prikazani informativni podatki iz merilne postaje Kamnik I, objavljeni na spletni strani ARSO v času izvajanja meritev (vijolična črta). Označeni so tudi izmerjeni pretoki na dan in uro merjenja (rdeča črta) ter ob zadnjih treh meritvah odčitani vodostaj na lati pri merilni postaji v Kamniku, pretvorjen v pretok po pretočni krivulji določeni za to vodomerno postajo (primerjava z enakim vodostajem v preteklih dneh).



Grafikon 24: Primerjava pretokov določenih na merilni postaji Kamnik I z izmerjenimi pretoki

V času prvih dveh meritev, torej v dneh 19. junija in 17. julija, so bili izmerjeni pretoki Kamniške Bistrice pod Kamnikom nekaj več kot 20 odstotkov nižji od tistih, ki so bili določeni na podlagi izmerjenega vodostaja na merilni postaji Kamnik I. Obe meritvi sta bili izvedeni v času srednjih vodostajev. Pri tretji meritvi (nizek srednji vodostaj) grafikon kaže na hiter upad vodostaja po enkratnem padavinskem dogodku dne 4. avgusta. Odčitki na lati v času meritev, pretvorjeni v pretok, pa kažejo na napako v beleženju oziroma v umerjanju avtomatske merilne postaje. V naslednjih dneh se je vodostaj nižal, a pretoki, zabeleženi na merilni postaji, so se le minimalno zmanjševali. Primerjava rezultatov v času četrte meritve z dne 21. avgusta je pokazala ponovno nekoliko nižje razlike med rezultati. Dejanski (izmerjeni

pretok) je 24 odstotkov višji, kot ga prikazuje avtomatska vodomerna postaja in 22 odstotkov nižji od tistega preračunanega iz odčitka na lati. V času zadnje meritve, 28. avgusta, pa sta se izmerjeni pretok in informativni pretok, določen na avtomatski merilni postaji, skoraj popolnoma ujemala. Najverjetneje je bilo to zgolj naključje, saj merilna postaja še vedno ni prikazovala realnih vodostajev. Sredi dneva pa je prišlo do nenadnega dviga prikazanih vrednosti za več kot $1 \text{ m}^3/\text{s}$, brez dejanskega dviga gladine. Takrat so avtomatsko postajo najverjetneje umerili na realen vodostaj, a so prikazani pretoki, zaradi slabo umerjene pretočne krivulje pri nizkih vodostajih, skoraj za 40 odstotkov previsoki. V preglednici je podana številčna primerjava izmerjenih pretokov z odčitanimi in objavljenimi ter primerjava vodostajev.

Preglednica 17: Primerjava izmerjenih pretokov z objavljenimi na spletnih straneh ARSO in odčitki na lati na merilni postaji Kamnik I

| Datum | Ura | Objavljen vodostaj na spletni strani ARSO | Informativni objavljen pretok na spletni strani ARSO | Odčitani vodostaj na lati | Informativni preračun pretoka iz odčitka na lati | Izmerjen pretok |
|-----------|-------|---|--|---------------------------|--|---------------------------|
| | | [cm] | [m^3/s] | [cm] | [m^3/s] | [m^3/s] |
| 19.6.2009 | 10:00 | 88 | 9,67 | / | / | 7,58 |
| 17.7.2009 | 12:00 | 88 | 9,67 | / | / | 7,73 |
| 8.8.2009 | 8:30 | 60 | 3,03 | 78 | 6,57 | 5,49 |
| 21.8.2009 | 9:00 | 54 | 2,68 | 69 | 4,29 | 3,33 |
| 28.8.2009 | 10:00 | 52 | 2,58 | 66 | 3,73 | 2,69 |

V dneh 19. junija in 17. julija ni bilo opravljenih meritev neposredno pri merilni postaji Kamnik I. Podani pretoki v tabeli so izračunani iz vsote izmerjenih pretokov dolvodno jezu v Volčjem Potoku in odvzema Radomeljske mlinščice. Ti pretoki so zaradi izgub v podtalnico najverjetneje nekoliko nižji od dejanskih pri merilni postaji.

7.1.5 Izračun koeficienta infiltracije na podlagi izmerjenih sprememb v pretoku

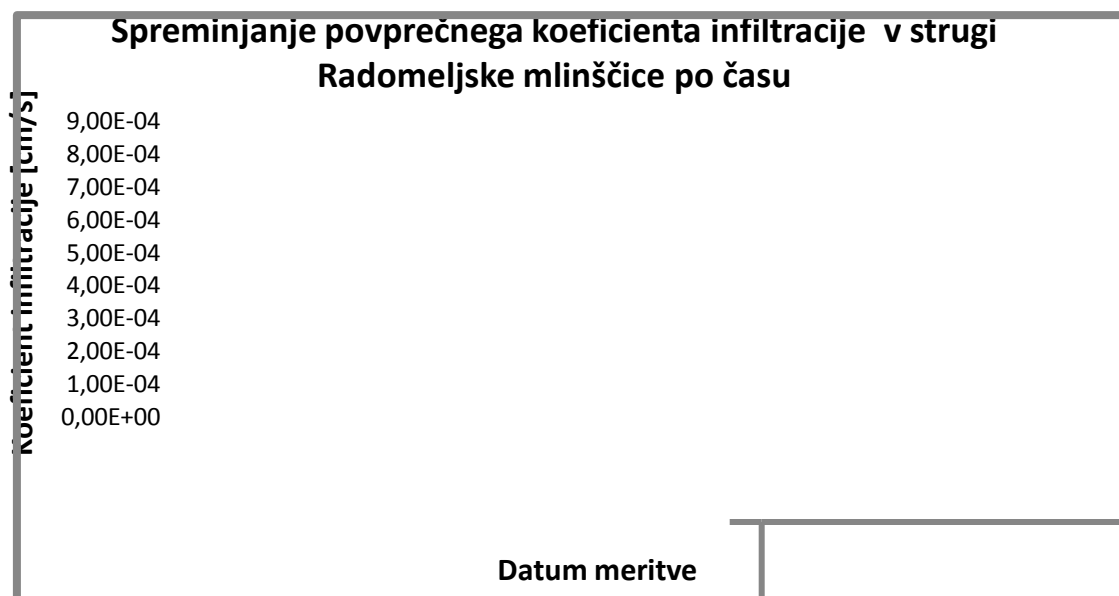
Koeficient infiltracije sem izračunal na podlagi povprečnih dimenzij glavne struge Kamniške Bistrice in obeh mlinščic med merjenimi profili. Pri tem sem upošteval le horizontalno

površino, torej sem infiltracijo v brežine zanemarl. Koeficiente sem računal na istih odsekih, na katerih sem izračunal tudi izgube.

Preglednica 18: Izračun koeficienta infiltracije na posameznem odseku struge Radomeljske mlinščice in izračun povprečnega koeficienta infiltracije za celotno strugo

| Mer. prof. | Ods. | Lega | Dolžina odseka | Širina struge | MERITEV 1 | MERITEV 2 | MERITEV 3 | MERITEV 4 | POVPREČJE |
|----------------|------|----------------------|----------------|---------------|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | | | | K_s | K_s | K_s | K_s | K_s |
| | | [km] | [m] | [m] | [cm/s] | [cm/s] | [cm/s] | [cm/s] | [cm/s] |
| M 1.1 | 1 | 5,100 - 5,730 | 630 | 5,2 | 1,01E-03 | 2,99E-03 | / | 3,63E-03 | 3,31E-03 |
| M 1.2 | 2 | 4,740 - 5,100 | 360 | 5,3 | / | 7,41E-04 | / | 2,80E-03 | 1,77E-03 |
| M 1.4 | 3 | 4,050 - 4,750 | 700 | 5,6 | 1,90E-03 | 2,24E-03 | 1,65E-03 | / | 1,94E-03 |
| M 1.5 | 4 | 3,120 - 4,050 | 930 | 5,1 | / | 1,85E-03 | 4,26E-05 | 2,56E-04 | 7,17E-04 |
| M 1.6 | 5 | 2,300 - 3,120 | 820 | 3,9 | 3,04E-03 | 1,90E-03 | 4,40E-03 | 3,17E-04 | 2,21E-03 |
| M 1.8 | 6 | 0,670 - 2,300 | 1630 | 3,4 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 2,28E-03 | 2,71E-04 | 8,50E-04 |
| M 1.9 | 7 | 0,090 - 0,670 | 580 | 4,2 | / | / | / | 6,57E-04 | 6,57E-04 |
| M 1.10 | | | | | | | | | |
| SKUPAJ: | | 0,090 - 5,100 | 5650 | 4,6 | / | 9,15E-04 | 2,52E-04 | 7,97E-04 | 6,54E-04 |

V strugi Radomeljske mlinščice je opaziti povečano infiltracijo v prvem kilometru struge od zajema. Na tem delu znaša povprečni koeficient infiltracije $2,34 \cdot 10^{-3}$ cm/s. Na prvem delu struga teče večinoma preko travnikov, zato je rezultat pričakovan. Na preostalih štirih kilometrih je povprečni koeficient infiltracije več kot pol nižji in znaša $1,11 \cdot 10^{-3}$ cm/s.



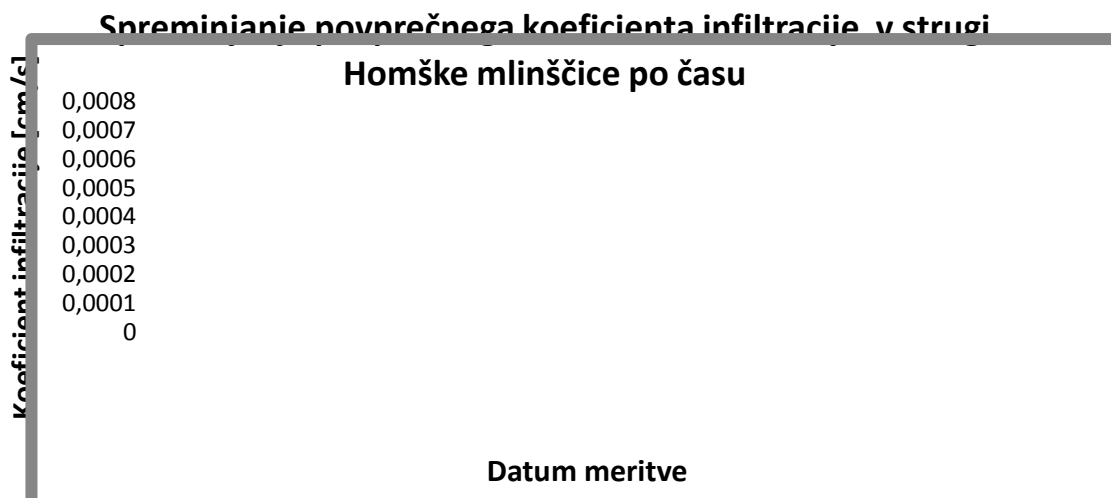
Grafikon 25: Spreminjanje povprečnega koeficienta infiltracije v strugi Radomeljske mlinščice po času

Na Grafikonu 25 je prikazano spreminjanje povprečnega koeficienta infiltracije v strugi Radomeljske mlinščice po času oziroma med posameznimi serijami meritev. Povprečni koeficient infiltracije prve meritve je zaradi lokalnih anomalij v času meritve negativen in zato na grafikonu ni prikazan. Na grafikonu ni opaziti trenda spreminjanja infiltracije po času.

Preglednica 19: Izračun koeficienta infiltracije na posameznem odseku struge Homške mlinščice in izračun povprečnega koeficienta infiltracije za celotno strugo

| | | | | | MERITEV 1 | MERITEV 2 | MERITEV 3 | MERITEV 4 | POVPREČJE |
|------------|------|----------------|----------------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Mer. prof. | Ods. | Lega | Dolžina odseka | Širina struge | K_s | K_s | K_s | K_s | K_s |
| | | [km] | [m] | [m] | [cm/s] | [cm/s] | [cm/s] | [cm/s] | [cm/s] |
| M 1.1 | 1 | 9,270 - 10,460 | 1190 | 4,9 | 2,06E-03 | 8,66E-04 | / | 1,30E-03 | 1,41E-03 |
| M 1.2 | 2 | 8,600 - 9,270 | 670 | 4,3 | 6,32E-04 | / | 1,33E-03 | 1,40E-04 | 7,02E-04 |
| M 1.4 | 3 | 7,920 - 8,600 | 680 | 3,6 | 2,86E-04 | / | 1,63E-04 | 6,54E-04 | 3,68E-04 |
| M 1.5 | 4 | 5,700 - 7,920 | 2220 | 3,8 | / | 6,25E-04 | 7,33E-04 | 9,01E-04 | 7,53E-04 |
| M 1.6 | 5 | 4,580 - 5,700 | 1120 | 3,8 | / | 3,64E-03 | 1,30E-03 | 1,66E-04 | 1,70E-03 |
| M 1.8 | 6 | 2,700 - 4,580 | 1880 | 3,1 | 2,25E-03 | / | 5,62E-04 | 3,06E-04 | 1,04E-03 |
| M 1.9 | 7 | 0,120 - 2,700 | 2580 | 2,6 | 0,00E+00 | 2,31E-03 | 2,53E-04 | 6,86E-04 | 8,12E-04 |
| M 1.10 | | | | | | | | | |
| SKUPAJ: | | 0,120 - 10,460 | 10340 | 4 | 4,64E-04 | 6,73E-04 | 5,01E-04 | 6,29E-04 | 5,67E-04 |

Tudi na Homški mlinščici je povečano infiltracijo opaziti na prvem kilometru struge, kjer voda teče skozi gozd pod Homškim hribom. Koeficient infiltracije na tem delu znaša $1,41 \cdot 10^{-3}$ cm/s. Na delu struge, kjer voda teče čez naselja in po pokritih kanalih, je koeficient infiltracije skoraj polovico nižji. To razliko bi lahko pripisali betonskim obrežnim zavarovanjem in lokalno tudi zavarovanjem dna, kjer se voda ne more infiltrirati. Dolvodno Domžal, kjer je struga ponovno brez večjih zavarovalnih ukrepov, pa je ponovno opaziti podobno infiltracijo kot na prvem odseku struge.



Grafikon 26: Spreminjanje povprečnega koeficienta infiltracije v strugi Homške mlinščice po času

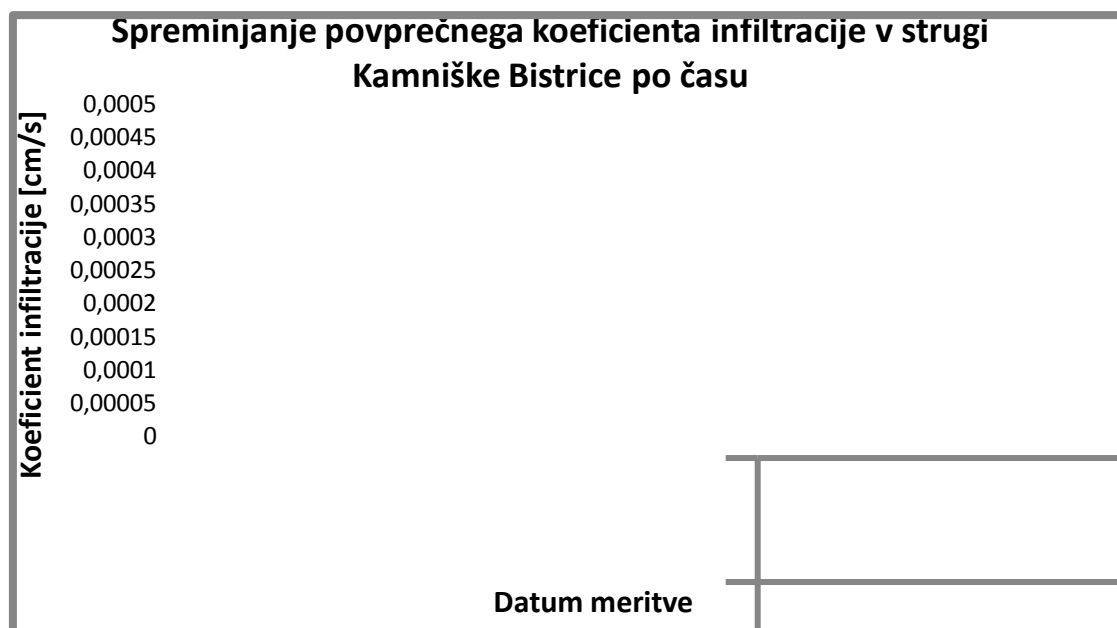
Na Grafikonu 26 je prikazano spreminjanje povprečnega koeficienta infiltracije v strugi Homške mlinščice po času med posameznimi serijami meritev. Povprečni koeficient infiltracije je na Homški mlinščici po času precej konstanten. Manjša nihanja lahko zaradi merske napake in napake pri spreminjanju širine struge oziroma globine vode zanemarimo.

Preglednica 20: Izračun koeficienta infiltracije na posameznem odseku struge Kamniške Bistrice in izračun povprečnega koeficienta infiltracije za celotno strugo

| Mer. prof. | Ods. | Lega | L | Širina struge | MERITEV | MERITEV | MERITEV | MERITEV | MERITEV | POVPREČJE |
|----------------|------|-----------------------|--------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | K _s |
| | | [km] | [m] | [m] | K _s | K _s | K _s | K _s | K _s | K _s |
| | | | | | [cm/s] | [cm/s] | [cm/s] | [cm/s] | [cm/s] | [cm/s] |
| M 3.1 | 1 | 18,425 - 19,585 | 1160 | 23 | / | / | / | 9,71E-04 | 1,91E-04 | 5,81E-04 |
| M 3.2 | 2 | 14,560 - 18,425 | 3865 | 21 | / | / | 1,21E-04 | / | 2,62E-05 | 7,36E-05 |
| M 3.4 | 3 | 13,720 - 14,560 | 840 | 14 | 1,31E-03 | / | 1,51E-03 | / | / | 1,41E-03 |
| M 3.6 | 4 | 11,770 - 13,720 | 1950 | 14 | / | 5,60E-04 | / | 2,66E-04 | 7,30E-06 | 2,78E-04 |
| M 3.9 | 5 | 10,830 - 11,770 | 940 | 17 | 3,77E-03 | 6,86E-04 | 5,41E-04 | 3,07E-04 | 4,49E-04 | 1,15E-03 |
| M 3.11 | 6 | 8,930 - 10,830 | 1900 | 23 | 4,78E-04 | 9,71E-04 | 3,71E-04 | 5,17E-04 | 4,75E-04 | 5,62E-04 |
| M 3.13 | | | | | | | | | | |
| SKUPAJ: | | 8,930 - 18,425 | 10655 | 19 | 4,50E-04 | 2,59E-04 | 2,37E-04 | 1,92E-04 | 1,76E-04 | 6,75E-04 |

Na glavni strugi Kamniške Bistrice je opaziti izredno nizek koeficient infiltracije na delu struge med Kamnikom in Volčjim Potokom. Dolvodno jezu v Volčjem Potoku koeficient infiltracije naraste, a po odsekih precej variira. Povprečni koeficient za celoten merjeni odsek znaša $6,75 \cdot 10^{-4}$ cm/s.

Na strugi Kamniške Bistrice je opaziti časovni trend stalnega upadanja povprečnega koeficienta infiltracije posamezne meritve. Spreminjanje povprečnega koeficienta infiltracije po času je prikazano na Grafikonu 27.



Grafikon 27: Spreminjanje povprečnega koeficienta infiltracije v strugi Kamniške Bistrice po času

Upadanje infiltracije po času bi lahko pripisali dvema dejavnikoma. Prvi je dejstvo, da je bil ob vsakem merjenju nekoliko nižji pretok in posledično zaradi manjše površine, kot je upoštevana v preračunih, tudi nižji koeficient infiltracije. To dejstvo ne velja pri prvih dveh meritvah, kjer pa je upad največji. Velik vpliv na spremembo koeficienta infiltracije pa ima tudi rast alg v poletnih mesecih in posledično ustvarjanje manj propustnega filma preko krovne plasti dna struge. Ta faktor je najbolj izrazit med prvima meritvama, ko se je pospešena rast alg začela.

Povprečni koeficienti so na vseh treh strugah zelo blizu. V strugi Kamniške Bistrice in Radomeljske mlinščice je razlike le nekaj odstotkov. Povprečni koeficient infiltracije na vseh treh strugah znaša $6,32 \cdot 10^{-4}$ cm/s.

7.2 Določitev granulometrijske sestave prodišč z linijsko analizo krovnega sloja

Sejalna analiza, določanje krivulje relativne pogostosti zrn plavin oziroma vsotne krivulje presejka ali odsejka, je najpogostejša metoda za analizo prodnatih plavin. Toda sejalna analiza plavin v podlagi je zelo zamudna in ne zagotavlja uporabnih rezultatov v vsakem primeru. Zato so bile razvite različne metode vzorčenja plavin glede na način odvzema vzorca (prostorski, površinski, linijski in točkovni) in način ovrednotenja (po številu in po teži).

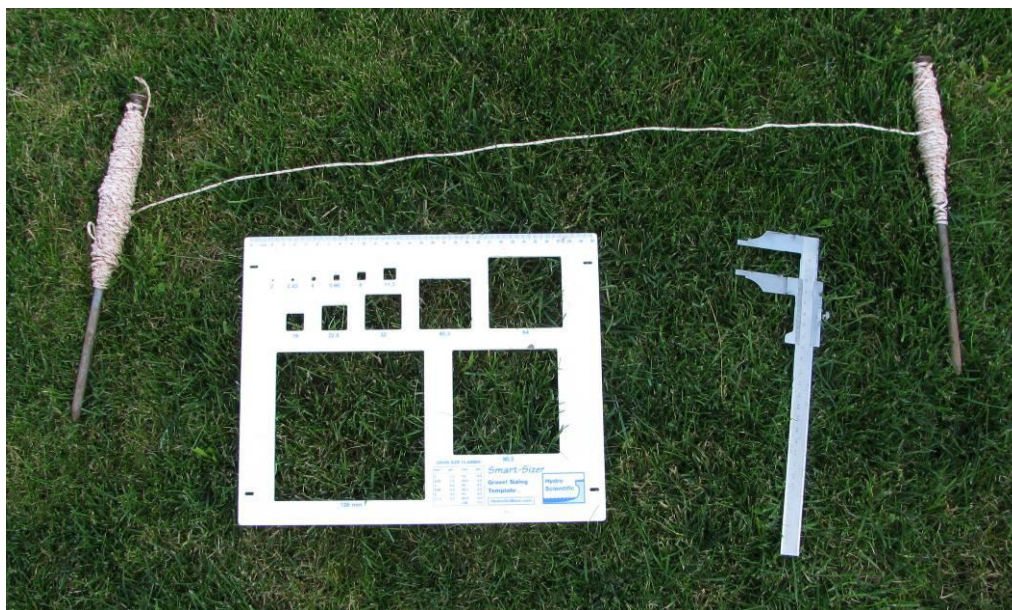
Za analizo krovnega sloja je posebej primeren linijski odzjem vzorca, ovrednoten po številu. Zrn ni potrebno sejati, niti tehtati, zato je analiza poceni. Zrna glede na srednji premer (srednjo os) razvrstimo v intervale in preštujemo. Ta način je zelo uporaben predvsem zaradi hitre in enostavne izvedbe samega vzorčenja. Izmera naj obsega vsaj 100 zrn (napaka vzorca se manjša z večanjem vzorca).



Slika 28: Meritev srednjega premera zrn pod vrvico pri linijski analizi prodišča
(foto: Lunka, 1. 8. 2009)

7.2.1 Merilna oprema

Pri linijski analizi prodišča je ključna merilna oprema kovinsko kljunasto merilo oziroma šablona za določevanje premera posameznega zrna. Linijo, pod katero se izvaja meritev zrn, pa sem postavil z dvema klinoma, med katera sem napeljal tanko vrvico.



Slika 29: Kljunasto merilo, šablona za določevanje velikosti zrn in klina z vrvico
(foto: Bogataj, 2. 8. 2009)

7.2.2 Lokacije prodišč

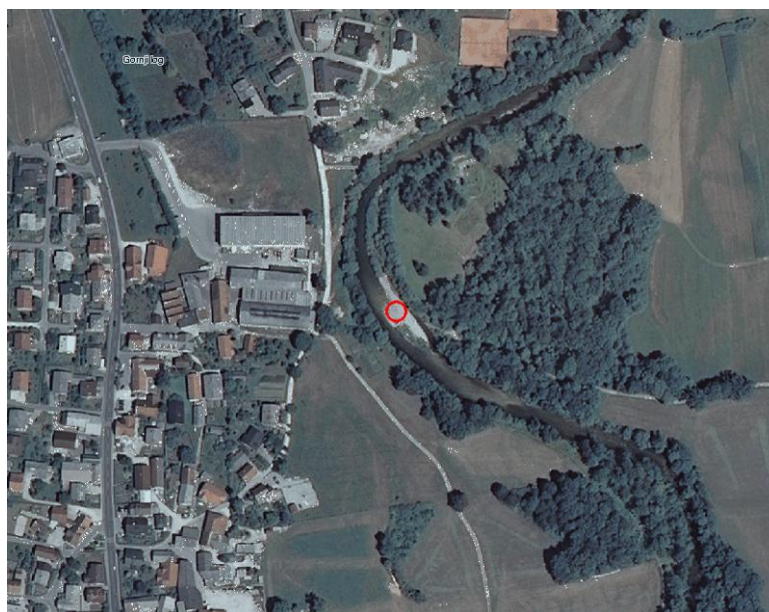
Meritve zrn sem izvedel na treh večjih in neporaščenih prodiščih med Kamnikom in Domžalami. Prodišča so približno enakomerno razporejena na omenjenem odseku in hkrati locirana na reprezentativnih lokacijah, torej odmaknjena od večjega vpliva jezov in pragov tako gorvodno (manjši padec struge in zastajanje tudi drobnejših plavin) kot dolvodno (turbulence povzročajo spiranje drobnejših zrn).

Prvo prodišče leži ob gorvodnem delu naselja Šmarca pod Kamnikom in je trenutno formirano na sredini struge Kamniške Bistrice. Drugo prodišče je locirano približno 200 metrov dolvodno jezov za zajem Homške mlinščice pod Homškim hribom. To prodišče se je formiralo ob desni brežini na desnem zavoju reke. Tretje prodišče pa se je formiralo ob levi brežini glavne struge približno 150 m gorvodno železniškega mostu pri papirnici v Količevem.

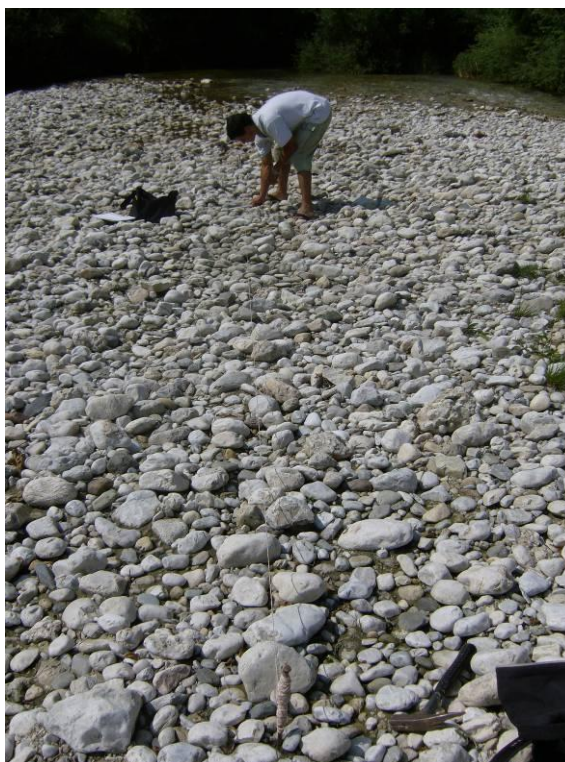
7.2.3 Rezultati meritev

PRODIŠČE 1:

Lokacija (Gauss-Krieger-jev koordinatni sistem): Y = 469304, X = 116805



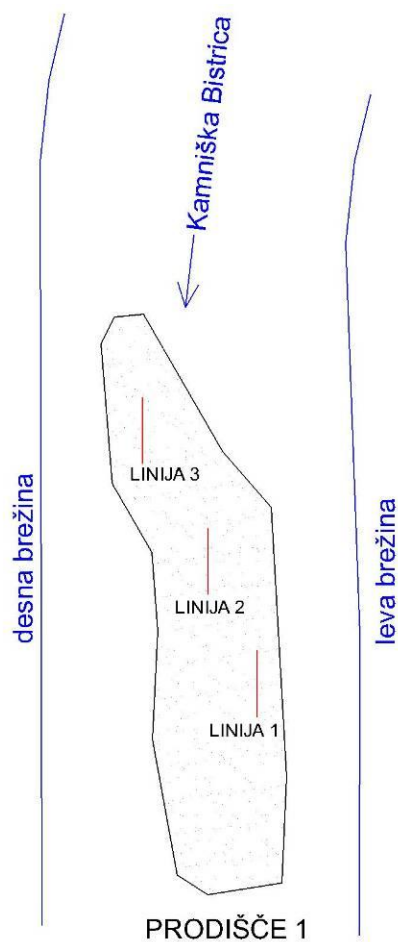
Slika 30: Ortofoto posnetek lokacije prodišča 1 (vir: Atlas okolja, 2007)



Slika 31: Posnetek prodišča 1 z opravljanjem meritev (foto: Lunka, 1. 8. 2009)

Čas meritev: 1. avgust 2009 od 14:30 do 15:30

Opis lokacije: Prodišče je locirano na sredini struge in je dolgo približno 70 metrov. Gornvodni del prodišča je lokalno poraščen s šopi trave in posameznim pritlikavim rastjem, medtem ko je dolvodni del prodišča poraščen z gostejšim grmovjem.



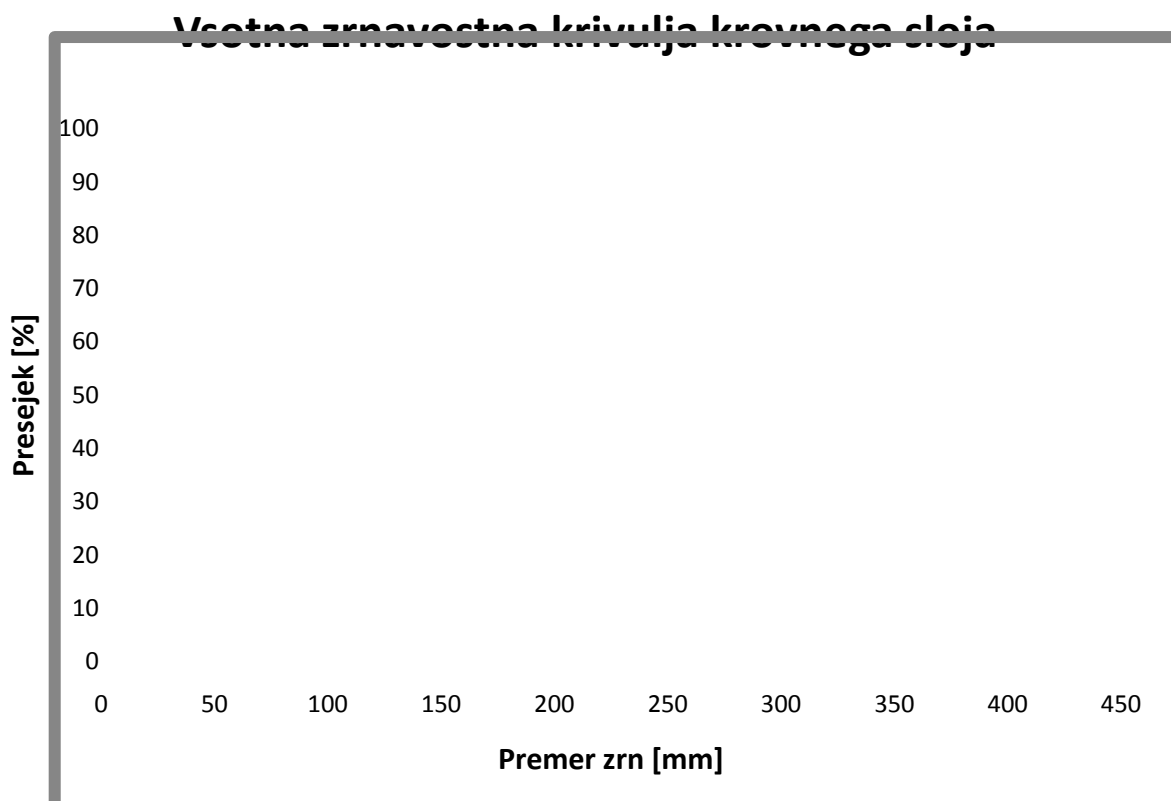
Slika 32: Skica prodišča 1 z označenimi linijami, po katerih so bila merjena zrna

Meritev zrn sem izvedel po treh linijah, ki so bile razporejene po celem nezaraščenem delu prodišča, kot prikazuje Slika 32. Na vsaki liniji sem izmeril vsaj 100 zrn. Dolžina linije je torej odvisna od debeline zrn pod posamezno linijo. Rezultati meritev so prikazani v Preglednici 21.

Preglednica 21: Rezultati meritev na prodišču 1 in preračun vsotne krivulje presejka

| Premer zrn [mm] | Število zrn | | | | Delež zrn | Vsotna krivulja presejka |
|-----------------|-------------|------------|------------|------------|-----------|--------------------------|
| | linija 1 | linija 2 | linija 3 | skupaj | | |
| < 10 | 9 | 8 | 1 | 18 | 0,052 | 0,052 |
| 10 - 20 | 17 | 6 | 8 | 31 | 0,090 | 0,143 |
| 20 - 30 | 14 | 11 | 7 | 32 | 0,093 | 0,236 |
| 30 - 40 | 16 | 11 | 12 | 39 | 0,114 | 0,350 |
| 40 - 50 | 15 | 10 | 8 | 33 | 0,096 | 0,446 |
| 50 - 60 | 8 | 7 | 9 | 24 | 0,070 | 0,516 |
| 60 - 70 | 10 | 12 | 7 | 29 | 0,085 | 0,601 |
| 70 - 80 | 9 | 7 | 7 | 23 | 0,067 | 0,668 |
| 80 - 100 | 9 | 16 | 18 | 43 | 0,125 | 0,793 |
| 100 - 120 | 3 | 5 | 17 | 25 | 0,073 | 0,866 |
| 120 - 140 | 1 | 10 | 6 | 17 | 0,050 | 0,915 |
| 140 - 160 | 1 | 7 | 3 | 11 | 0,032 | 0,948 |
| 160 - 180 | | 5 | 3 | 8 | 0,023 | 0,971 |
| 180 - 200 | | 1 | 4 | 5 | 0,015 | 0,985 |
| 200 - 240 | | 1 | 1 | 2 | 0,006 | 0,991 |
| 240 - 280 | | | | 0 | 0,000 | 0,991 |
| 280 - 320 | | 1 | | 1 | 0,003 | 0,994 |
| 320 - 360 | | | 1 | 1 | 0,003 | 0,997 |
| 360 - 400 | | | | 0 | 0,000 | 0,997 |
| 400 - 450 | | | 1 | 1 | 0,003 | 1,000 |
| Vsota: | 112 | 118 | 113 | 343 | | |

Glede na to, da so bile linije postavljene na različnih delih prodišča, se tudi zrnavosti razlikujejo. Največ drobnih zrn je bilo na liniji 1, največ debelih pa na liniji 3.

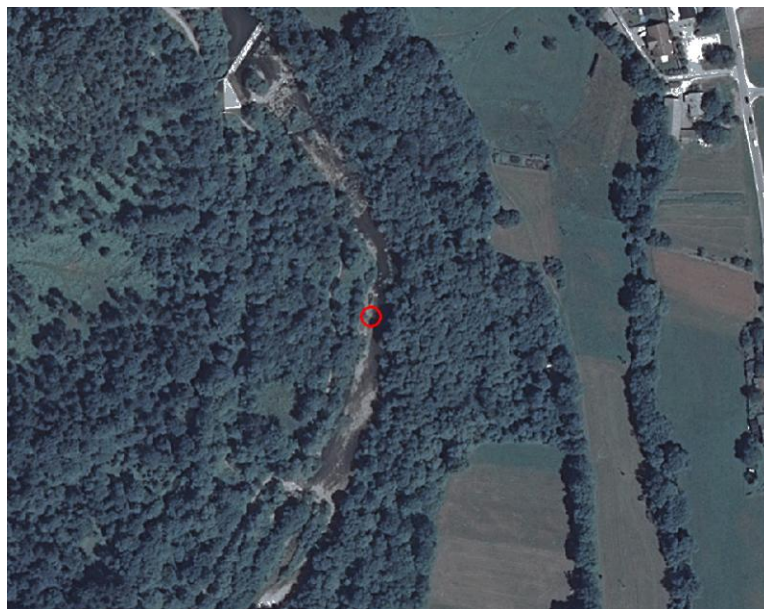


Grafikon 28: Vsotna krivulja prikazuje delež presejka v odvisnosti od premera zrn na prodišču 1

Na prodišču 1 je večina zrn v krovnem sloju manjših od 200 milimetrov. 50 procentno zrno (d_{50}) na tem prodišču meri 58 mm, največje izmerjeno zrno pa 438 mm.

PRODIŠČE 2:

Lokacija (Gauss-Krieger-jev koordinatni sistem): Y = 469920, X = 115196



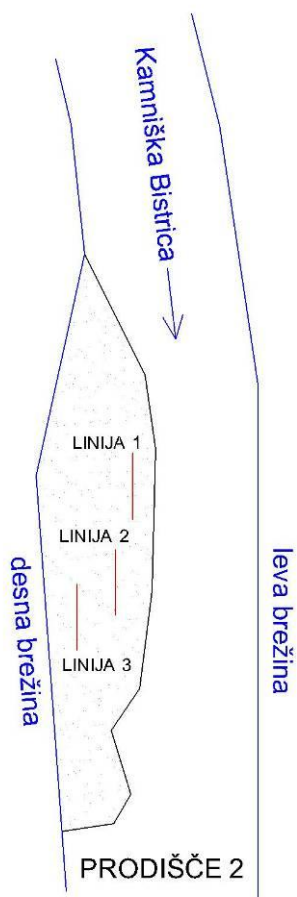
Slika 33: Ortofoto posnetek lokacije prodišča 2 (vir: Atlas okolja; ARSO, 2009)



Slika 34: Posnetek prodišča 2 (foto: Bogataj, 7. 8. 2009)

Čas meritev: 1. avgust 2009 od 16:00 do 16:40

Opis lokacije: Prodišče leži ob desni brežini na dolžini približno 50 metrov. Gorvodni del prodišča je precej homogen, na dolvodnem, nekoliko ločenem delu, pa se nahaja bolj droben material. Prodišče je povsem neporaščeno, kar kaže na pogosto izpiranje oziroma spreminjanje krovne plasti.



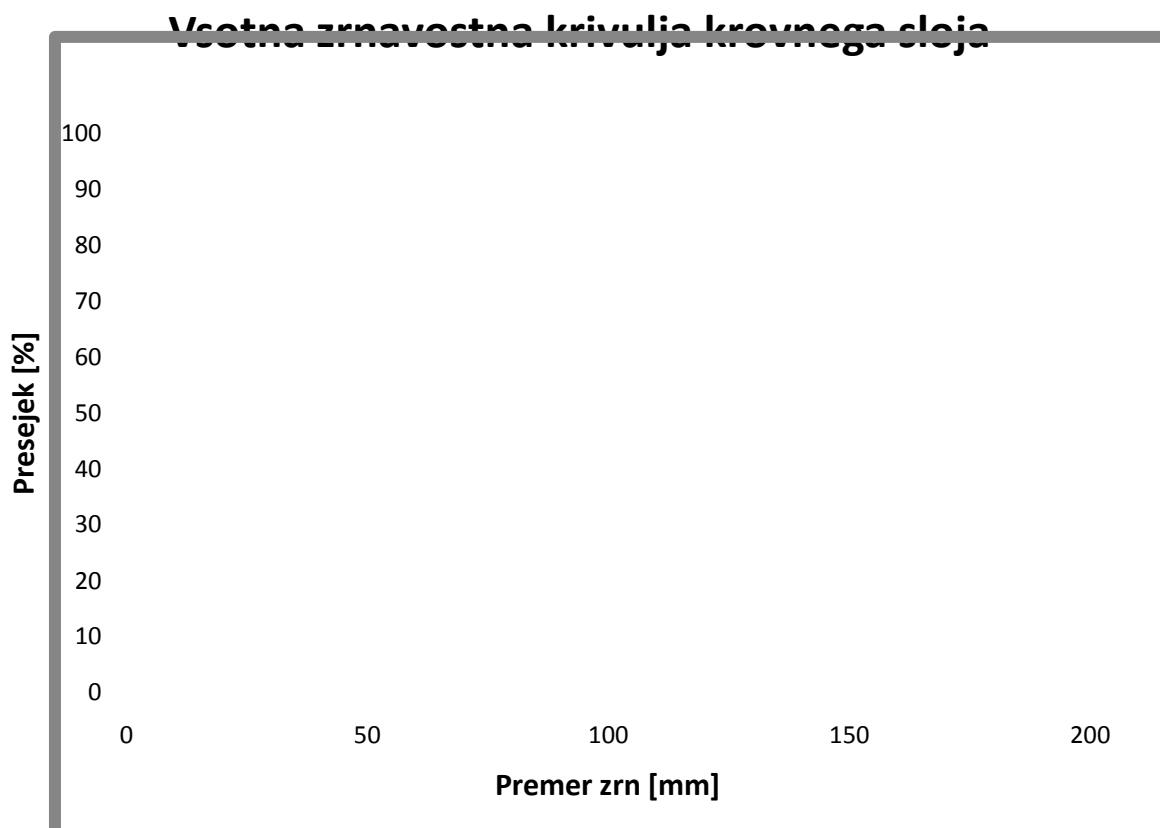
Slika 35: Skica prodišča 2 z označenimi linijami, po katerih so bila merjena zrna

Tudi na prodišču 2 sem izvedel meritve zrn po treh linijah. Glede na to, da je to prodišče v poletnih mesecih precej obiskano, sem linije izbiral na lokacijah, kjer je bila večina zrn na prvotnih pozicijah. Linije sem razporedil po zgornjem delu prodišča, kot prikazuje Slika 35. Rezultati meritev so prikazani v Preglednici 22.

Preglednica 22: Rezultati meritev na prodišču 2 in preračun vsotne krivulje presejka

| Premer zrn [mm] | Število zrn | | | | Delež zrn | Vsotna krivulja presejka |
|-----------------|-------------|------------|------------|------------|-----------|--------------------------|
| | linija 1 | linija 2 | linija 3 | skupaj | | |
| < 10 | 20 | 12 | 38 | 70 | 0,197 | 0,197 |
| 10 - 20 | 12 | 26 | 48 | 86 | 0,242 | 0,439 |
| 20 - 30 | 20 | 20 | 22 | 62 | 0,175 | 0,614 |
| 30 - 40 | 10 | 12 | 12 | 34 | 0,096 | 0,710 |
| 40 - 50 | 13 | 7 | 6 | 26 | 0,073 | 0,783 |
| 50 - 60 | 9 | 9 | 2 | 20 | 0,056 | 0,839 |
| 60 - 70 | 4 | 9 | 1 | 14 | 0,039 | 0,879 |
| 70 - 80 | 3 | 2 | | 5 | 0,014 | 0,893 |
| 80 - 100 | 2 | 1 | 3 | 6 | 0,017 | 0,910 |
| 100 - 120 | 1 | 6 | 1 | 8 | 0,023 | 0,932 |
| 120 - 140 | 8 | 6 | | 14 | 0,039 | 0,972 |
| 140 - 160 | 5 | | | 5 | 0,014 | 0,986 |
| 160 - 180 | 1 | 3 | | 4 | 0,011 | 0,997 |
| 180 - 200 | 1 | | | 1 | 0,003 | 1,000 |
| Vsota: | 109 | 113 | 133 | 355 | | |

Prodišče 2 je za razliko od prodišča 1 bolj homogeno, velikost zrn pa je na splošno nekoliko manjša. Premer največjega izmerjenega zrna na tem prodišču znaša 196 mm.



Grafikon 29: Vsotna krivulja prikazuje delež presejka v odvisnosti od premera zrn na prodišču 2

Na drugem prodišču večina zrn pade v razred premera manjšega od 70 milimetrov (skoraj 90 odstotkov). Med večjimi kamni je nekoliko povečan še razred kamnov premera med 120 in 140 milimetrov, v ostale razrede pa padejo le posamezni kamni.

PRODIŠČE 3:

Lokacija (Gauss-Krieger-jev koordinatni sistem): Y = 469614, X = 113373



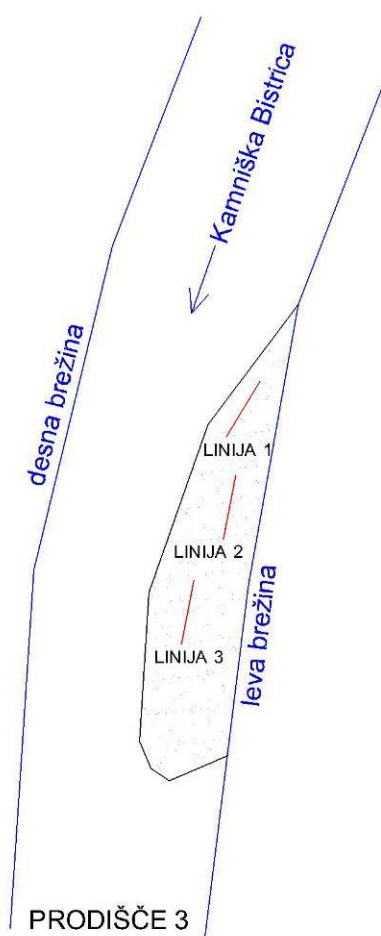
Slika 36: Ortofoto posnetek lokacije prodišča 3 (vir: Atlas okolja; ARSO, 2009)



Slika 37: Posnetek prodišča 3 (foto: Bogataj, 8. 8. 2009)

Čas meritev: 1. avgust 2009 od 17:30 do 18:00

Opis lokacije: Prodišče leži ob levi brežini in je bilo v času meritev dolgo približno 60 metrov. Čeprav se je prodišče formiralo ob levi brežini, pa ob povišanih vodostajih postane otok. Ker se tudi srednji vodostaji prelivajo preko priobalnega dela prodišča, je na tem delu odloženega tudi več drobnejšega materiala in mivke. Preostali del je precej homogene strukture. Prodišče še ni povsem razvito po zadnji odstranitvi naplavin, ki je bila izvedena septembra 2008.



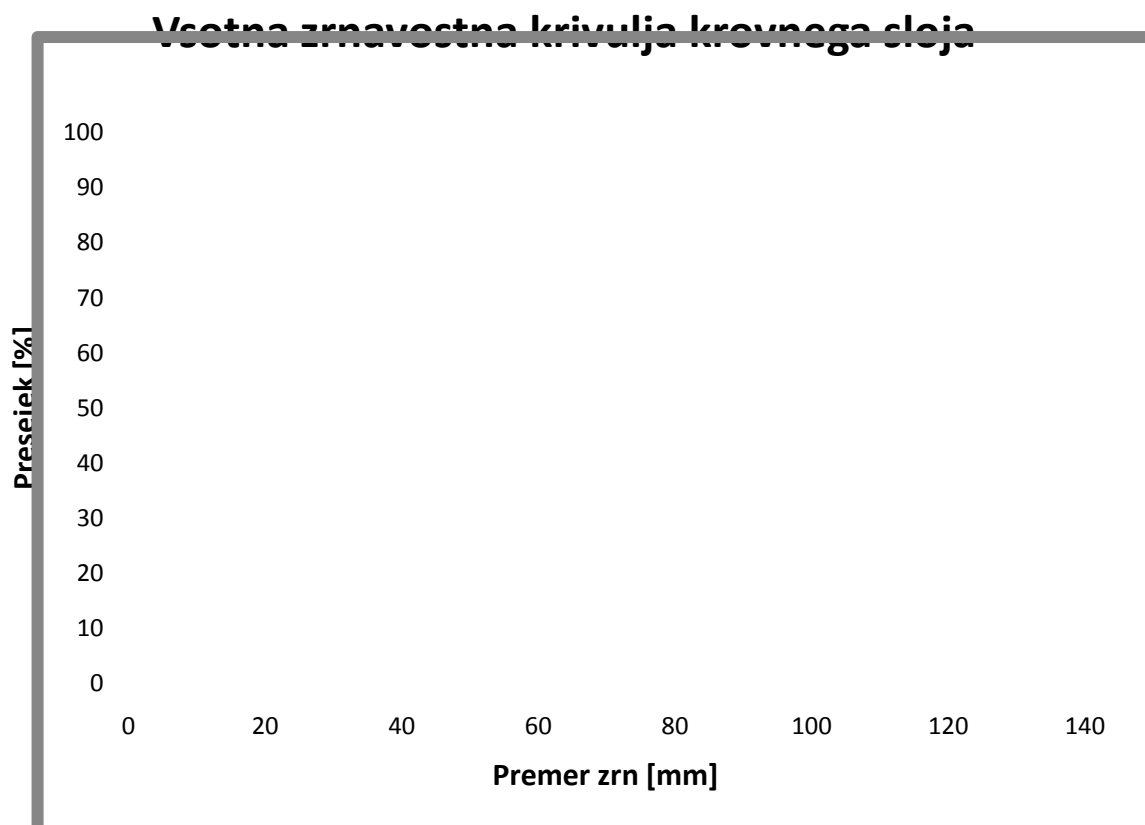
Slika 38: Skica prodišča 3 z označenimi linijami, po katerih so bila merjena zrna

Na prodišču 3 sem lokacije treh linij izbiral po sredinskem delu prodišča, saj mivke in zelo drobnih zrn s to metodo ni mogoče meriti. Lokacije linij so prikazane na Sliki 38, rezultati meritev pa so prikazani v Preglednici 23.

Preglednica 23: Rezultati meritev na prodišču 3 in preračun vsotne krivulje presejka

| Premer zrn [mm] | Število zrn | | | | Delež zrn | Vsotna krivulja presejka |
|-----------------|-------------|------------|------------|------------|-----------|--------------------------|
| | linija 1 | linija 2 | linija 3 | skupaj | | |
| < 10 | 7 | 22 | 17 | 46 | 0,137 | 0,137 |
| 10 - 20 | 27 | 26 | 27 | 80 | 0,238 | 0,375 |
| 20 - 30 | 22 | 17 | 18 | 57 | 0,170 | 0,545 |
| 30 - 40 | 15 | 22 | 16 | 53 | 0,158 | 0,702 |
| 40 - 50 | 13 | 7 | 11 | 31 | 0,092 | 0,795 |
| 50 - 60 | 7 | 6 | 6 | 19 | 0,057 | 0,851 |
| 60 - 70 | 6 | 3 | 9 | 18 | 0,054 | 0,905 |
| 70 - 80 | 4 | 4 | 2 | 10 | 0,030 | 0,935 |
| 80 - 100 | 6 | 5 | 5 | 16 | 0,048 | 0,982 |
| 100 - 120 | 3 | | 2 | 5 | 0,015 | 0,997 |
| 120 - 140 | 1 | | | 1 | 0,003 | 1,000 |
| Vsota: | 111 | 112 | 113 | 336 | | |

Na prodišču 3 so bila v povprečju izmerjena najdrobnejša zrna. Tudi maksimalno izmerjeno zrno je precej drobnejše od maksimalnih izmerjenih zrn na predhodno izmerjenih prodiščih in njegov premer znaša 134 mm.



Grafikon 30: Vsotna krivulja prikazuje delež presejka v odvisnosti od premera zrn na prodišču 3

Tudi na tem prodišču je 90 procentov zrn manjših od 70 mm, a so zrna premera nad 100 mm le izjeme.

7.2.4 Primerjava prodišč

Na prodišču 1 je definitivno največja zrnavezna krovnega sloja. Tu meri d_{50} (50 odstotno zrno) kar 58 mm. Maksimalni izmerjeni kamen pa kar 438 mm. Na prodišču 2, ki leži dolvodno, je zrnavezna krovnega sloja manjša. d_{50} meri le 23 mm, d_{90} (90 odstotno zrno) pa 90 mm, kar kaže, da je na tem prodišču manjši delež srednje debelih zrn. Na dolvodnem prodišču 3 pa je prisotnih več srednje debelih zrn. Za krovni sloj tega prodišča znaša d_{50} le 28 mm, d_{90} pa 70 mm.

Vzrok za tako razporeditev prodnih nanosov je v padcu struge in posledično manjših hitrostih vode. Ko se teren nekoliko zravna, hitrost pade, debelejša zrna pa se začnejo odlagati. Ko se voda še nekoliko upočasni, se odlagajo tudi nekoliko drobnejša zrna.

Manjša zrnavost posredno kaže tudi na večji pretočni prerez struge in posledično večjo površino, po kateri lahko voda pronica v podtalnico.

7.3 Določitev koeficientov infiltracije na prodiščih

Ker so klasični mini infiltrometri namenjeni meritvam infiltracije predvsem na drobnejših materialih in zemljinah, je z njimi meritev infiltracije na grobih prodnatih materialih težko izvedljiva in netočna. Eden od vzrokov je zelo majhna površina, katera se stika s tlemi in ker prodišča niso tako homogena kot zemlja. Rezultat je bolj odvisen od mikro lokacije postavitve infiltrometra kot od dejanske infiltracije. Glavni problem pa je v tem, da membrana prepušča le toliko vode, kolikor jo zemljina sama vsrka, prod pa ima zaradi večjih kamnov veliko praznih prostorov med zrn, zato je stik membrane s podlago vprašljiv. Zaradi teh dejstev sem meritve izvajal po principu merjenja infiltracije na poljih s kovinskim obročem z nekaj modifikacijami. Ker ima tudi kovinski obroč za merjenje infiltracije na homogenih poljih precej majhno površino, sem izdelal lesen škatlast okvir z notranjo dolžino stranice 50 cm. Okvir sem vsaj do polovice zakopal v prodišče (pri postopku s kovinskim obročem se le tega zabije v tla). Preko okvirja sem nato poveznil plastično folijo, ki je preprečevala iztekanje vode že ob polnjenju. Ko je bil okvir do vrha napolnjen z vodo, sem previdno in hkrati dovolj hitro odstanil folijo in na merskem ravnilu ob robu škatle odčitaval spremembo gladine v določenem časovnem intervalu (5 oziroma 10 sekund).



Slika 39: Polnjenje zakopanega škatlastega okvirja (levo) in meritev infiltracije (desno)

(foto: Lunka, 1. 8. 2009)

Za izračun infiltracije sem uporabil enačbe, ki se uporabljajo pri meritvah infiltracije z enojnim kovinskim obročem (Wu and Pan, 1997).

Zaradi pomanjkanja parametrov sem izbral metodo, katera predpostavlja, da se infiltracija s časom ustali (Wu and Pan, 1997). Torej na grafikonu, ki prikazuje infiltracijo (I) v odvisnosti od časa, lahko zadnji del krivulje infiltracije aproksimiramo s premico, za katero velja:

$$I = At + c = afK_s t + c \quad (5)$$

ker je A naklon premice, c točka preseka z y osjo, a empirična konstanta z vrednostjo 0,9084, K_s koeficient infiltracije, f pa je korekcijski faktor, ki ga lahko približimo z naslednjo enačbo:

$$f \approx \frac{H + 1/\alpha}{G^*} + 1 \quad (6)$$

pri čemer je H globina vode v obroču oziroma okvirju, α je koeficient odvisen od vrste zemljine, G^* pa predstavlja parameter odvisen od globine (d), do katere je zabit obroč in polmera obroča (r) (ker sem okvir zasul le okoli, znotraj obroča pa je bil nivo terena poravnan z dnom škatle, je d enak 0, radij pa sem določil na obroču enake površine mojga okvirja) in se izračuna po enačbi:

$$G^* = d + \frac{r}{2} \quad (7)$$

Iz enačbe 5 lahko izrazimo K_s :

$$K_s = \frac{A}{af} \quad (8)$$

Zaradi približkov v samem postopku izračun ni povsem natančen, toda ker merimo na prodiščih, ki že sama po sebi niso homogena in tudi v samem postopku meritve lahko pride do precejšnje napake, je točnost zgornjega izračuna povsem zadovoljiva.

7.3.1 Merilna oprema

- lesen okvir notranjih dimenzij 50 x 50 cm in globine 30 cm,
- ravnilo z milimetrsko skalo,
- plastična folija,
- lopata,
- vedro,
- štoparica.



Slika 40: Oprema za merjenje infiltracije na prodiščih (foto: Bogataj, 2. 8. 2009)

7.3.2 Lokacije prodišč

Meritve infiltracije sem izvedel na treh prodiščih na kritičnem območju, med jezom Homec in pritokom Rače. Prvi dve meritvi sem opravil na prodiščih 2 in 3, kjer sem izvedel tudi linijsko analizo, tretjo meritev pa sem opravil na prodišču dolvodno mostu regionalne ceste proti Mariboru oziroma 500 metrov gorvodno pritoka Rače.

7.3.3 Rezultati meritev in izračun koeficienta infiltracije

MERITEV 1 (izvedena na prodišču 2):

Lokacija (Gauss-Krieger-jev koordinatni sistem): Y = 469920, X = 115196

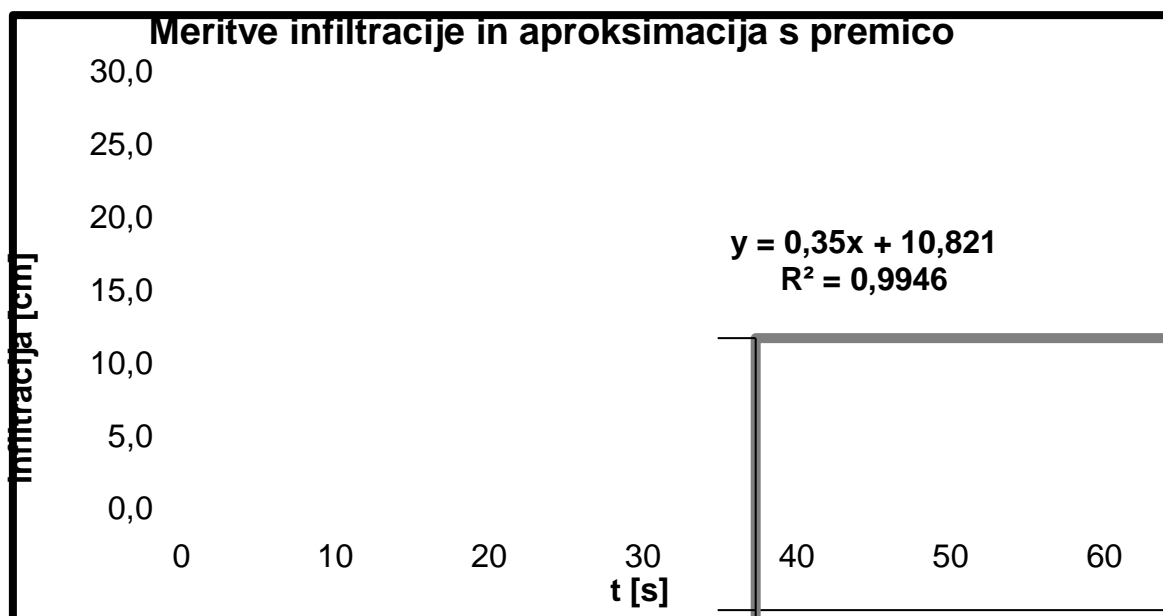
Čas začetka meritve: 1. avgust 2009 ob 16:55

Podrobnejši opis prodišča s slikami je že podan v poglavju 7.2. Meritev sem izvedel na dolvodnem delu prodišča, kjer je nekoliko bolj droben material (lažje izkopavanje in kompaktnjši zasip okoli škatle).

Vrsta podlage: srednje droben prod

Preglednica 24: Rezultati meritev infiltracije na prodišču 2

| Čas | Infiltracija | Infiltracija |
|------------|---------------------|---------------------------|
| [s] | [cm] | [l=dm³] |
| 0 | 0,0 | 0,000 |
| 5 | 7,0 | 17,500 |
| 10 | 12,0 | 30,000 |
| 15 | 15,0 | 37,500 |
| 20 | 17,5 | 43,750 |
| 25 | 19,5 | 48,750 |
| 30 | 21,5 | 53,750 |
| 35 | 23,5 | 58,750 |
| 40 | 25,0 | 62,500 |
| 45 | 26,5 | 66,250 |
| 50 | 28,0 | 70,000 |



Grafikon 31: Prikaz meritev infiltracije in približek s premico po stabilizaciji infiltracije na prodišču 2

Podatki in izračun koeficienta infiltracije:

podatki:

| | |
|------------|-----------------------|
| A = | 0,350 cm/s |
| c = | 10,821 cm |
| α = | 0,36 cm ⁻¹ |
| H = | 25,0 cm |
| r = | 28,2 cm |
| d = | 0,0 cm |
| a = | 0,9084 |

izračun:

| | |
|-------------|--------------------|
| f = | 2,970 |
| G* = | 14,10 cm |
| Ks = | 0,1297 cm/s |

Za izračun koeficienta infiltracije sem uporabil enačbe 6, 7 in 8.

MERITEV 2 (izvedena na prodišču 3):

Lokacija (Gauss-Krieger-jev koordinatni sistem): Y = 469614, X = 113373

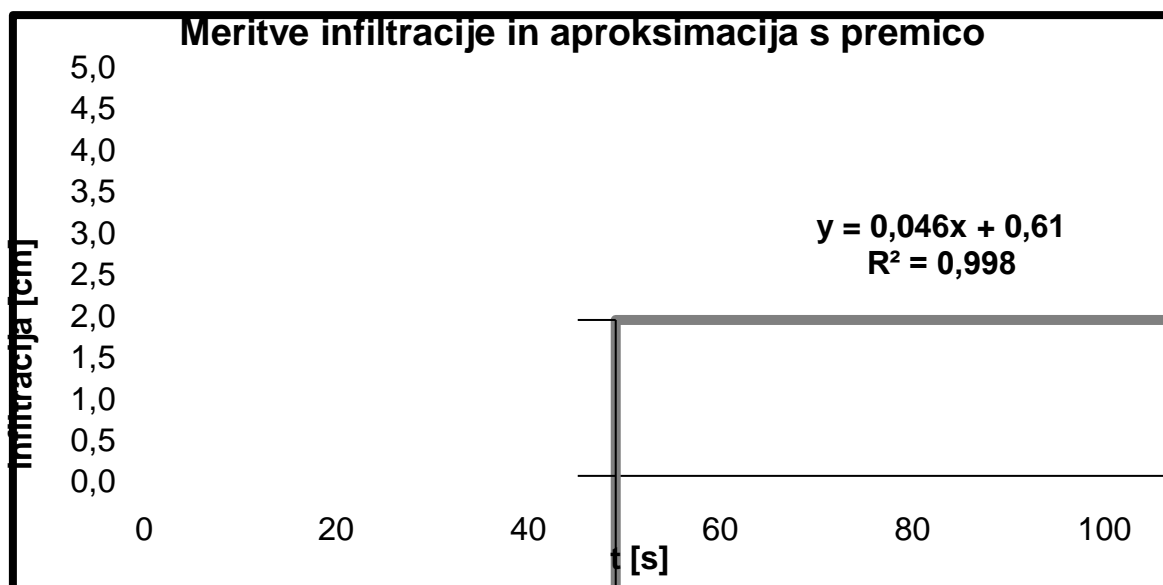
Čas začetka meritve: 1. avgust 2009 ob 18:10

Podrobnejši opis prodišča s slikami je v poglavju 7.2. Meritev sem izvedel tik ob levi brežini, saj je bil ostali del prodišča preveč kompakten za izkop.

Vrsta podlage: pesek in srednje droben prod

Preglednica 25: Rezultati meritev infiltracije na prodišču 3

| Čas | Infiltracija | Infiltracija |
|------------|---------------------|---------------------------|
| [s] | [cm] | [l=dm³] |
| 0 | 0,0 | 0,000 |
| 5 | 1,0 | 2,500 |
| 10 | 1,5 | 3,750 |
| 20 | 2,0 | 5,000 |
| 30 | 2,4 | 6,000 |
| 40 | 2,8 | 7,000 |
| 50 | 2,9 | 7,250 |
| 60 | 3,4 | 8,500 |
| 70 | 3,8 | 9,500 |
| 80 | 4,3 | 10,750 |



Grafikon 32: Prikaz meritev infiltracije in približek s premico po stabilizaciji infiltracije na prodišču 3

Podatki in izračun koeficienta infiltracije:

podatki:

| | |
|------------|-----------------------|
| A = | 0,046 cm/s |
| c = | 0,610 cm |
| α = | 0,36 cm ⁻¹ |
| H = | 25,0 cm |
| r = | 28,2 cm |
| d = | 0,0 cm |
| a = | 0,9084 |

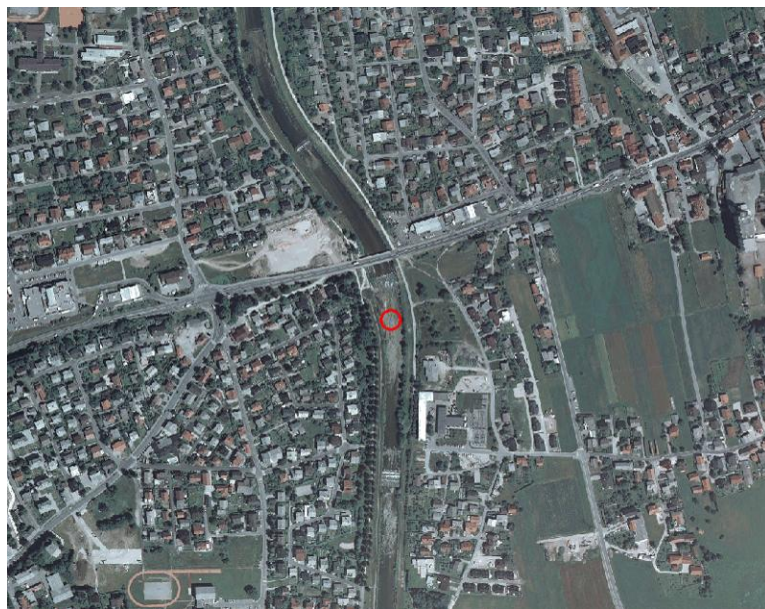
izračun:

| | |
|-------------|--------------------|
| G* = | 14,10 cm |
| f = | 2,970 |
| Ks = | 0,0170 cm/s |

Za izračun koeficienta infiltracije sem uporabil enačbe 6, 7 in 8.

MERITEV 3 (izvedena na prodišču 4):

Lokacija (Gauss-Krieger-jev koordinatni sistem): Y = 469845, X = 111415



Slika 41: Ortofoto posnetek lokacije prodišča 4 (vir: Atlas okolja; ARSO, 2009)



Slika 42: Izvajanje meritev na prodišču 4 (foto: Lunka, 1. 8. 2009)

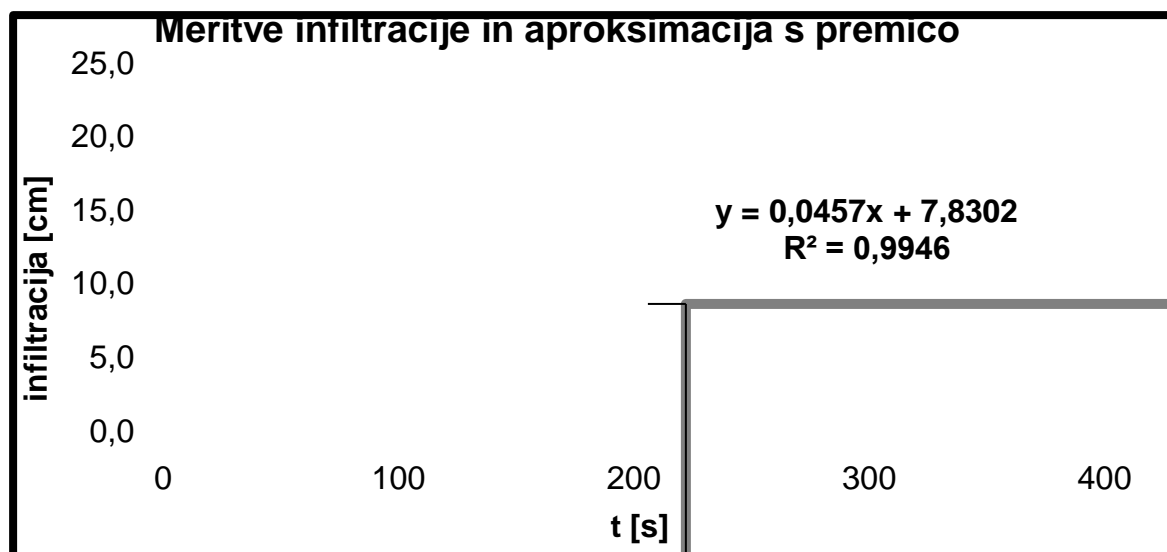
Čas meritev: 1. avgust 2009 od 17:30 do 19:10

Opis lokacije: Prodišče je locirano tik dolvodno kamnite drče pod mostom regionalne ceste proti Mariboru v Domžalah. Formacija prodišča je nastala ob desni brežini na dolžini 120 m. Večji del prodišča je močno zaraščen, po sestavi pa je zelo raznoliko. Gorvodno pod drčo je odloženo večje kamenje in grobi prod, bolj dolvodno pa pretežno srednje prodnate sestave z posameznimi večjimi kamni in vmesnimi predeli mivke. Meritev sem izvedel na privodni strani prodišča, kjer ni obrežne zarasti.

Vrsta podlage: pesek in srednje droben prod

Preglednica 26: Rezultati meritev infiltracije na prodišču 4

| Čas [s] | Infiltracija [cm] | Infiltracija [l=dm ³] |
|------------|----------------------|--------------------------------------|
| 0 | 0,0 | 0,000 |
| 10 | 3,0 | 7,500 |
| 20 | 5,0 | 12,500 |
| 30 | 6,2 | 15,500 |
| 40 | 7,5 | 18,750 |
| 50 | 8,4 | 21,000 |
| 60 | 9,3 | 23,250 |
| 70 | 10,0 | 25,000 |
| 80 | 10,9 | 27,250 |
| 90 | 11,5 | 28,750 |
| 100 | 12,2 | 30,500 |
| 110 | 12,7 | 31,750 |
| 120 | 13,3 | 33,250 |
| 130 | 13,8 | 34,500 |
| 140 | 14,3 | 35,750 |
| 150 | 14,8 | 37,000 |
| 160 | 15,2 | 38,000 |
| 170 | 15,7 | 39,250 |
| 180 | 16,2 | 40,500 |
| 190 | 16,7 | 41,750 |
| 200 | 17,1 | 42,750 |
| 210 | 17,7 | 44,250 |
| 220 | 18,1 | 45,250 |
| 230 | 18,6 | 46,500 |
| 240 | 19,0 | 47,500 |
| 250 | 19,4 | 48,500 |
| 260 | 19,8 | 49,500 |
| 270 | 20,1 | 50,250 |
| 280 | 20,5 | 51,250 |
| 290 | 20,8 | 52,000 |
| 300 | 21,0 | 52,500 |



Grafikon 33: Prikaz meritev infiltracije in približek s premico po stabilizaciji infiltracije na prodišču 4

Podatki in izračun koeficienta infiltracije:

podatki:

| | |
|------------|-----------------------|
| A = | 0,046 cm/s |
| c = | 7,830 cm |
| α = | 0,36 cm ⁻¹ |
| H = | 25,0 cm |
| r = | 28,2 cm |
| d = | 0,0 cm |
| a = | 0,9084 |

izračun:

| | |
|-------------|--------------------|
| G* = | 14,10 cm |
| f = | 2,970 |
| Ks = | 0,0169 cm/s |

Za izračun koeficienta infiltracije sem uporabil enačbe 6, 7 in 8.

7.3.4 Komentar rezultatov

Koeficient infiltracije izračunan iz rezultatov prve meritve (na prodišču 2) odstopa od rezultatov izračuna iz meritev na prodiščih 3 in 4 za velikostni razred 10, kar najverjetneje kaže na slabo izbiro merilne lokacije in izvedbo samega postopka. Na prodišču 2 je bila infiltracija merjena na bolj sipkem delu prodišča. Zaradi manjše zbitosti dna je voda hitreje infiltrirala. Rezultata izračuna iz podatkov druge in tretje meritve sta praktično enaka ($K_s = 0,017$ cm/s), kar kaže na dobro opravljene meritvi.

7.4 Meritve infiltracije v strugi

V času nizkih vodostajev sem izvedel meritve infiltracije z mini disk infiltrometrom v sami strugi Kamniške Bistrice. Meritve sem izvajal ob brežini in na mestih, kjer so se formirale manjše sipine z drobnejšim materialom.



Slika 43: Meritev infiltracije z mini disk infiltrometrom v strugi Kamniške Bistrice ob desni brežini (foto: Bogataj, 3. 9. 2009)

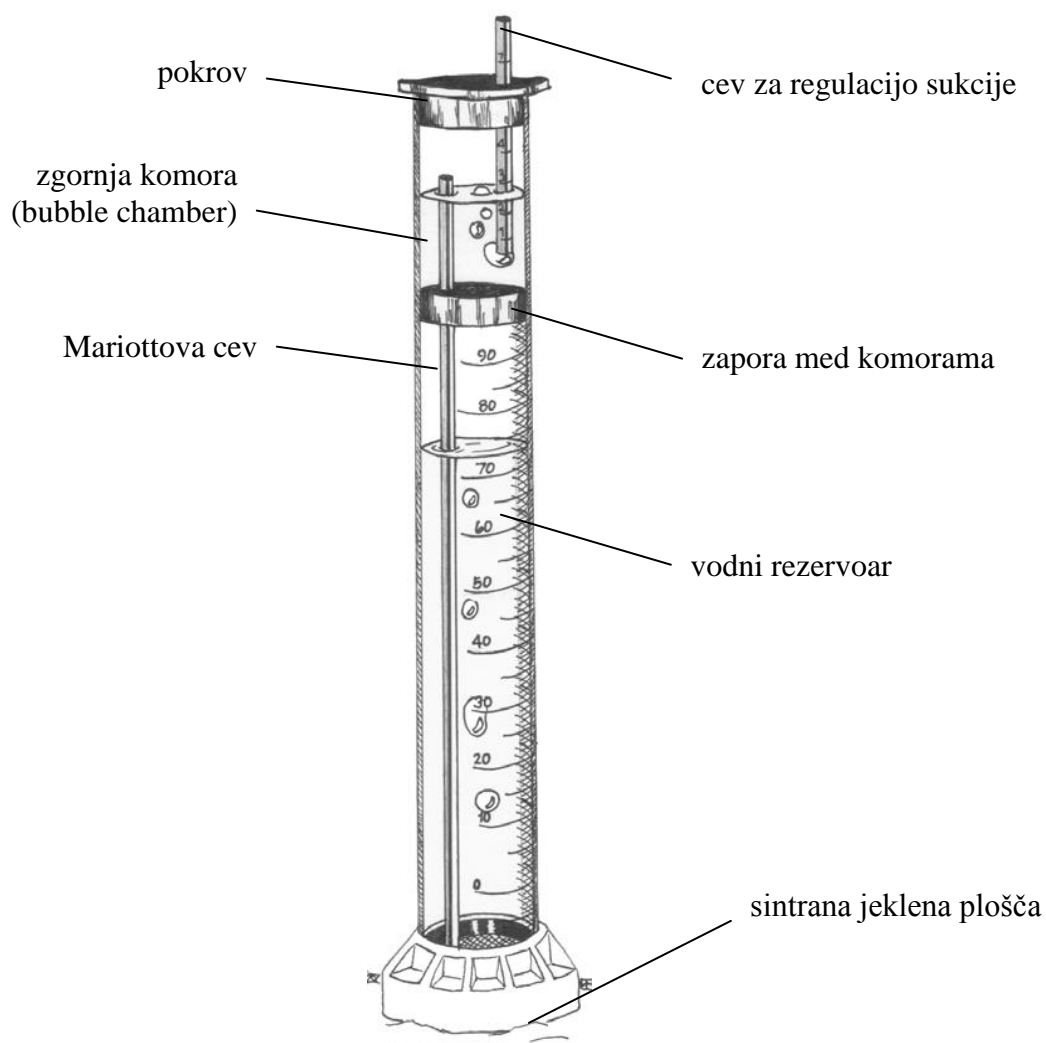
7.4.1 Merilna oprema

Za merjenje infiltracije sem uporabil mini disk infiltrometer znamke Decagon Devices in stoparico za merjenje časa med odčitki.

Minidisk Infiltrimeter, Decagon Devices, Inc.

Tehnični podatki:

- skupna dolžina: 32,7 cm
- premer cevi: 3,1 cm
- dolžina cevi za regulacijo sukcije: 10,2 cm
- razpon sukcije: 0,5 – 6,0 cm
- dolžina vodnega rezervoarja: 21,2 cm
- dolžina Mariottove cevi: 28 cm
- minimalna količina vode za merjenje: 135 ml
- membrana za infiltracijo: sintrana plošča iz nerjavečega jekla (premer: 4,4 cm, debelina: 3 mm)



Slika 44: Slika mini disk infiltrometra z opisom posameznih delov
(vir: Decagon Devices, 2005)

Mini disk infiltrometer je idealen za terenska merjenja zaradi njegove majhnosti, praktičnosti in enostavne uporabe. V nadaljevanju je opisan postopek merjenja.

Pred merjenjem obe komori napolnimo z vodo. V zgornji komori s kontrolno cevjo nastavimo želeno sukcijo glede na predvideno hitrost infiltracije. Z nastavitvijo sukcije oziroma majhnega negativnega tlaka eliminiramo vpliv zračnih por v podlagi. Iz spodnje komore se voda infiltrira v podlago skozi sintrano ploščo iz nerjavečega jekla, ki preprečuje iztekanje vode, ko infiltrometer ni v stiku s tlemi.

Ko sta obe komori napolnjeni in nastavljena želena sukcija, infiltrometer postavimo na ravno površino in voda iz spodnje komore začne pronicati v tla. Pomembno je, da je pod infiltrometrom ravna površina, ki omogoča dober stik spodnje plošče s podlago. V enakomernih časovnih intervalih odčitavamo gladino vode v spodnji komori na mililiterški skali.

Iz dobljenih rezultatov proizvajalec infiltrometra predlaga izračun koeficienta infiltracije po priloženem računalniškem programu, v katerem se izvede preračun po naslednjem postopku:

Rezultate izrišemo na grafikon infiltracije [cm] v odvisnosti od kvadratnega korena časa. Rezultate na grafikonu nato aproksimiramo z naslednjo krivuljo:

$$I = C_1 t + C_2 \sqrt{t} \quad (9)$$

Kjer je I infiltracija, C_1 in C_2 pa parametra krivulje. Nato izračunamo koeficient infiltracije (k).

$$k = \frac{C_1}{A} \quad (10)$$

Kjer A predstavlja koeficient, ki je odvisen od polmera jeklene plošče, vrednosti sukcije in karakteristik zemljine oziroma podlage. Izračunane vrednosti A za posamezne tipe zemljine pri različnih vrednostih sukcije podaja proizvajalec infiltrometra v tabeli (Decagon Devices, 2005).

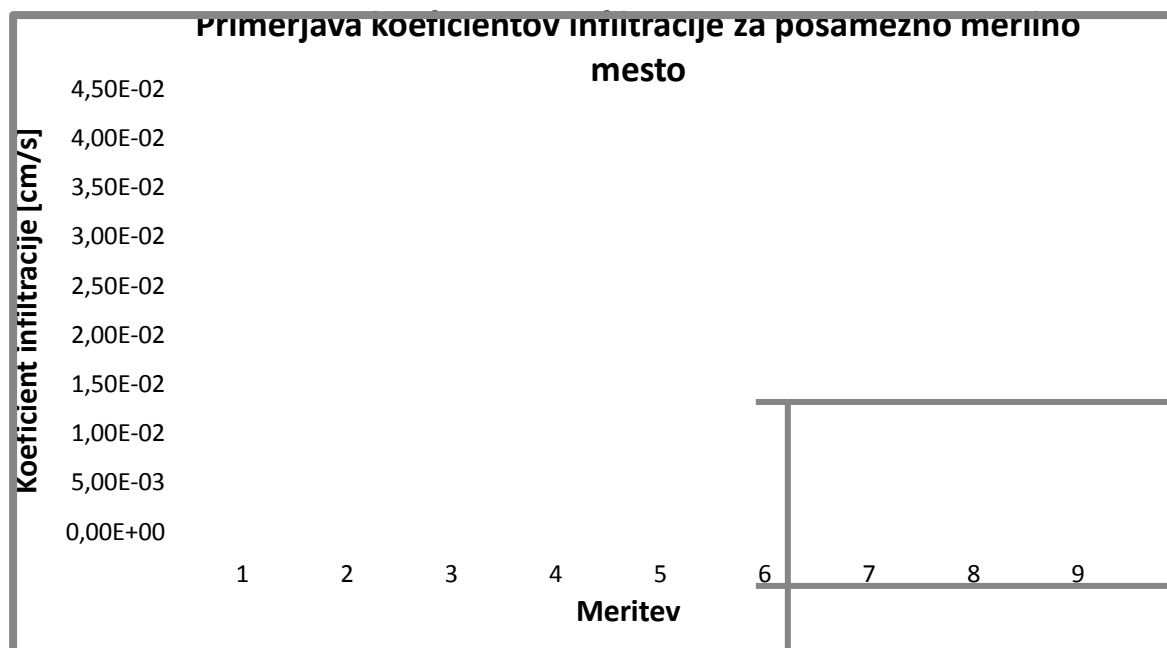
7.4.2 Rezultati in izračun koeficienta infiltracije

Rezultati merjenja in izračuni so podani v Prilogi B (B1 – B9). V Preglednici 27 pa je prikazan povzetek rezultatov izračuna koeficienta infiltracije in opis lokacije posamezne meritve.

Preglednica 27: Opis lokacij merjenja in povzetek rezultatov izračuna koeficienta infiltracije

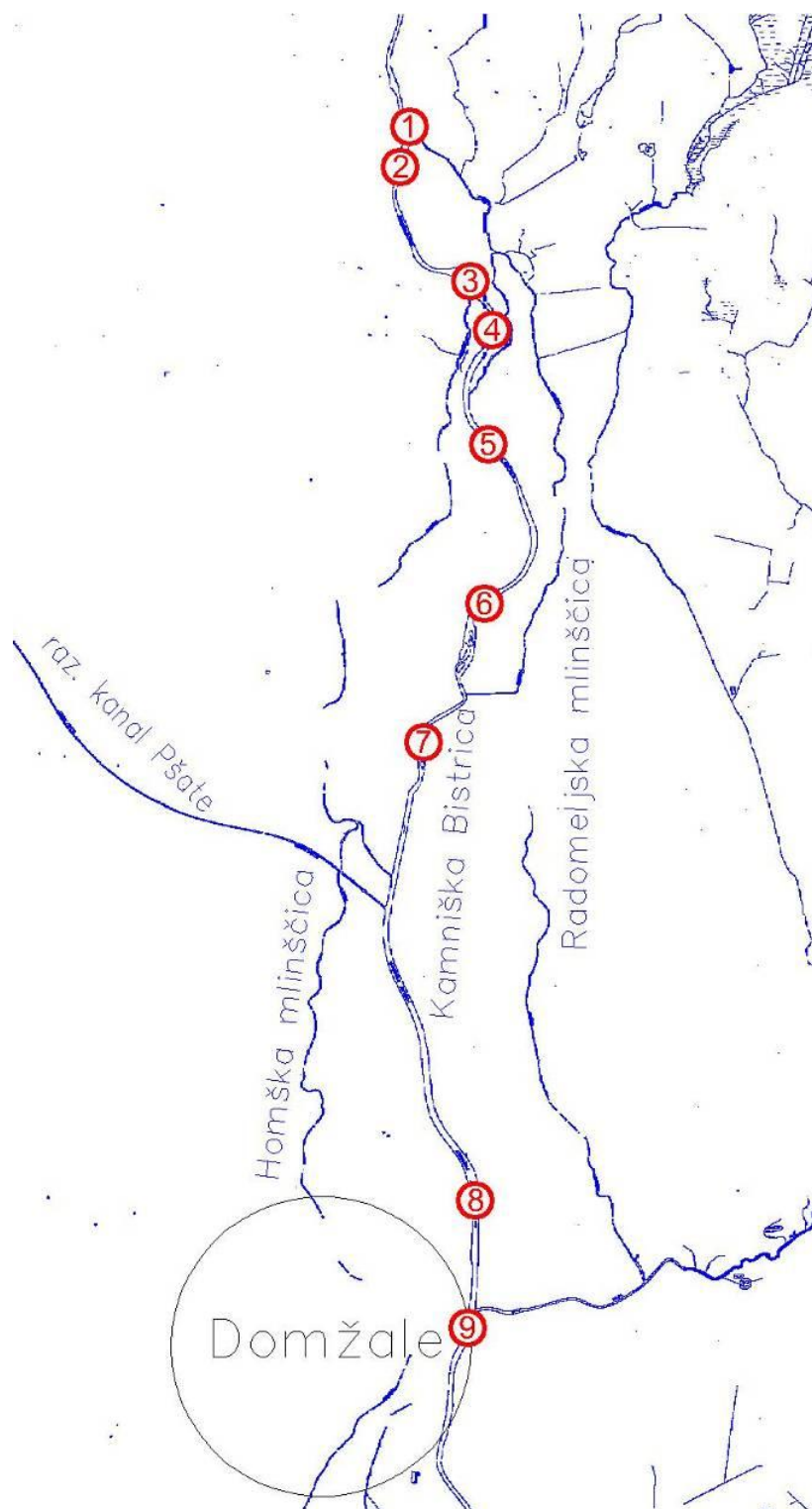
| Mer. Mesto | Opis lokacije | Stacionaža po osi struge [km] | Lokacija (Gauss-Krieger-jev koordinatni sistem) | | Ura meritve (3.9.2009) | Vrsta zemljine | Koeficient infiltracije [cm/s] |
|-------------------|--|----------------------------------|---|--------|------------------------|----------------|-----------------------------------|
| | | | Y | X | | | |
| 1 | ob levi brežini, 20 m gorvodno jezu Volčji Potok | 14,680 | 469556 | 116072 | 15:45 | ilovnat pesek | 2,72E-02 |
| 2 | ob desni brežini, 140 m dolvodno jezu Volčji Potok | 14,520 | 469518 | 115895 | 16:20 | pesek | 2,60E-02 |
| 3 | ob desni brežini, 30 m gorvodno jezu v Homcu, ob koncu prodišča | 13,950 | 469821 | 115397 | 16:35 | pesek | 2,20E-02 |
| 4 | ob koncu prodišča, 200 m dolvodno Homškega jezu | 13,720 | 469916 | 115185 | 16:50 | pesek | 1,11E-02 |
| 5 | ob desni brežini, 20 m dolvodno brvi v Homcu | 13,170 | 469901 | 114687 | 17:05 | ilovnat pesek | 4,74E-03 |
| 6 | ob levi brežini, 350 m dolvodno cestnega mostu v Radomljah | 12,260 | 469885 | 113993 | 17:30 | pesek | 8,33E-03 |
| 7 | ob levi brežini, na robu prodišča pri tovarni kartona v Količevem | 11,560 | 469619 | 113388 | 17:45 | pesek | 3,86E-02 |
| 8 | na prodišču ob desni brežini, 120 m dolvodno mostu regionalne ceste v Domžalah | 9,380 | 469845 | 111392 | 18:10 | pesek | 1,50E-02 |
| 9 | ob desni brežini, 30 m dolvodno sotočja z Račo | 8,840 | 469812 | 110836 | 18:30 | pesek | 1,20E-02 |
| Povprečje: | | | | | | | 1,83E-02 |

Meritve infiltracije sem izvedel na devetih lokacijah na kritičnem odseku glavne struge, med jezom Volčji Potok in sotočjem z Račo.



Grafikon 34: Primerjava izračunanih koeficientov infiltracije iz meritev z mini infiltrometrom

Največji koeficient infiltracije ima struga na območju tovarne kartona v Količevem, torej na lokaciji, kjer so ob katastrofalnem dogodku dne 28. 9. 2008 poniknile še zadnje količine vode v strugi Kamniške Bistrice. Nekoliko povišan koeficient infiltracije je tudi na širšem območju obeh jezov. Najnižji koeficient infiltracije pa sem določil za strugo v Homcu in Radomljah.



Slika 45: Lokacije merjenja infiltracije z mini disk infiltrometrom v strugi Kamniške Bistrice

7.5 Primerjava koeficientov infiltracije

Koeficiente infiltracije sem na glavni strugi Kamniške Bistrice izračunal iz rezultatov treh različnih meritev.

Pri meritvah pretokov sem najprej izračunal razliko v pretokih med dvema profiloma in nato na podlagi znane povprečne širine struge ter razdalje med merjenima profiloma izračunal koeficient infiltracije za posamezni odsek (pri tem izračunu sem zanemaril infiltriranje vode v brežini). Na treh prodiščih v strugi sem meril infiltracijo z lesenim okvirjem in po metodi izračuna za kovinski obroč izračunal koeficient infiltracije. Kot zadnje meritve sem izvedel merjenje infiltracije v strugi z mini infiltrometrom in po predlaganem postopku proizvajalca izračunal koeficiente infiltracije.

Pri izračunanem koeficientu infiltracije iz razlik pretokov ima velik vpliv zamuljenost oziroma poraščenost dna struge, ki precej zmanjšuje infiltracijo. Posledično so izračunani koeficienti infiltracije v povprečju več kot 30 krat nižji od izmerjenih z infiltrometrom oziroma s škatlo. Kljub temu pa se po večini ohranja razmerje med koeficienti infiltracije na podobnih lokacijah. Izračuna koeficienta infiltracije na podlagi meritev infiltracije z lesenim okvirjem in mini disk infiltrometrom pa sta po vrednosti zelo blizu. Pri meritvah z lesenim okvirjem sem po izračunu dobil koeficient infiltracije enak $1,7 \cdot 10^{-2}$ cm/s, pri meritvah z mini infiltrometrom pa povprečni koeficient infiltracije $1,83 \cdot 10^{-2}$ cm/s. Iz tega lahko sklepamo, da je povprečni koeficient infiltracije na nezamuljeni strugi (situacija po visokih vodah) približno 0,02 cm/s.

8 ZAKLJUČEK

Meritve pretokov sem izvajal na več zaporednih prečnih profilih glavne struge in mlinščic. Na glavni strugi sem izvedel 5 ponovitev meritev, na mlinščicah pa 4. Skupno sem izvedel preko 140 meritev pretokov. Po analizi rezultatov sem prišel do sledečih ugotovitev:

- Na odseku glavne struge Kamniške Bistrice med Kamnikom in jezom Volčji Potok ni bilo zaznati omembe vrednih sprememb v pretoku.
- Radomeljska mlinščica ob visokih in srednjih vodostajih Kamniške Bistrice odvzema konstantno le nekaj manj kot $2 \text{ m}^3/\text{s}$, s čimer se krši določila v koncesijski pogodbi, kjer je omejen maksimalni odvzem na $1,8 \text{ m}^3/\text{s}$.
- V nizkih in zelo nizkih vodostajih Kamniške Bistrice se odvzem za Radomeljsko mlinščico bistveno ne zmanjša, kar pomeni, da v nizkih vodostajih odvzem presega količine preostale vode v glavni strugi.
- Zapornica za odvzem vode za Homško mlinščico se ob nizkih vodostajih pripira, a ne striktno po količinah vode v glavni strugi. Pretok tudi ob povišanih vodostajih ne presega določil o maksimalnem odvzemu ($1,3 \text{ m}^3/\text{s}$).
- Ob nizkih vodostajih obe mlinščici skupaj odvezemata tudi do 80 odstotkov ($2 \text{ m}^3/\text{s}$) vode iz struge Kamniške Bistrice.
- Na odseku Kamniške Bistrice med jezom Volčji Potok in tovarno kartona v Količevem je bilo pri posameznih meritvah opaziti upad pretoka, ki pa je bil ob nizkih pretokih zanemarljiv.
- Ključne izgube v strugi Kamniške Bistrice so bile ob nizkih pretokih zabeležene na odseku med tovarno kartona v Količevem in pritokom Rače pri Domžalah. Na tem odseku se je izgubljalo preko 270 l/s oziroma več kot 40 odstotkov dotekajočega pritoka.

- Ob zadnji meritvi je pretok Kamniške Bistrice nad sotočjem z Račo znašal le 420 l/s oziroma manj kot 16 odstotkov tistega izmerjenega v Kamniku.
- Iztekanje vode v podtalnico je prisotno tudi na obeh mlinščicah, in sicer se v sušnem obdobju v povprečju izgublja med 2 in 3 odstotke pretoka na vsakem kilometru struge oziroma v približno 35 l/s na Radomeljski mlinščici in približno 20 l/s na vzdolžni kilometer struge na Homški mlinščici.

Meritve infiltracije v strugi Kamniške Bistrice so pokazale na rahlo zmanjšanje infiltriranja na območju Homca in Radomelj, toda razlika ni bistvena, zato lahko sklepamo, da vzrok v povečanem pronicanju vode v podtalnico na odseku med tovarno kartona v Količevem in pritokom Rače ni zgolj v sestavi tal.

V času nizkih vodostajev je dno struge v večini zamuljeno in manj propustno, zato obstaja velika verjetnost, da se voda pospešeno infiltrira v podtalje na območju podslapij stopenjskih pragov, kjer se mulj ne useda. Na problematičnem odseku Kamniške Bistrice, med tovarno kartona v Količevem in sotočjem z Račo (dolžina odseka 2,8 km), je namreč kar 18 takih pragov, večinoma z nezavarovanim podslapjem ali z zavarovanjem podslapja z večjimi skalami. Posledično k povečanju infiltracije prispeva tudi vsak preboj krovne plasti (čiščenje nanosov), ki pa ponavadi obsega le krajši odsek struge in zato ni ključnega pomena.

V analizi povodja Kamniške Bistrice (Ponikvar, 2001) je bil po formuli Matthey-a izračunan ekološko sprejemljiv minimum (Q_{es}) reke Kamniške Bistrice. Izračun je bil izveden na podlagi krivulje trajanja merilne postaje Kamnik I. Izračunan Q_{es} znaša 0,93 m³/s. Tak pretok je bil izmerjen nad sotočjem z Račo, ko je izmerjeni pretok v Kamniku znašal 3,3 m³/s. V času zadnje meritve pa je bil pretok Kamniške Bistrice nad sotočjem z Račo le 0,42 m³/s, kar pomeni le 45 odstotkov Q_{es} . Za zagotavljanje ekološko sprejemljivega pretoka na celotnem odseku je potrebno upoštevati tudi minimalno 270 l/s izgub na območju dolvodno obeh zajemov, kar pomeni, da mora biti pod Homškim jezom stalno zagotovljen pretok vsaj 1,2 m³/s.

9 PREDLAGANE REŠITVE

Za zagotavljanje ekološko sprejemljivega pretoka na celotni strugi Kamniške Bistrice med Kamnikom in Domžalami je potrebno uvesti ukrepe, s katerimi se bo omejevalo prevelik odvzem vode za obe mlinščici. Uradno je potrebno določiti upravljavca zapornic, ki bo v skladu z določili upravljal z zapornicami. Opravljati je potrebno stalni nadzor nad odvzemi obeh mlinščic v času nižjih vodostajev in fizično preprečiti odpiranje zapornic. V primeru kršenja določil je potrebno ustrezno kazensko ukrepati. Smiselno bi bilo postaviti sistem za obveščanje o ekstremno nizkih pretokih Kamniške Bistrice na delu tik nad sotočjem z Račo. V tem primeru bi lahko preprečili dogodke popolne presušitve struge z zapiranjem zapornic na obeh odvzemih. Z manjšimi gradbenimi posegi je možno tudi fizično preprečiti prevelik odvzem vode v času ekstremno nizkih vodostajev, a je vprašljiva racionalnost takega posega. Potrebno je upoštevati tudi ohranitev vodnega biotopa, ki se je ustvaril v mlinščicah skozi stoletja, zato je nujno določiti tudi ekološko sprejemljiv pretok na mlinščicah. Prioritetno ostaja zagotavljanje ekološko sprejemljivega pretoka na glavni naravni strugi Kamniške Bistrice, pretoke v mlinščicah pa je potrebno temu podrediti. V primeru potrebe po izsušitvi ene ali obeh mlinščic je potrebno izvesti izlov rib in ostalega življa, v kolikor je to mogoče.

Za določitev natančnejših izgub in odvzetih količin iz struge Kamniške Bistrice je potrebno postaviti mrežo stalnega spremljanja pretokov, ki bo delovala v daljšem časovnem obdobju. Pretoke je potrebno spremljati tako na glavni strugi kot na obeh mlinščicah. Z meritvami se bo pridobil popolni pregled odvzetih količin v posameznem obdobju in različnih vodostajih. Prav tako bo možno ustvariti natančnejšo sliko o izgubah vode na posameznem odseku struge.

VIRI

Kolbezen, M., Pristov, J. 1998. Površinski vodotoki in vodna bilanca Slovenije. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Hidrometeorološki zavod Slovenije: 29 str.

Ponikvar, J. 2001. Raba vode in z njo povezani finančni tokovi na povodju Kamniške Bistrice. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 66 f.

Kobolt, M. 2008. Hidrološko stanje Kamniške Bistrice med Kamnikom in Domžalami od 01. 09. 2008 do 13. 10. 2008. Poročilo. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje: 12 str.

Lakota-Jeriček, Š. 2008. Nizek vodostaj Kamniške Bistrice. Poročilo rečno nadzorne službe. Ljubljana, Hidrotehnik Vodnogospodarsko podjetje d.d., javna služba. številka poročila: 174/08 – ŠLJ: 5 str.

Bogataj, J. 2009. Ribji prehodi – Zagotavljanje ribjih migracij na vodotokih. Seminarska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Študij vodarstva in komunalnega inženirstva: 54 f.

Brečko-Grubar, V. 2007. Vloga geografskih značilnosti porečja pri sonaravnem upravljanju z vodnimi viri v porečju Kamniške Bistrice. Koper, Univerza na Primorskem, Fakulteta za humanistične študije Koper. Dela 28: 305-321.

Dragar, T. 2009. Problematika varstva vode v Kamniški Bistrici. Pobuda za obravnavo na seji Občinskega sveta Občine Domžale. Domžale, Občina Domžale: 7 str.

Fekonja, B. 2008. Pogin rib v reki Kamniška Bistrica. Poročilo. Domžale, Ministrstvo za notranje zadeve, Policija, Policijska uprava Ljubljana, Policijska postaja Domžale: 5 str.

Bajec, R. 2008. Zapisnik o poginu rib v Kamniški Bistrici. Zapisnik. Domžale, Ribiška družina »Bistrica« Domžale: 2 str.

Kamniška Bistrica zelena os regije. 2009. Inštitut za celostni razvoj in okolje (ICRO).
<http://www.kamniska-bistrica.si/> (14. 5. 2009).

Grafični in tabelarični prikaz hidroloških podatkov. Podatki avtomatskih merilnih postaj. 2009. Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje.
<http://www.arso.gov.si/vode/podatki/> (30. 6. 2009, 24. 7. 2009, 9. 8. 2009 in 30. 8. 2009).

Arhiv podjetja. 2009. Ljubljana. Hidrotehnik Vodnogospodarsko podjetje d.d..

Elektronski arhiv hidroloških podatkov. 2009. Ljubljana. Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje.

Arhivski hidrološki podatki. 2009. Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje.
http://www.arso.gov.si/vode/podatki/arhiv/hidroloski_arhiv.html (10. 4. 2009).

Atlas okolja. 2007. Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje.
http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso (9. 8. 2009)

WFS ARSO – izvoz prostorskih podatkov. 2007. Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje.
<http://gis.arso.gov.si/> (17. 4. 2009).

Evidenca vodno gospodarskih objektov – kataster objektov vodne infrastrukture. aplikacija v računalniškem programu Manifold. 2008. Republika Slovenija, Ministrstvo za okolje in Prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje.

Andjelov, M., Souvent, P., Mikulič, Z., Trisić, N., Gale, U., Savić, V., Kukar, N. 2007. Program hidrološkega monitoringa podzemnih voda za leto 2008. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje: 11 str.

Andjelov, M., Souvent, P., Mikulič, Z., Trisić, N., Gale, U., Savić, V. 2008. Program hidrološkega monitoringa podzemnih voda za leto 2009. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje: 12 str.

FlowTracker Handheld ADV[®]. Firmware 3.1 and Software 2.10. User's manual. 2006. San Diego, SonTek: 16 str.

FlowTracker Handheld ADV[®] Merilec pretočnih hitrosti SonTek. Opis merske opreme. 2004. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za splošno hidrotehniko.

<http://ksh.fgg.uni-lj.si/ksh/> (20. 6. 2009).

Mini Disk Infiltrimeter. User's Manual, version 1.2. 2005. Pullman, Decagon Devices: 16 str.

Mikoš, M. 2000. Urejanje vodotokov – skripta. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 182 str.

Brilly, M., Šraj, M. 2000. Različne oblike vode v tleh - študijsko gradivo predmeta Hidrologija II. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 29 str.

Wu, L., Pan, L., Mitchell, J., Sanden B. 1999. Measuring Saturated Hydraulic Conductivity using a Generalized Solution for Single-Ring Infiltrimeters. Soil Science Society of America Journal. no. 63: 788-792.

Mikoš, M., Krajnc, A., Matičič, B., Müller, J., Rakovec, J., Roš, M., Brilly, M. 2002. Hidrološko izrazje = Terminology in hydrology. Acta hydrotechnica 20, 32.

<http://ksh.fgg.uni-lj.si/ksh/acta/> (20. 8. 2009).

Slovar slovenskega knjižnega jezika, elektronska izdaja. verzija 1.0. 1997. Ljubljana, DZS d.d, Amebisovo skladišče podatkov (ASP).

Wikipedia, The Free Encyclopedia. 2001. Wikimedia Foundation.

<http://en.wikipedia.org/> (10. 9. 2009).

Schlumberger. 2009. Schlumberger Limited.

<http://www.slb.com/> (10. 9. 2009).

Evroterm – večjezična terminološka zbirka. 2008. Vlada RS.

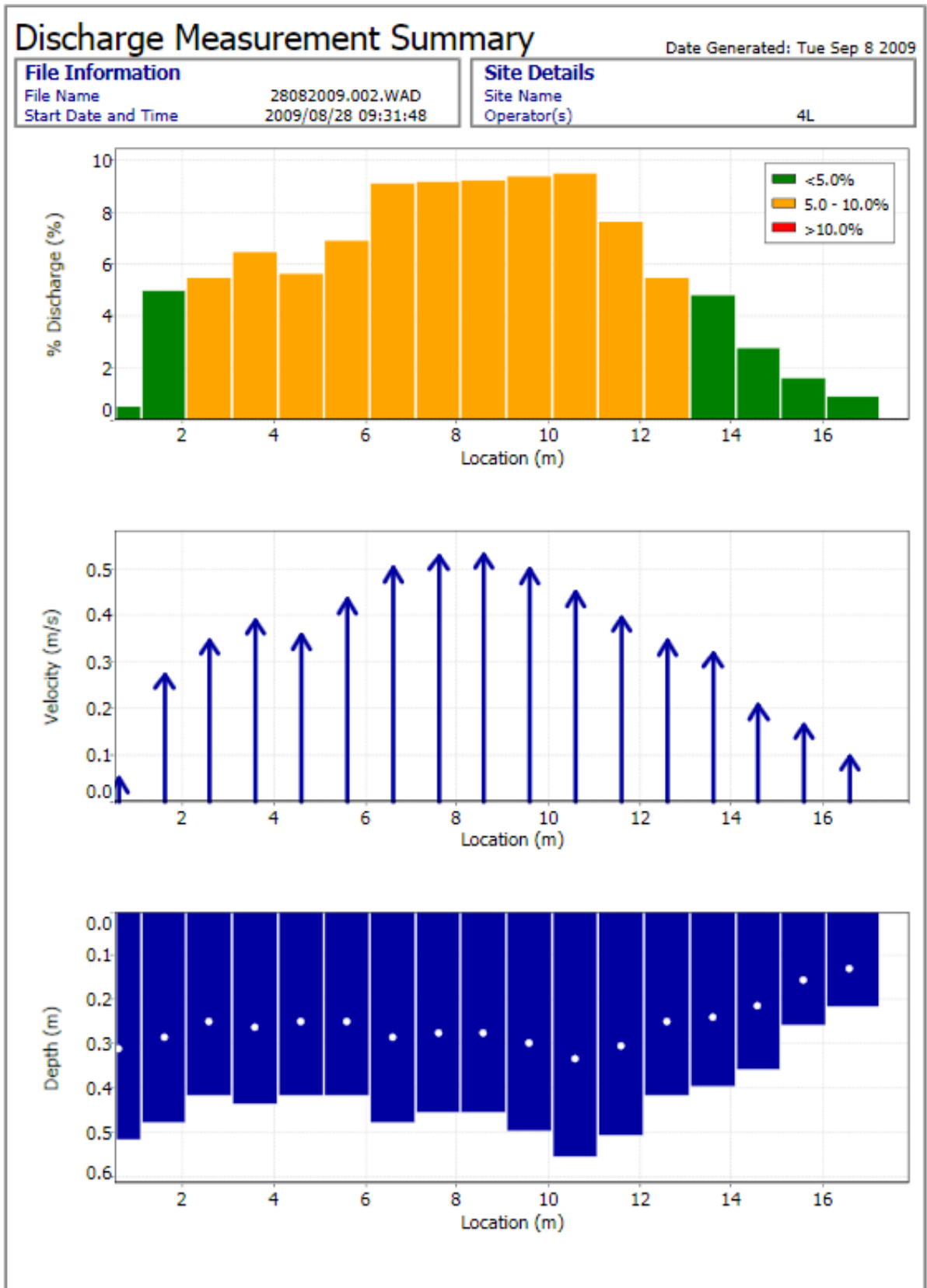
<http://evroterm.gov.si/> (10. 9. 2009).

**PRILOGA A Primer izhodne datoteke s podatki o meritvah pretoka z merilcem
 pretočnih hitrosti SonTek FlowTracker Handheld ADV**

Meritev izvedena na dan, 28. 8. 2009, ob 9:32 na merilnem profilu M 3.2.

| Discharge Measurement Summary | | | | | | | | | | | | Date Generated: Tue Sep 8 2009 | |
|-------------------------------|-------|---------------------|--------|---------------|------|-----------------------------|-------------------|---------------|------------------------------|-------------|--------------|--------------------------------|--|
| File Information | | | | | | Site Details | | | | | | | |
| File Name | | 28082009.002.WAD | | | | Site Name | | | | | | | |
| Start Date and Time | | 2009/08/28 09:31:48 | | | | Operator(s) | | 4L | | | | | |
| System Information | | | | | | Units (Metric Units) | | | Discharge Uncertainty | | | | |
| Sensor Type | | FlowTracker | | | | Distance | m | | Category | ISO | Stats | | |
| Serial # | | P377 | | | | Velocity | m/s | | Accuracy | 1.0% | 1.0% | | |
| CPU Firmware Version | | 3.1 | | | | Area | m ² | | Depth | 0.1% | 1.3% | | |
| Software Ver | | 2.30 | | | | Discharge | m ³ /s | | Velocity | 0.7% | 1.7% | | |
| Mounting Correction | | 0.0% | | | | | | | Width | 0.1% | 0.1% | | |
| | | | | | | | | | Method | 2.0% | - | | |
| | | | | | | | | | # Stations | 2.6% | - | | |
| | | | | | | | | | Overall | 3.6% | 2.4% | | |
| Summary | | | | | | | | | | | | | |
| Averaging Int. | | 30 | | # Stations | | 19 | | | | | | | |
| Start Edge | | LEW | | Total Width | | 17.400 | | | | | | | |
| Mean SNR | | 13.8 dB | | Total Area | | 7.129 | | | | | | | |
| Mean Temp | | 11.20 °C | | Mean Depth | | 0.410 | | | | | | | |
| Disch. Equation | | Mid-Section | | Mean Velocity | | 0.3703 | | | | | | | |
| | | | | | | Total Discharge | | 2.6401 | | | | | |
| Measurement Results | | | | | | | | | | | | | |
| St | Clock | Loc | Method | Depth | %Dep | MeasD | Vel | CorrFact | MeanV | Area | Flow | %Q | |
| 0 | 09:31 | 0.50 | None | 0.000 | 0.0 | 0.0 | 0.0000 | 1.00 | 0.0000 | 0.000 | 0.0000 | 0.0 | |
| 1 | 09:31 | 0.60 | 0.6 | 0.520 | 0.6 | 0.208 | 0.0499 | 1.00 | 0.0499 | 0.286 | 0.0143 | 0.5 | |
| 2 | 09:32 | 1.60 | 0.6 | 0.480 | 0.6 | 0.192 | 0.2736 | 1.00 | 0.2736 | 0.480 | 0.1313 | 5.0 | |
| 3 | 09:33 | 2.60 | 0.6 | 0.420 | 0.6 | 0.168 | 0.3465 | 1.00 | 0.3465 | 0.420 | 0.1455 | 5.5 | |
| 4 | 09:34 | 3.60 | 0.6 | 0.440 | 0.6 | 0.176 | 0.3892 | 1.00 | 0.3892 | 0.440 | 0.1712 | 6.5 | |
| 5 | 09:35 | 4.60 | 0.6 | 0.420 | 0.6 | 0.168 | 0.3567 | 1.00 | 0.3567 | 0.420 | 0.1498 | 5.7 | |
| 6 | 09:35 | 5.60 | 0.6 | 0.420 | 0.6 | 0.168 | 0.4344 | 1.00 | 0.4344 | 0.420 | 0.1824 | 6.9 | |
| 7 | 09:36 | 6.60 | 0.6 | 0.480 | 0.6 | 0.192 | 0.5015 | 1.00 | 0.5015 | 0.480 | 0.2407 | 9.1 | |
| 8 | 09:37 | 7.60 | 0.6 | 0.460 | 0.6 | 0.184 | 0.5274 | 1.00 | 0.5274 | 0.460 | 0.2426 | 9.2 | |
| 9 | 09:38 | 8.60 | 0.6 | 0.460 | 0.6 | 0.184 | 0.5310 | 1.00 | 0.5310 | 0.460 | 0.2443 | 9.3 | |
| 10 | 09:38 | 9.60 | 0.6 | 0.500 | 0.6 | 0.200 | 0.4984 | 1.00 | 0.4984 | 0.500 | 0.2492 | 9.4 | |
| 11 | 09:39 | 10.60 | 0.6 | 0.560 | 0.6 | 0.224 | 0.4498 | 1.00 | 0.4498 | 0.560 | 0.2519 | 9.5 | |
| 12 | 09:41 | 11.60 | 0.6 | 0.510 | 0.6 | 0.204 | 0.3962 | 1.00 | 0.3962 | 0.510 | 0.2021 | 7.7 | |
| 13 | 09:42 | 12.60 | 0.6 | 0.420 | 0.6 | 0.168 | 0.3458 | 1.00 | 0.3458 | 0.420 | 0.1452 | 5.5 | |
| 14 | 09:43 | 13.60 | 0.6 | 0.400 | 0.6 | 0.160 | 0.3183 | 1.00 | 0.3183 | 0.400 | 0.1273 | 4.8 | |
| 15 | 09:44 | 14.60 | 0.6 | 0.360 | 0.6 | 0.144 | 0.2063 | 1.00 | 0.2063 | 0.360 | 0.0743 | 2.8 | |
| 16 | 09:45 | 15.60 | 0.6 | 0.260 | 0.6 | 0.104 | 0.1660 | 1.00 | 0.1660 | 0.260 | 0.0432 | 1.6 | |
| 17 | 09:47 | 16.60 | 0.6 | 0.220 | 0.6 | 0.088 | 0.0978 | 1.00 | 0.0978 | 0.253 | 0.0247 | 0.9 | |
| 18 | 09:47 | 17.90 | None | 0.000 | 0.0 | 0.0 | 0.0000 | 1.00 | 0.0000 | 0.000 | 0.0000 | 0.0 | |

Rows in italics indicate a QC warning. See the Quality Control page of this report for more information.



| Discharge Measurement Summary | | Date Generated: Tue Sep 8 2009 | |
|--------------------------------------|---------------------|--------------------------------|----|
| File Information | | Site Details | |
| File Name | 28082009.002.WAD | Site Name | |
| Start Date and Time | 2009/08/28 09:31:48 | Operator(s) | 4L |
| Quality Control | | | |
| No Quality Control warnings | | | |

PRILOGA B **Izračun koeficienta infiltracije iz rezultatov meritev z mini disk
infiltrimetrom**

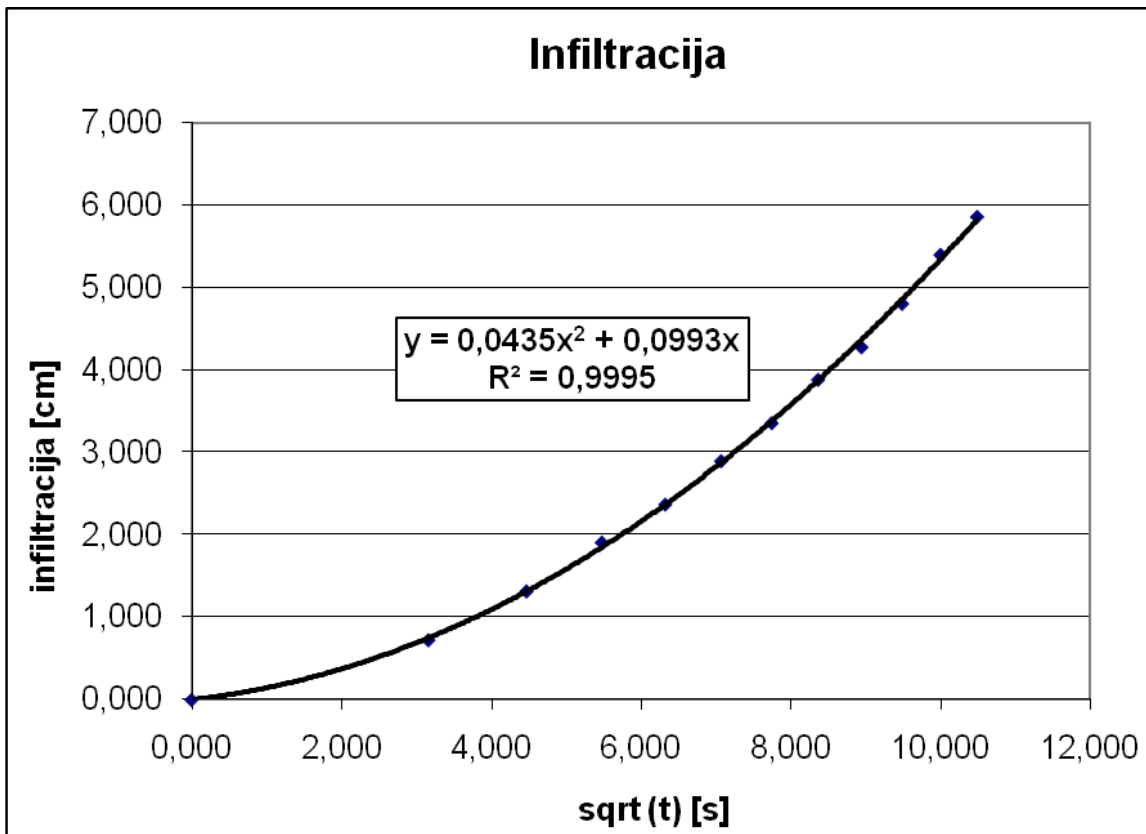
B1 Merilno mesto 1

Datum opravljenih meritev: 3. 9. 2009
Merilno mesto: 1
Ura: 15:45
Vrsta zemljine: Ilovnat pesek (loamy sand)
Vlažna zemljina

| | | |
|-----|----------------------------|---------|
| r = | 2,2 cm = | 0,22 dm |
| S = | 0,15205308 dm ² | |

| Čas [s] | Odčitki [ml] | Infiltr. [ml] | Infiltr. [l=dm ³] | Sqrt (t) | Infiltr. [cm] |
|---------|--------------|---------------|-------------------------------|----------|---------------|
| 0 | 89,0 | 0,0 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 10 | 78,0 | 11,0 | 0,011 | 3,162 | 0,723 |
| 20 | 69,0 | 20,0 | 0,020 | 4,472 | 1,315 |
| 30 | 60,0 | 29,0 | 0,029 | 5,477 | 1,907 |
| 40 | 53,0 | 36,0 | 0,036 | 6,325 | 2,368 |
| 50 | 45,0 | 44,0 | 0,044 | 7,071 | 2,894 |
| 60 | 38,0 | 51,0 | 0,051 | 7,746 | 3,354 |
| 70 | 30,0 | 59,0 | 0,059 | 8,367 | 3,880 |
| 80 | 24,0 | 65,0 | 0,065 | 8,944 | 4,275 |
| 90 | 16,0 | 73,0 | 0,073 | 9,487 | 4,801 |
| 100 | 7,0 | 82,0 | 0,082 | 10,000 | 5,393 |
| 110 | 0,0 | 89,0 | 0,089 | 10,488 | 5,853 |

| | |
|-------------------|------------------|
| C ₁ = | 0,0435 |
| C ₂ = | 0,0993 |
| A = | 1,6 |
| k [cm/s] = | 2,719E-02 |



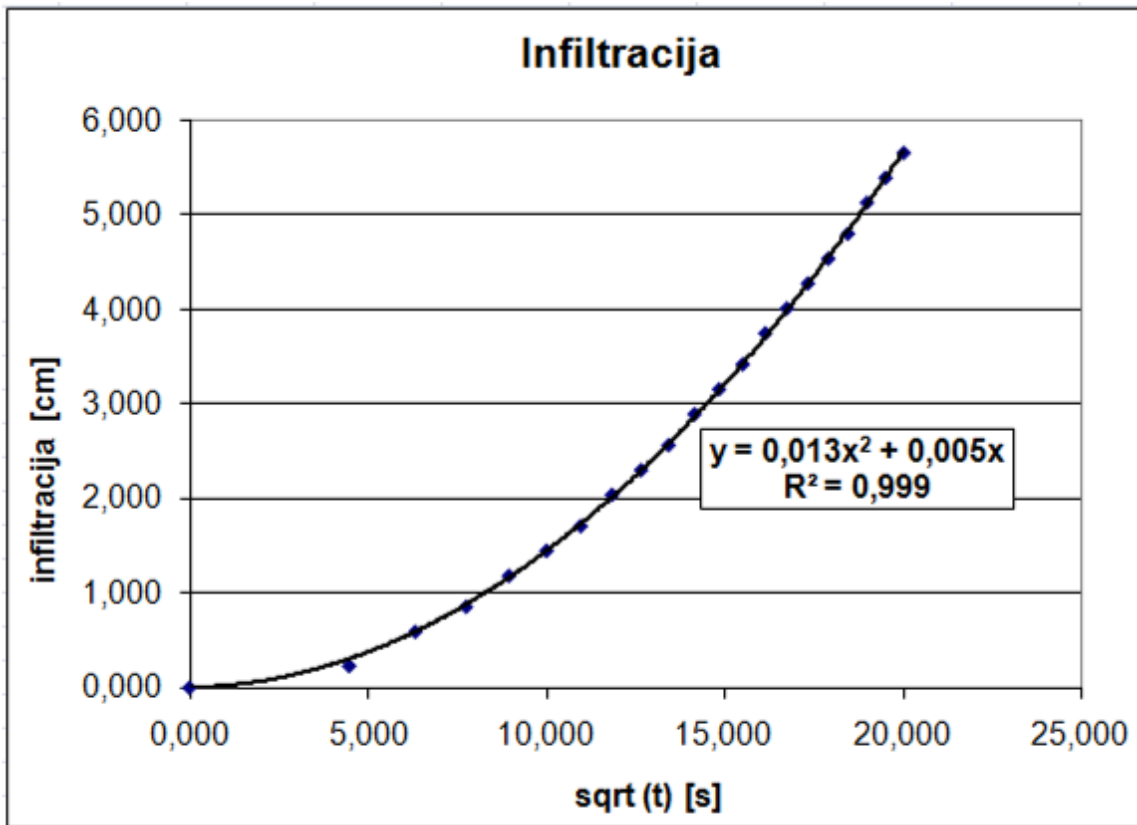
B2 Merilno mesto 2

Datum opravljenih meritev: 3. 9. 2009
 Merilno mesto: 2
 Ura: 16:20
 Vrsta zemljine: Pesek (sand)
 Vlažna zemljina

| | | |
|-----|----------------------------|---------|
| r = | 2,2 cm = | 0,22 dm |
| S = | 0,15205308 dm ² | |

| Čas [s] | Odčitki [ml] | Infiltr. [ml] | Infiltr. [l=dm ³] | Sqrt (t) | Infiltr. [cm] |
|---------|--------------|---------------|-------------------------------|----------|---------------|
| 0 | 86,0 | 0,0 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 20 | 82,5 | 3,5 | 0,004 | 4,472 | 0,230 |
| 40 | 77,0 | 9,0 | 0,009 | 6,325 | 0,592 |
| 60 | 73,0 | 13,0 | 0,013 | 7,746 | 0,855 |
| 80 | 68,0 | 18,0 | 0,018 | 8,944 | 1,184 |
| 100 | 64,0 | 22,0 | 0,022 | 10,000 | 1,447 |
| 120 | 60,0 | 26,0 | 0,026 | 10,954 | 1,710 |
| 140 | 55,0 | 31,0 | 0,031 | 11,832 | 2,039 |
| 160 | 51,0 | 35,0 | 0,035 | 12,649 | 2,302 |
| 180 | 47,0 | 39,0 | 0,039 | 13,416 | 2,565 |
| 200 | 42,0 | 44,0 | 0,044 | 14,142 | 2,894 |
| 220 | 38,0 | 48,0 | 0,048 | 14,832 | 3,157 |
| 240 | 34,0 | 52,0 | 0,052 | 15,492 | 3,420 |
| 260 | 29,0 | 57,0 | 0,057 | 16,125 | 3,749 |
| 280 | 25,0 | 61,0 | 0,061 | 16,733 | 4,012 |
| 300 | 21,0 | 65,0 | 0,065 | 17,321 | 4,275 |
| 320 | 17,0 | 69,0 | 0,069 | 17,889 | 4,538 |
| 340 | 13,0 | 73,0 | 0,073 | 18,439 | 4,801 |
| 360 | 8,0 | 78,0 | 0,078 | 18,974 | 5,130 |
| 380 | 4,0 | 82,0 | 0,082 | 19,494 | 5,393 |
| 400 | 0,0 | 86,0 | 0,086 | 20,000 | 5,656 |

| | |
|-------------------|------------------|
| C ₁ = | 0,013 |
| C ₂ = | 0,005 |
| A = | 0,5 |
| k [cm/s] = | 2,600E-02 |



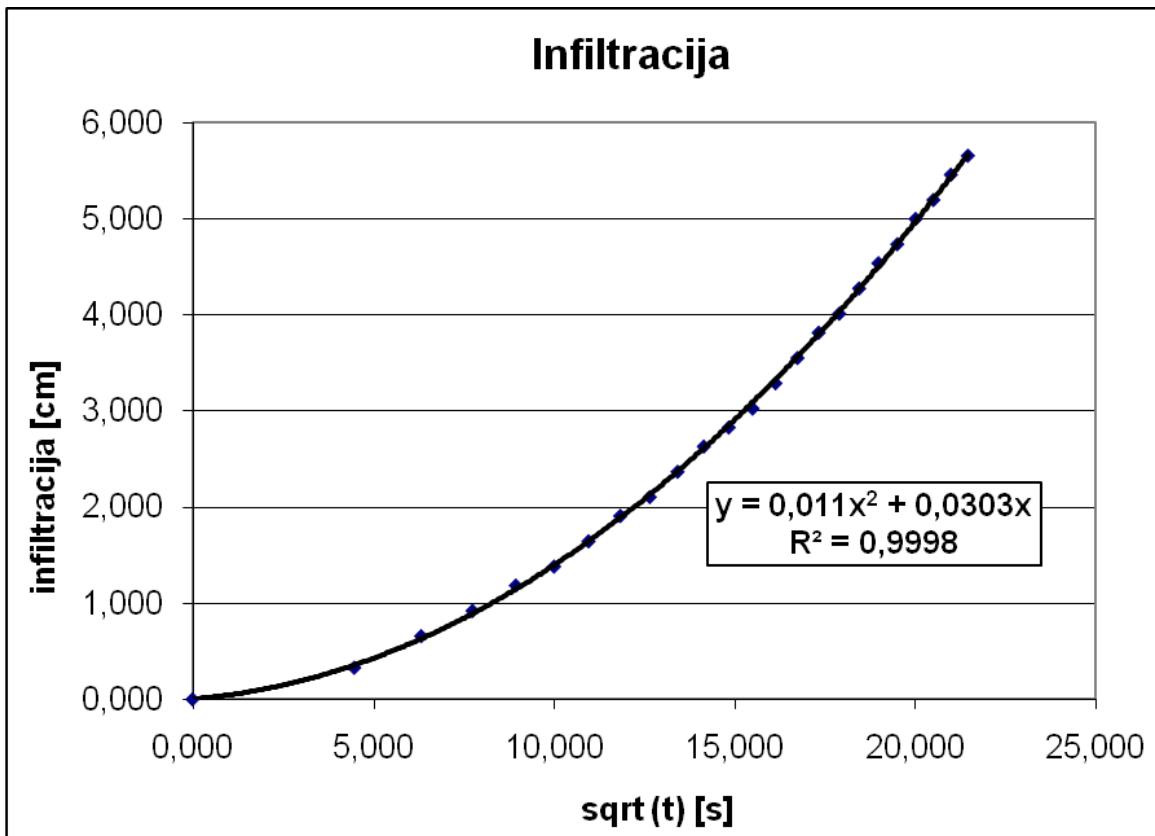
B3 Merilno mesto 3

Datum opravljenih meritev: 3. 9. 2009
 Merilno mesto: 3
 Ura: 16:35
 Vrsta zemljine: Pesek (sand)
 Vlažna zemljina

| | | |
|-----|----------------------------|---------|
| r = | 2,2 cm = | 0,22 dm |
| S = | 0,15205308 dm ² | |

| Čas [s] | Odčitki [ml] | Infiltr. [ml] | Infiltr. [l=dm ³] | Sqrt (t) | Infiltr. [cm] |
|---------|--------------|---------------|-------------------------------|----------|---------------|
| 0 | 89,0 | 0,0 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 20 | 84,0 | 5,0 | 0,005 | 4,472 | 0,329 |
| 40 | 79,0 | 10,0 | 0,010 | 6,325 | 0,658 |
| 60 | 75,0 | 14,0 | 0,014 | 7,746 | 0,921 |
| 80 | 71,0 | 18,0 | 0,018 | 8,944 | 1,184 |
| 100 | 68,0 | 21,0 | 0,021 | 10,000 | 1,381 |
| 120 | 64,0 | 25,0 | 0,025 | 10,954 | 1,644 |
| 140 | 60,0 | 29,0 | 0,029 | 11,832 | 1,907 |
| 160 | 57,0 | 32,0 | 0,032 | 12,649 | 2,105 |
| 180 | 53,0 | 36,0 | 0,036 | 13,416 | 2,368 |
| 200 | 49,0 | 40,0 | 0,040 | 14,142 | 2,631 |
| 220 | 46,0 | 43,0 | 0,043 | 14,832 | 2,828 |
| 240 | 43,0 | 46,0 | 0,046 | 15,492 | 3,025 |
| 260 | 39,0 | 50,0 | 0,050 | 16,125 | 3,288 |
| 280 | 35,0 | 54,0 | 0,054 | 16,733 | 3,551 |
| 300 | 31,0 | 58,0 | 0,058 | 17,321 | 3,814 |
| 320 | 28,0 | 61,0 | 0,061 | 17,889 | 4,012 |
| 340 | 24,0 | 65,0 | 0,065 | 18,439 | 4,275 |
| 360 | 20,0 | 69,0 | 0,069 | 18,974 | 4,538 |
| 380 | 17,0 | 72,0 | 0,072 | 19,494 | 4,735 |
| 400 | 13,0 | 76,0 | 0,076 | 20,000 | 4,998 |
| 420 | 10,0 | 79,0 | 0,079 | 20,494 | 5,196 |
| 440 | 6,0 | 83,0 | 0,083 | 20,976 | 5,459 |
| 460 | 3,0 | 86,0 | 0,086 | 21,448 | 5,656 |

| | |
|-------------------|------------------|
| C ₁ = | 0,011 |
| C ₂ = | 0,0303 |
| A = | 0,5 |
| k [cm/s] = | 2,200E-02 |



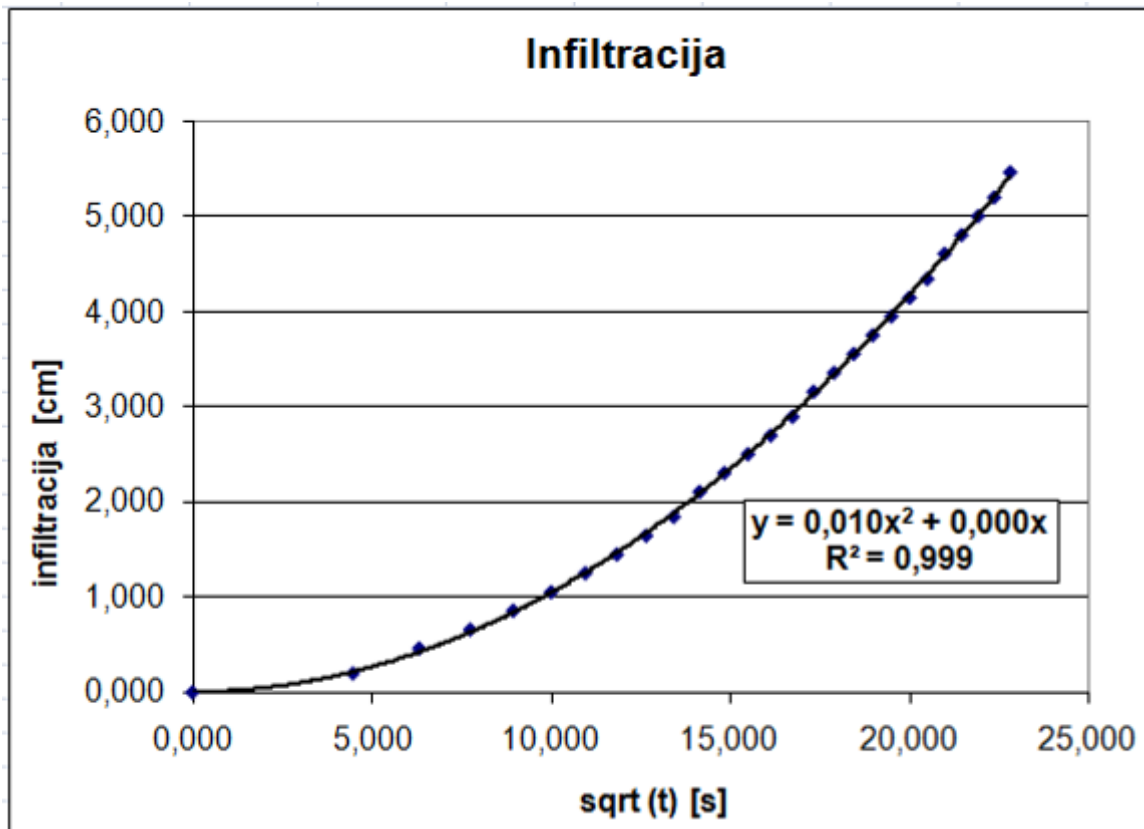
B4 Merilno mesto 4

Datum opravljenih meritev: 3. 9. 2009
 Merilno mesto: 4
 Ura: 16:50
 Vrsta zemljine: Pesek (sand)
 Vlažna zemljina

| | | |
|-----|----------------------------|---------|
| r = | 2,2 cm = | 0,22 dm |
| S = | 0,15205308 dm ² | |

| Čas [s] | Odčitki [ml] | Infiltr. [ml] | Infiltr. [l=dm ³] | Sqrt (t) | Infiltr. [cm] |
|---------|--------------|---------------|-------------------------------|----------|---------------|
| 0 | 85,0 | 0,0 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 20 | 82,0 | 3,0 | 0,003 | 4,472 | 0,197 |
| 40 | 78,0 | 7,0 | 0,007 | 6,325 | 0,460 |
| 60 | 75,0 | 10,0 | 0,010 | 7,746 | 0,658 |
| 80 | 72,0 | 13,0 | 0,013 | 8,944 | 0,855 |
| 100 | 69,0 | 16,0 | 0,016 | 10,000 | 1,052 |
| 120 | 66,0 | 19,0 | 0,019 | 10,954 | 1,250 |
| 140 | 63,0 | 22,0 | 0,022 | 11,832 | 1,447 |
| 160 | 60,0 | 25,0 | 0,025 | 12,649 | 1,644 |
| 180 | 57,0 | 28,0 | 0,028 | 13,416 | 1,841 |
| 200 | 53,0 | 32,0 | 0,032 | 14,142 | 2,105 |
| 220 | 50,0 | 35,0 | 0,035 | 14,832 | 2,302 |
| 240 | 47,0 | 38,0 | 0,038 | 15,492 | 2,499 |
| 260 | 44,0 | 41,0 | 0,041 | 16,125 | 2,696 |
| 280 | 41,0 | 44,0 | 0,044 | 16,733 | 2,894 |
| 300 | 37,0 | 48,0 | 0,048 | 17,321 | 3,157 |
| 320 | 34,0 | 51,0 | 0,051 | 17,889 | 3,354 |
| 340 | 31,0 | 54,0 | 0,054 | 18,439 | 3,551 |
| 360 | 28,0 | 57,0 | 0,057 | 18,974 | 3,749 |
| 380 | 25,0 | 60,0 | 0,060 | 19,494 | 3,946 |
| 400 | 22,0 | 63,0 | 0,063 | 20,000 | 4,143 |
| 420 | 19,0 | 66,0 | 0,066 | 20,494 | 4,341 |
| 440 | 15,0 | 70,0 | 0,070 | 20,976 | 4,604 |
| 460 | 12,0 | 73,0 | 0,073 | 21,448 | 4,801 |
| 480 | 9,0 | 76,0 | 0,076 | 21,909 | 4,998 |
| 500 | 6,0 | 79,0 | 0,079 | 22,361 | 5,196 |
| 520 | 2,0 | 83,0 | 0,083 | 22,804 | 5,459 |

| | |
|-------------------|------------------|
| C ₁ = | 0,01 |
| C ₂ = | 0 |
| A = | 0,9 |
| k [cm/s] = | 1,111E-02 |



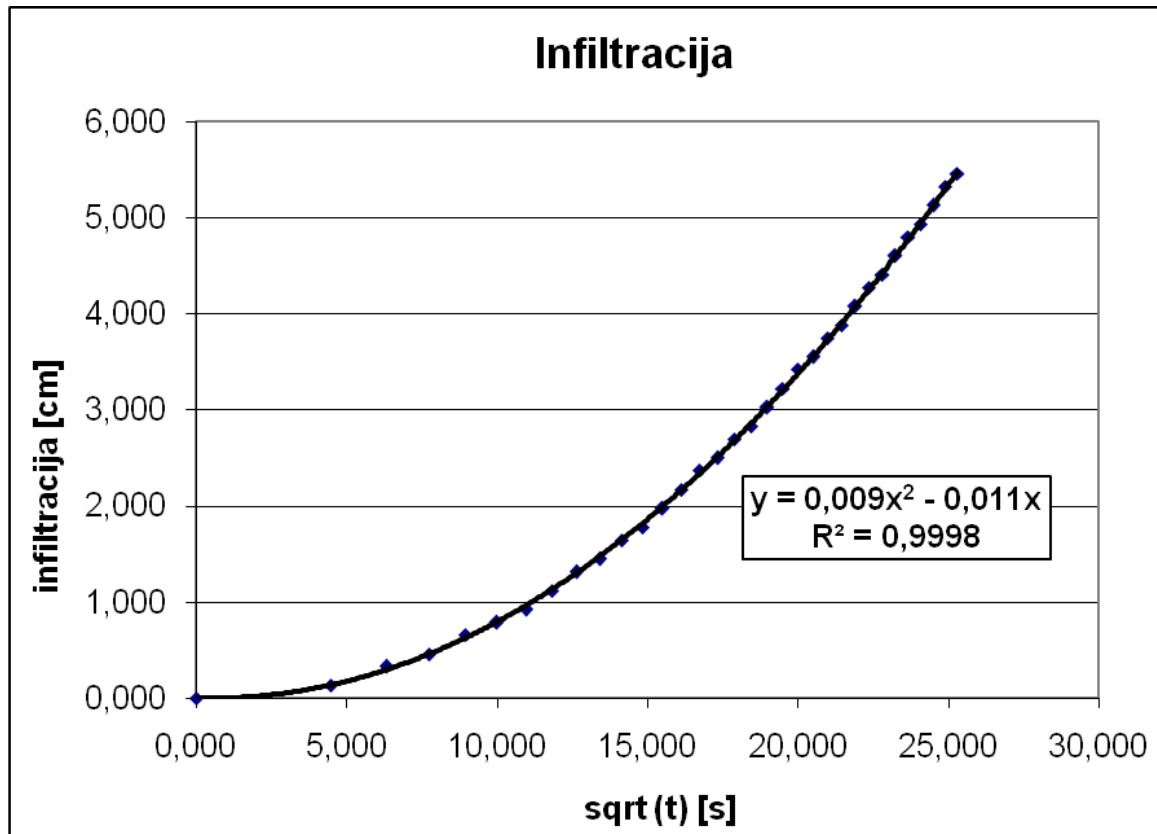
B5 Merilno mesto 5

Datum opravljenih meritev: 3. 9. 2009
 Merilno mesto: 5
 Ura: 17:05
 Vrsta zemljine: Ilovnat pesek (loamy sand)
 Vlažna zemljina

| | | |
|-----|----------------------------|---------|
| r = | 2,2 cm = | 0,22 dm |
| S = | 0,15205308 dm ² | |

| Čas [s] | Odčitki [ml] | Infiltr. [ml] | Infiltr. [l=dm ³] | Sqrt (t) | Infiltr. [cm] |
|---------|--------------|---------------|-------------------------------|----------|---------------|
| 0 | 85,0 | 0,0 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 20 | 83,0 | 2,0 | 0,002 | 4,472 | 0,132 |
| 40 | 80,0 | 5,0 | 0,005 | 6,325 | 0,329 |
| 60 | 78,0 | 7,0 | 0,007 | 7,746 | 0,460 |
| 80 | 75,0 | 10,0 | 0,010 | 8,944 | 0,658 |
| 100 | 73,0 | 12,0 | 0,012 | 10,000 | 0,789 |
| 120 | 71,0 | 14,0 | 0,014 | 10,954 | 0,921 |
| 140 | 68,0 | 17,0 | 0,017 | 11,832 | 1,118 |
| 160 | 65,0 | 20,0 | 0,020 | 12,649 | 1,315 |
| 180 | 63,0 | 22,0 | 0,022 | 13,416 | 1,447 |
| 200 | 60,0 | 25,0 | 0,025 | 14,142 | 1,644 |
| 220 | 58,0 | 27,0 | 0,027 | 14,832 | 1,776 |
| 240 | 55,0 | 30,0 | 0,030 | 15,492 | 1,973 |
| 260 | 52,0 | 33,0 | 0,033 | 16,125 | 2,170 |
| 280 | 49,0 | 36,0 | 0,036 | 16,733 | 2,368 |
| 300 | 47,0 | 38,0 | 0,038 | 17,321 | 2,499 |
| 320 | 44,0 | 41,0 | 0,041 | 17,889 | 2,696 |
| 340 | 42,0 | 43,0 | 0,043 | 18,439 | 2,828 |
| 360 | 39,0 | 46,0 | 0,046 | 18,974 | 3,025 |
| 380 | 36,0 | 49,0 | 0,049 | 19,494 | 3,223 |
| 400 | 33,0 | 52,0 | 0,052 | 20,000 | 3,420 |
| 420 | 31,0 | 54,0 | 0,054 | 20,494 | 3,551 |
| 440 | 28,0 | 57,0 | 0,057 | 20,976 | 3,749 |
| 460 | 26,0 | 59,0 | 0,059 | 21,448 | 3,880 |
| 480 | 23,0 | 62,0 | 0,062 | 21,909 | 4,078 |
| 500 | 20,0 | 65,0 | 0,065 | 22,361 | 4,275 |
| 520 | 18,0 | 67,0 | 0,067 | 22,804 | 4,406 |
| 540 | 15,0 | 70,0 | 0,070 | 23,238 | 4,604 |
| 560 | 12,0 | 73,0 | 0,073 | 23,664 | 4,801 |
| 580 | 10,0 | 75,0 | 0,075 | 24,083 | 4,932 |
| 600 | 7,0 | 78,0 | 0,078 | 24,495 | 5,130 |
| 620 | 4,0 | 81,0 | 0,081 | 24,900 | 5,327 |
| 640 | 2,0 | 83,0 | 0,083 | 25,298 | 5,459 |

| | |
|--------------|------------------|
| $C_1 =$ | 0,009 |
| $C_2 =$ | 0,011 |
| $A =$ | 1,9 |
| $k [cm/s] =$ | 4,737E-03 |



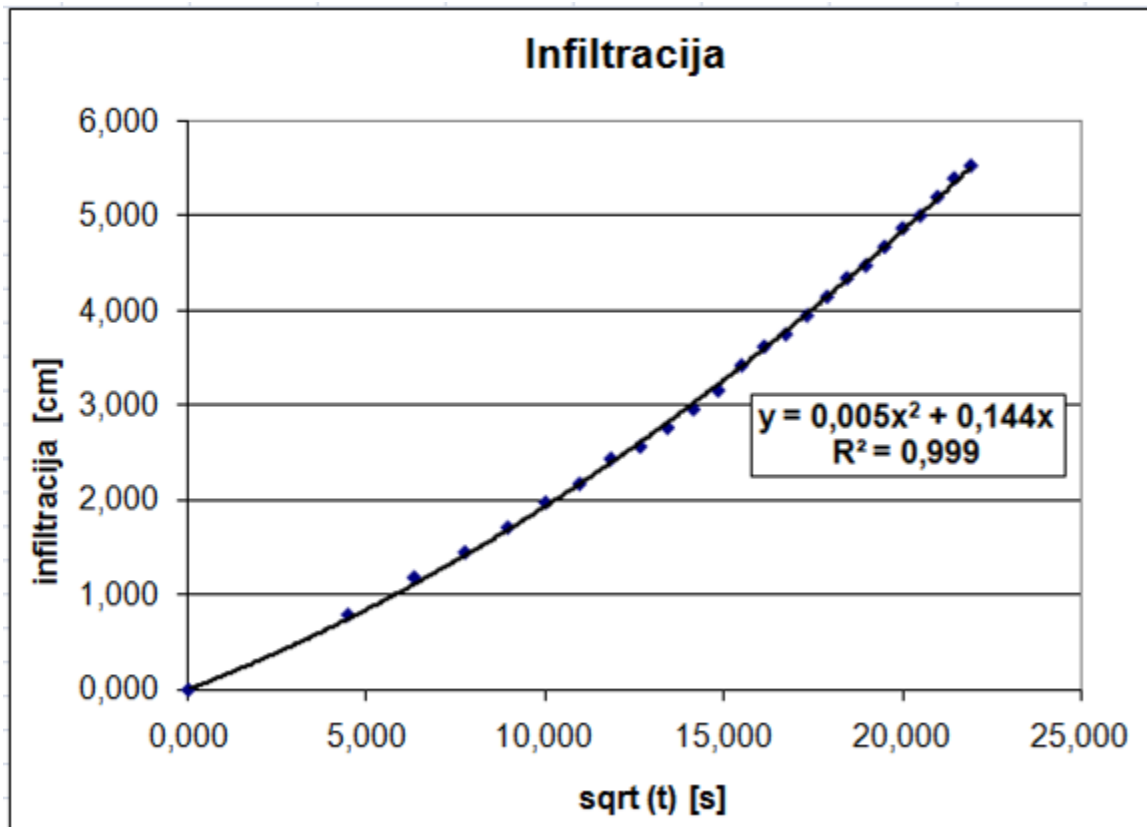
B6 Merilno mesto 6

Datum opravljenih
 meritev: 3. 9. 2009
 Merilno mesto: 6
 Ura: 17:30
 Vrsta zemljine: Pesek (sand)
 Vlažna zemljina

| | | |
|-----|----------------------------|---------|
| r = | 2,2 cm = | 0,22 dm |
| S = | 0,15205308 dm ² | |

| Čas [s] | Odčitki [ml] | Infiltr. [ml] | Infiltr. [l=dm ³] | Sqrt (t) | Infiltr. [cm] |
|---------|--------------|---------------|-------------------------------|----------|---------------|
| 0 | 84,0 | 0,0 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 20 | 72,0 | 12,0 | 0,012 | 4,472 | 0,789 |
| 40 | 66,0 | 18,0 | 0,018 | 6,325 | 1,184 |
| 60 | 62,0 | 22,0 | 0,022 | 7,746 | 1,447 |
| 80 | 58,0 | 26,0 | 0,026 | 8,944 | 1,710 |
| 100 | 54,0 | 30,0 | 0,030 | 10,000 | 1,973 |
| 120 | 51,0 | 33,0 | 0,033 | 10,954 | 2,170 |
| 140 | 47,0 | 37,0 | 0,037 | 11,832 | 2,433 |
| 160 | 45,0 | 39,0 | 0,039 | 12,649 | 2,565 |
| 180 | 42,0 | 42,0 | 0,042 | 13,416 | 2,762 |
| 200 | 39,0 | 45,0 | 0,045 | 14,142 | 2,959 |
| 220 | 36,0 | 48,0 | 0,048 | 14,832 | 3,157 |
| 240 | 32,0 | 52,0 | 0,052 | 15,492 | 3,420 |
| 260 | 29,0 | 55,0 | 0,055 | 16,125 | 3,617 |
| 280 | 27,0 | 57,0 | 0,057 | 16,733 | 3,749 |
| 300 | 24,0 | 60,0 | 0,060 | 17,321 | 3,946 |
| 320 | 21,0 | 63,0 | 0,063 | 17,889 | 4,143 |
| 340 | 18,0 | 66,0 | 0,066 | 18,439 | 4,341 |
| 360 | 16,0 | 68,0 | 0,068 | 18,974 | 4,472 |
| 380 | 13,0 | 71,0 | 0,071 | 19,494 | 4,669 |
| 400 | 10,0 | 74,0 | 0,074 | 20,000 | 4,867 |
| 420 | 8,0 | 76,0 | 0,076 | 20,494 | 4,998 |
| 440 | 5,0 | 79,0 | 0,079 | 20,976 | 5,196 |
| 460 | 2,0 | 82,0 | 0,082 | 21,448 | 5,393 |
| 480 | 0,0 | 84,0 | 0,084 | 21,909 | 5,524 |

| | |
|-------------------|------------------|
| C ₁ = | 0,005 |
| C ₂ = | 0,144 |
| A = | 0,6 |
| k [cm/s] = | 8,333E-03 |



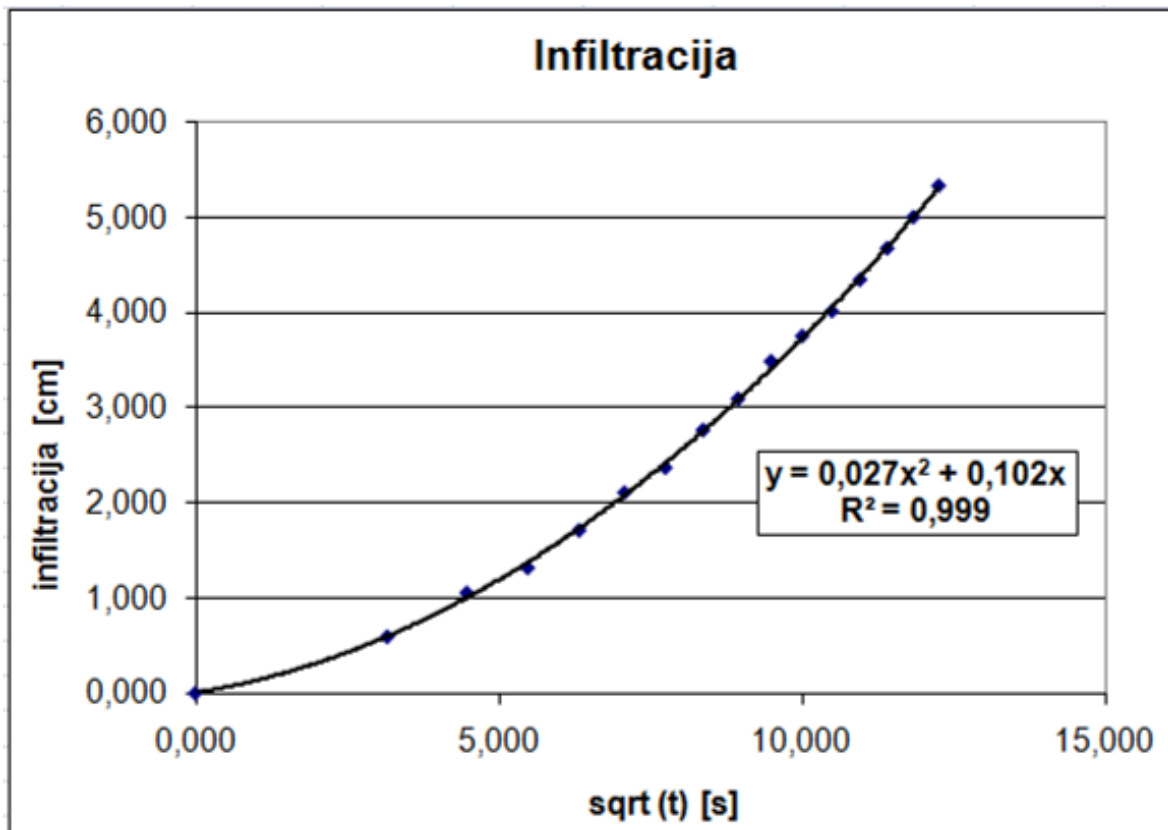
B7 Merilno mesto 7

Datum opravljenih meritev: 3. 9. 2009
 Merilno mesto: 7
 Ura: 17:45
 Vrsta zemljine: Pesek (sand)
 Vlažna zemljina

| | | |
|-----|----------------------------|---------|
| r = | 2,2 cm = | 0,22 dm |
| S = | 0,15205308 dm ² | |

| Čas [s] | Odčitki [ml] | Infiltr. [ml] | Infiltr. [l=dm ³] | Sqrt (t) | Infiltr. [cm] |
|---------|--------------|---------------|-------------------------------|----------|---------------|
| 0 | 84,0 | 0,0 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 10 | 75,0 | 9,0 | 0,009 | 3,162 | 0,592 |
| 20 | 68,0 | 16,0 | 0,016 | 4,472 | 1,052 |
| 30 | 64,0 | 20,0 | 0,020 | 5,477 | 1,315 |
| 40 | 58,0 | 26,0 | 0,026 | 6,325 | 1,710 |
| 50 | 52,0 | 32,0 | 0,032 | 7,071 | 2,105 |
| 60 | 48,0 | 36,0 | 0,036 | 7,746 | 2,368 |
| 70 | 42,0 | 42,0 | 0,042 | 8,367 | 2,762 |
| 80 | 37,0 | 47,0 | 0,047 | 8,944 | 3,091 |
| 90 | 31,0 | 53,0 | 0,053 | 9,487 | 3,486 |
| 100 | 27,0 | 57,0 | 0,057 | 10,000 | 3,749 |
| 110 | 23,0 | 61,0 | 0,061 | 10,488 | 4,012 |
| 120 | 18,0 | 66,0 | 0,066 | 10,954 | 4,341 |
| 130 | 13,0 | 71,0 | 0,071 | 11,402 | 4,669 |
| 140 | 8,0 | 76,0 | 0,076 | 11,832 | 4,998 |
| 150 | 3,0 | 81,0 | 0,081 | 12,247 | 5,327 |

| | |
|-------------------|------------------|
| C ₁ = | 0,027 |
| C ₂ = | 0,102 |
| A = | 0,7 |
| k [cm/s] = | 3,857E-02 |



B8 Merilno mesto 8

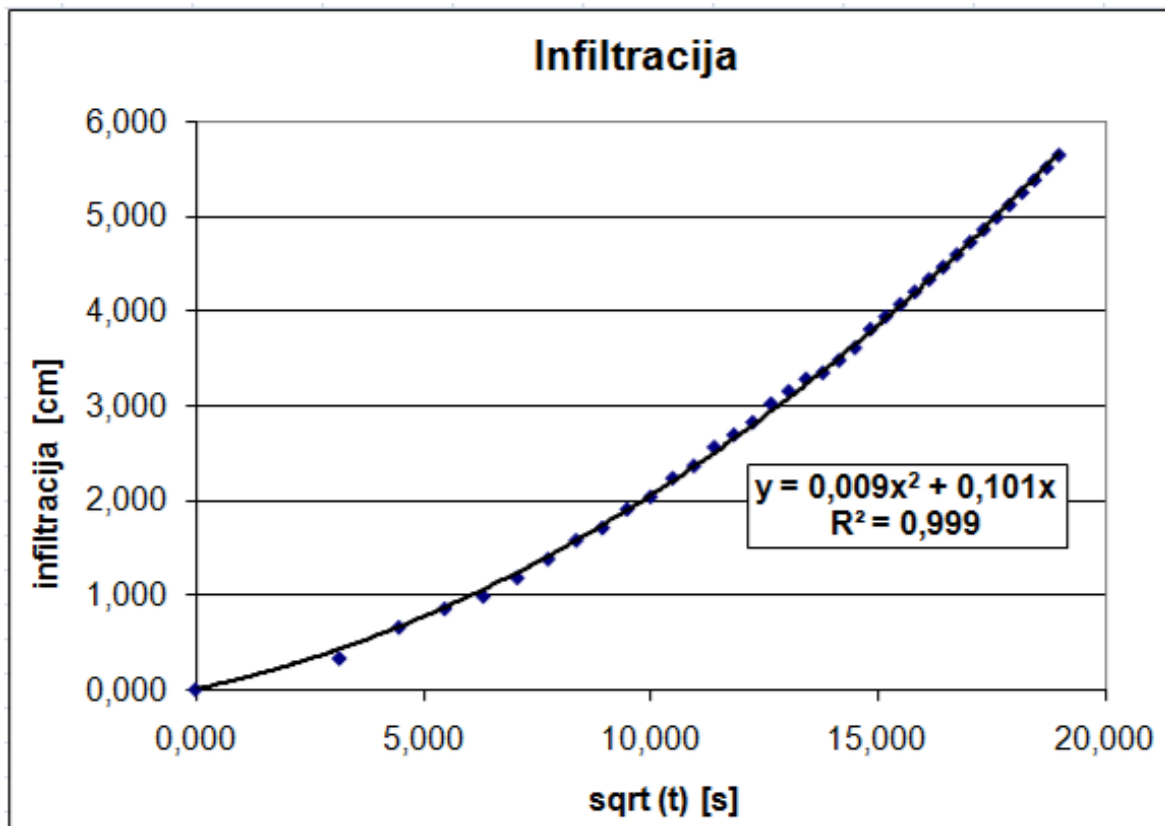
Datum opravljenih
 meritev: 3. 9. 2009
 Merilno mesto: 8
 Ura: 18:10
 Vrsta zemljine: Pesek (sand)
 Vlažna zemljina

| | | |
|-----|----------------------------|---------|
| r = | 2,2 cm = | 0,22 dm |
| S = | 0,15205308 dm ² | |

| Čas [s] | Odčitki [ml] | Infiltr. [ml] | Infiltr. [l=dm ³] | Sqrt (t) | Infiltr. [cm] |
|---------|--------------|---------------|-------------------------------|----------|---------------|
| 0 | 88,0 | 0,0 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 10 | 83,0 | 5,0 | 0,005 | 3,162 | 0,329 |
| 20 | 78,0 | 10,0 | 0,010 | 4,472 | 0,658 |
| 30 | 75,0 | 13,0 | 0,013 | 5,477 | 0,855 |
| 40 | 73,0 | 15,0 | 0,015 | 6,325 | 0,986 |
| 50 | 70,0 | 18,0 | 0,018 | 7,071 | 1,184 |
| 60 | 67,0 | 21,0 | 0,021 | 7,746 | 1,381 |
| 70 | 64,0 | 24,0 | 0,024 | 8,367 | 1,578 |
| 80 | 62,0 | 26,0 | 0,026 | 8,944 | 1,710 |
| 90 | 59,0 | 29,0 | 0,029 | 9,487 | 1,907 |
| 100 | 57,0 | 31,0 | 0,031 | 10,000 | 2,039 |
| 110 | 54,0 | 34,0 | 0,034 | 10,488 | 2,236 |
| 120 | 52,0 | 36,0 | 0,036 | 10,954 | 2,368 |
| 130 | 49,0 | 39,0 | 0,039 | 11,402 | 2,565 |
| 140 | 47,0 | 41,0 | 0,041 | 11,832 | 2,696 |
| 150 | 45,0 | 43,0 | 0,043 | 12,247 | 2,828 |
| 160 | 42,0 | 46,0 | 0,046 | 12,649 | 3,025 |
| 170 | 40,0 | 48,0 | 0,048 | 13,038 | 3,157 |
| 180 | 38,0 | 50,0 | 0,050 | 13,416 | 3,288 |
| 190 | 37,0 | 51,0 | 0,051 | 13,784 | 3,354 |
| 200 | 35,0 | 53,0 | 0,053 | 14,142 | 3,486 |
| 210 | 33,0 | 55,0 | 0,055 | 14,491 | 3,617 |
| 220 | 30,0 | 58,0 | 0,058 | 14,832 | 3,814 |
| 230 | 28,0 | 60,0 | 0,060 | 15,166 | 3,946 |
| 240 | 26,0 | 62,0 | 0,062 | 15,492 | 4,078 |
| 250 | 24,0 | 64,0 | 0,064 | 15,811 | 4,209 |
| 260 | 22,0 | 66,0 | 0,066 | 16,125 | 4,341 |
| 270 | 20,0 | 68,0 | 0,068 | 16,432 | 4,472 |
| 280 | 18,0 | 70,0 | 0,070 | 16,733 | 4,604 |
| 290 | 16,0 | 72,0 | 0,072 | 17,029 | 4,735 |
| 300 | 14,0 | 74,0 | 0,074 | 17,321 | 4,867 |
| 310 | 12,0 | 76,0 | 0,076 | 17,607 | 4,998 |
| 320 | 10,0 | 78,0 | 0,078 | 17,889 | 5,130 |
| 330 | 8,0 | 80,0 | 0,080 | 18,166 | 5,261 |
| 340 | 6,0 | 82,0 | 0,082 | 18,439 | 5,393 |

| Čas [s] | Odčitki [ml] | Infiltr. [ml] | Infiltr. [l=dm ³] | Sqrt (t) | Infiltr. [cm] |
|---------|--------------|---------------|-------------------------------|----------|---------------|
| 360 | 2,0 | 86,0 | 0,086 | 18,974 | 5,656 |
| 370 | 0,0 | 88,0 | 0,088 | 19,235 | 5,787 |

| | |
|------------------|-----------|
| C ₁ = | 0,009 |
| C ₂ = | 0,101 |
| A = | 0,6 |
| k [cm/s] = | 1,500E-02 |



B9 Merilno mesto 9

Datum opravljenih meritev: 3. 9. 2009
 Merilno mesto: 9
 Ura: 18:30
 Vrsta zemljine: Ilovnat pesek (loamy sand)
 Vlažna zemljina

| | | |
|-----|----------------------------|---------|
| r = | 2,2 cm = | 0,22 dm |
| S = | 0,15205308 dm ² | |

| Čas [s] | Odčitki [ml] | Infiltr. [ml] | Infiltr. [l=dm ³] | Sqrt (t) | Infiltr. [cm] |
|---------|--------------|---------------|-------------------------------|----------|---------------|
| 0 | 89,0 | 0,0 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 10 | 80,0 | 9,0 | 0,009 | 3,162 | 0,592 |
| 20 | 73,0 | 16,0 | 0,016 | 4,472 | 1,052 |
| 30 | 67,0 | 22,0 | 0,022 | 5,477 | 1,447 |
| 40 | 63,0 | 26,0 | 0,026 | 6,325 | 1,710 |
| 50 | 58,0 | 31,0 | 0,031 | 7,071 | 2,039 |
| 60 | 53,0 | 36,0 | 0,036 | 7,746 | 2,368 |
| 70 | 49,0 | 40,0 | 0,040 | 8,367 | 2,631 |
| 80 | 44,0 | 45,0 | 0,045 | 8,944 | 2,959 |
| 90 | 41,0 | 48,0 | 0,048 | 9,487 | 3,157 |
| 100 | 36,0 | 53,0 | 0,053 | 10,000 | 3,486 |
| 110 | 32,0 | 57,0 | 0,057 | 10,488 | 3,749 |
| 120 | 28,0 | 61,0 | 0,061 | 10,954 | 4,012 |
| 130 | 24,0 | 65,0 | 0,065 | 11,402 | 4,275 |
| 140 | 21,0 | 68,0 | 0,068 | 11,832 | 4,472 |
| 150 | 17,0 | 72,0 | 0,072 | 12,247 | 4,735 |
| 160 | 13,0 | 76,0 | 0,076 | 12,649 | 4,998 |
| 170 | 9,0 | 80,0 | 0,080 | 13,038 | 5,261 |
| 180 | 6,0 | 83,0 | 0,083 | 13,416 | 5,459 |
| 190 | 2,0 | 87,0 | 0,087 | 13,784 | 5,722 |

| | |
|-------------------|------------------|
| C ₁ = | 0,018 |
| C ₂ = | 0,156 |
| A = | 1,5 |
| k [cm/s] = | 1,200E-02 |

