



MATEVŽ JENKO

**MERITVE TRANSPORTA PLAVIN NA KAMNIŠKI
BISTRICI IN PŠATI**

DIPLOMSKA NALOGA

**UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE
STOPNJE VODARSTVO IN OKOLJSKO INŽENIRSTVO**

Ljubljana, 2022

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Kandidat/-ka:

MATEVŽ JENKO

**MERITVE TRANSPORTA PLAVIN NA
KAMNIŠKI BISTRICI IN PŠATI**

Diplomska naloga št.:

**MEASUREMENTS OF SUSPENDED SEDIMENTS IN
THE CATCHMENT AREA OF THE KAMNIŠKA
BISTRICA RIVER**

Graduation thesis No.:

Mentor/-ica:

doc. dr. Nejc Bezak

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Nataša Atanasova

Somentor/-ica:

doc. dr. Simon Rusjan

Član komisije:

Ljubljana, _____

POPRAVKI – ERRATA

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo
----------------	------------------	---------	--------

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**UDK:** 556.535(043.2)**Avtor:** Matevž Jenko**Mentor:** doc. dr. Nejc Bezak**Somentor:** doc. dr. Simon Rusjan**Naslov:** Meritve transporta plavin na Kamniški Bistrici in Pšati**Tip dokumenta:** Diplomaska naloga – univerzitetni študij**Obseg in oprema:** 65 str., 17 pregl., 61. sl.**Ključne besede:** Pšata, Kamniška Bistrica, suspendirane snovi, rinjene plavine, transport sedimentov, sejalna analiza, linijska analiza**Izvleček**

Erozija ter posledično transport rečnih sedimentov, je pomemben in stalno prisoten proces v vseh vodotokih. S transportom materiala je povezano nenehno spreminjanje in preoblikovanje same rečne struge ter njene okolice. Zaradi tega je spremljanje in poznavanje omenjenih procesov ključno za razumevanje in trajnostno upravljanje vodotokov.

V okviru diplomske naloge sem obravnaval rečni transport sedimentov, najbolj pa sem se posvetil rinjenim in lebdečim plavinam. Konkretno meritve in izračune sem izvajal na vodotokih Kamniška Bistrica in Pšata.

Glavni cilj diplomske naloge, v sklopu računskega dela, mi je predstavljala določitev vpliva padavin in pretokov na vsebnost suspendiranih snovi v rečnem toku. Posledično pa določiti enačbo, ki bo povezovala ti dve spremenljivki in omogočala izračun suspendiranih snovi na podlagi podatkov o pretokih. Tako bi v prihodnje le z uporabo izpeljanih enačb, vsak od obravnavanih vodotokov namreč potrebuje svojo, lahko izračunali suspendirane snovi za obravnavana vodotoka. Kot vhodni podatek bi potrebovali le vrednosti rečnih pretokov. Korelacijo sem na enak način izpeljal tudi med količino dnevnih padavin in suspendiranih snovi, vendar se je izkazala za manj primerno oz. je povezava manj izrazita.

Ocene transporta plavin na podlagi uporabe izpeljanih enačb predstavljajo grobe ocene dejanskega stanja, ki ga lahko ovrednotimo zgolj na podlagi meritev. Obravnaval sem tudi transport rinjenih plavin na izbranih prodiščih na Kamniški Bistrici.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 556.535(043.2)

Author: Matevž Jenko

Supervisor: Assist. Prof. Nejc Bezak, PhD.

Co-supervisor: Assist. Prof. Simon Rusjan, PhD.

Title: Measurements of suspended sediments in the catchment area of the Kamniška Bistrica river

Document type: Graduation Thesis – University studies

Notes: 65 p., 17 tab., 61. fig.

Keywords: Pšata, Kamniška Bistrica, suspended solids, bed load sediments, sediment transport, sieving analysis, line analysis

Abstract

Erosion and consequently the transport of river sediments is an important and constantly present process in all watercourses. The transport of material is associated with the constant change and transformation of the river bed itself and its surroundings. Therefore, monitoring and knowledge of these processes are crucial for understanding and sustainable management of watercourses.

As part of my thesis, I dealt with river transport of sediments, focusing mainly on bed load and suspended load. I have been performing measurements and calculations for these two types of sediments on the Kamniška Bistrica and Pšata watercourses.

The main goal of my thesis was, in the scope of the computational part, to determine the impact of precipitation and water flows on the content of suspended solids in the river flow. As a result, I wanted to derive the equation, to connect the river flows with the amounts of suspended solids. So in the future, only by using these two formulas, each of the considered watercourses needs its own, we could estimate the suspended solids for these considered watercourses. Only river flow values would be needed as input. I also correlated the amount of daily precipitation and suspended solids in the same way, but it turned out to be less appropriate.

Estimated suspended solid based on the derived equations should be regarded as rough approximation of the actual state in the rivers while continuous measurements are needed to enhance these estimates. Bed load transport at the selected locations in the Kamniška Bistrica river was also evaluated.

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem svojemu mentorju doc. dr. Nejcu Bezaku za nudenje strokovne pomoči in vodenje pri izdelavi diplomske naloge. Zahvala gre tudi mojemu somentorju doc. dr. Simonu Rusjanu.

Posebna zahvala gre tudi moji družini za podporo tekom študija ter prijatelju Leonu za pomoč pri opravljanju terenskih meritev.

KAZALO VSEBINE

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	II
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	III
ZAHVALA	IV
KAZALO SLIK	VII
KAZALO PREGLEDNIC	IX
1 UVOD	1
1.1 Hipoteze	1
2 METODE IN PODATKI	3
2.1 Teoretično ozadje	3
2.1.1 Suspendirane snovi	3
2.1.1.1 Merjenje suspendiranih snovi	4
2.1.2 Raztopljene snovi	5
2.1.3 Rinjene plavine	6
2.1.4 Plavje	7
2.2 Pšata	7
2.2.1 Vzorčenje	8
2.2.2 Izvajanje meritev	9
2.3 Kamniška Bistrica	11
2.3.1 Vzorčenje	12
2.3.1.1 Suspendirane snovi	12
2.3.1.2 Opazovanje transporta rinjenih plavin	14
2.3.1.2.1 Prodišče št. 1	16
2.3.1.2.1.1 Lokacija A	18
2.3.1.2.1.2 Lokacija B	19
2.3.1.2.1.3 Lokacija C	20
2.3.1.2.1.4 Lokacija D	20
2.3.1.2.2 Homško prodišče	21
2.3.1.2.2.1 Lokacija E	23
2.3.1.2.2.2 Lokacija F	24
2.3.1.2.2.3 Lokacija G	24
2.3.1.3 Sejalna analiza	25
2.3.1.4 Linijska analiza	27
3 REZULTATI IN DISKUSIJA	28
3.1 Pšata	28
3.1.1 Suspendirane snovi	28

3.2	Kamniška Bistrica.....	35
3.2.1	Suspendirane snovi.....	35
3.2.2	Enodnevno vzorčenje suspendiranih snovi.....	42
3.2.3	Linijska analiza.....	43
3.2.4	Sejalna analiza.....	46
3.2.5	Analiza z označevanjem prodnikov	50
3.2.5.1	Prodišče št. 1	51
3.2.5.1.1	Lokacija A	53
3.2.5.1.2	Lokacija B	54
3.2.5.1.3	Lokacija C	55
3.2.5.1.4	Lokacija D	56
3.2.5.2	Homško prodišče	57
3.2.5.2.1	Lokacija E	58
3.2.5.2.2	Lokacija F	59
3.2.5.2.3	Lokacija G	60
4	ZAKLJUČEK	61
VIRI		63

KAZALO SLIK

Slika 1: Vzorčno mesto na reki Pšati tik ob hidrološki postaji Pšata-Topole.	8
Slika 2: Prikaz lokacije vzorčnega mesta na Pšati (prirejeno po Google Earth, 2020).	8
Slika 3: Priprava vzorca v mešalniku.	10
Slika 4: Levo steklenička z vzorcem, desno steklenička z vodovodno vodo.	10
Slika 5: Prikaz meritve vzorca z napravo DR 1900 Hach Portable spectrophotometer.	11
Slika 6: Prikaz vzorčnega mesta na Kamniški Bistrici v naselju Vir (Google Earth, 2020).	13
Slika 7: Kamniška Bistrica z vrisanimi mesti odvzema vzorcev (prirejeno po Google Earth 2020).	14
Slika 8: Na spodnjem in zgornjem grafu sta označena nizki vodostaj in majhen pretok Kamniške Bistrice v času postavljanja pobarvanih prodnikov (prirejeno po ARSO, 2022c).	15
Slika 9: Prikaz lokacije prodišča št. 1, ortofoto posnetek (Google Earth, 2020).	16
Slika 10: Levo prikaz južne strani prodišča št. 1; desno pa prikaz še severne strani istega prodišča.	16
Slika 11: Prodišče št. 1 z označenimi lokacijami obarvanih prodnikov (od zgoraj: lokacija A, lokacija B, lokacija C in lokacija D), (prirejeno po Google Earth, 2020).	17
Slika 12: Prikaz barvanja prodnikov.	18
Slika 13: Levo tlorsni prikaz razporeda črno pobarvanih prodnikov; desno zopet štirje črni prodniki umeščeni sredi prodišča.	19
Slika 14: Levo tlorsni prikaz razporeda rumeno pobarvanih prodnikov; desno štirje rumeni prodniki ob robu prodišča.	19
Slika 15: Levo tlorsni prikaz razporeda rdeče pobarvanih prodnikov; desno štirje rdeči prodniki na nižjem osrednjem delu prodišča.	20
Slika 16: Levo tlorsni prikaz razporeda modro pobarvanih prodnikov; desno štirje modri prodniki ob robu prodišča.	21
Slika 17: Prikaz lokacije homškega prodišča, ortofoto posnetek (Google Earth, 2020).	21
Slika 18: Levo prikaz južne strani homškega prodišča; desno pa prikaz severne.	22
Slika 19: Homško prodišče z označenimi lokacijami obarvanih prodnikov (od zgoraj: lokacija E, lokacija F, lokacija G), (prirejeno po Google Earth, 2020).	23
Slika 20: Levo tlorsni prikaz razporeda rumeno pobarvanih prodnikov; desno štirje rumeni prodniki sredi prodišča.	23
Slika 21: Levo tlorsni prikaz razporeda modro pobarvanih prodnikov; desno štirje modri prodniki ob robu stranskega toka.	24
Slika 22: Levo tlorsni prikaz razporeda rdeče pobarvanih prodnikov; desno štirje rdeči prodniki na sotočju stranskega in glavnega toka.	25
Slika 23: 1 m ² veliko območje pripravljeno za odvzem vzorca.	25
Slika 24: Levo potek odvzemanja vzorca prodnikov; desno konec odvzema vzorcev.	26
Slika 25: Levo prikaz območja primerne za odvzem reprezentativnega vzorca; desno odčitavanje dimenzij prodnikov.	27
Slika 26: Grafikon odvisnosti med pretokom in suspendiranimi snovmi na Pšati, z območja merilne postaje Topole.	29
Slika 27: Grafikon odvisnosti med pretokom in suspendiranimi snovmi, z območja merilne postaje Topole s trendno črto.	30
Slika 28: Grafikon odvisnosti med pretokom in suspendiranimi snovmi, z območja merilne postaje Topole, z logaritemsko trendno črto.	30
Slika 29: Grafikon odvisnosti med dnevnimi padavinami (z merilne postaje Krvavec) in suspendiranimi snovmi, z območja merilne postaje Topole.	31
Slika 30: Grafikon odvisnosti med dnevnimi padavinami (z merilne postaje Krvavec) in suspendiranimi snovmi, z območja merilne postaje Topole, s trendno črto.	31

Slika 31: Grafikon primerjave izmerjenih in izračunanih vrednosti suspendiranih snovi, za območje merilne postaje Topole.	34
Slika 32: Grafikon odvisnosti med pretokom in suspendiranimi snovmi na Kamniški Bistrici, na območju merilne postaje Vir.	36
Slika 33: Grafikon odvisnosti med pretokom in suspendiranimi snovmi s trendno črto, na območju merilne postaje Vir.	36
Slika 34: Grafikon odvisnosti med pretokom in suspendiranimi snovmi z eksponentno trendno črto, na območju merilne postaje Vir.	37
Slika 35: Grafikon odvisnosti med dnevnimi padavinami (z merilne postaje Kamniška Bistrica) in suspendiranimi snovmi na Kamniški Bistrici, na območju merilne postaje Vir.	37
Slika 36: Grafikon odvisnosti med dnevnimi padavinami (z merilne postaje Kamniška Bistrica) in suspendiranimi snovmi, na območju merilne postaje Vir, s trendno črto.	38
Slika 37: Grafikon primerjave izmerjenih in izračunanih vrednosti suspendiranih snovi.	40
Slika 38: Grafikon primerjave letnega transporta suspendiranih snovi med Pšato in Kamniško Bistrico v [t/leto].	41
Slika 39: Grafikon vrednosti dolžin zrn izmerjene z linijsko analizo.	45
Slika 40: Grafikon Fullerjeve zrnastostne krivulje.	46
Slika 41: Grafikon krivulje zrnastosti vzorca s prodišča št. 1.	47
Slika 42: Grafikon logaritmčne krivulje zrnastosti vzorca s prodišča št. 1.	47
Slika 43: Na spodnjem in zgornjem grafu sta označena vodostaj in pretok Kamniške Bistrice v času pregleda pobarvanih prodnikov (prirejeno po ARSO, 2022c).	51
Slika 44: Levo slika severnega dela prodišča št. 1 posneta 4.3.2022, desno slika severnega dela prodišča št. 1 posneta 5.4.2022.	51
Slika 45: Levo slika južnega dela prodišča št. 1 posneta 4.3.2022, desno slika južnega dela prodišča št. 1 posneta 5.4.2022.	52
Slika 46: Prodišče št. 1 s prikazanimi lokacijami prodnikov ter smerjo toka reke. Večje svetle pike prikazujejo začetne lokacije, manjše temnejše pa nove. Pri lokacijah, kjer vseh prodnikov po premiku nisem našel, je napisan vprašaj (prirejeno po Google Earth, 2020).	52
Slika 47: Tlorisni prikaz prodnikov na lokaciji A, levo pred in desno po dogodku.	53
Slika 48: Prikaz prodnikov na lokaciji A, levo pred in desno po dogodku.	53
Slika 49: Prikaz možnega poteka močnejšega stranskega toka ob času večjih pretokov (prirejeno po Google Earth, 2020).	54
Slika 50: Tlorisni prikaz prodnikov na lokaciji B, levo pred in desno po dogodku.	54
Slika 51: Prikaz prodnikov na lokaciji B, levo pred in desno po dogodku.	55
Slika 52: Tlorisni prikaz prodnikov na lokaciji C, levo pred in desno po dogodku.	55
Slika 53: Prikaz prodnikov na lokaciji C, levo pred in desno po dogodku.	56
Slika 54: Tlorisni prikaz prodnikov na lokaciji D, levo pred in desno po dogodku.	56
Slika 55: Prikaz prodnikov na lokaciji D, levo pred in desno po dogodku.	57
Slika 56: Homško prodišče s prikazanimi lokacijami prodnikov ter smerjo toka reke. Večje svetle pike prikazujejo začetne lokacije, manjše temnejše pa nove. Pri lokacijah, kjer vseh prodnikov po premiku nisem našel, je napisan vprašaj (prirejeno po Google Earth, 2020).	57
Slika 57: Prikaz poteka toka ob času večjih pretokov (prirejeno po Google Earth, 2020).	58
Slika 58: Tlorisni prikaz prodnikov na lokaciji E, levo pred in desno po dogodku.	59
Slika 59: Prikaz prodnikov na lokaciji F, levo pred ter na sredini in desno po dogodku.	59
Slika 60: Tlorisni prikaz prodnikov na lokaciji G, levo pred ter na sredini in desno po dogodku.	60
Slika 61: Nova lokacija največjega izmed prodnikov na lokaciji G.	60

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Preglednica podatkov vrednosti Kamniške Bistrice nam prikazuje informacije; od leve: datum, višina gladine vode [cm] in pretok [m^3/s] (prirejeno po ARSO, 2022c).....	15
Preglednica 2: Prikaz rečnega vodostaja, pretoka, količine suspendiranih snovi, z območja merilne postaje Topole (ARSO, 2022c) in dnevne količine padavin (Meteo, 2022), z merilne postaje Krvavec, ob določenem datumu in času.....	28
Preglednica 3: Vrednosti suspendiranih snovi v mg/l in v kg/s za območje merilne postaje Topole.....	32
Preglednica 4: Primerjava izmerjenih in izračunanih vrednosti suspendiranih snovi za območje merilne postaje Topole.....	33
Preglednica 5: Letne količine transportiranih suspendiranih snovi, z območja merilne postaje Topole.....	34
Preglednica 6: Prikaz rečnega vodostaja, pretoka, količine suspendiranih snovi, z območja merilne postaje Vir (ARSO, 2022c) in dnevne količine padavin, z območja merilne postaje Kamniška Bistrica (Meteo, 2022) ob določenem datumu in času.....	35
Preglednica 7: Vrednosti izmerjenih suspendiranih snovi v $[\text{mg/l}]$ in v preračunanih v $[\text{kg/s}]$ z območja merilne postaje Vir.....	38
Preglednica 8: Primerjava izmerjenih in izračunanih vrednosti suspendiranih snovi.....	39
Preglednica 9: Letne količine transportiranih suspendiranih snovi, z območja merilne postaje Vir na Kamniški Bistrici.....	41
Preglednica 10: Prikaz vrednosti suspendiranih snovi na različnih vzorčnih mestih (2.5.2021).	42
Preglednica 11: Suspendirane snovi in pretoki (2. 5. 2021).	43
Preglednica 12: Suspendirane snovi in pretoki z dodanimi manjkajočimi vrednostmi v sivih poljih (2. 5. 2021).....	43
Preglednica 13: Predstavljene vrednosti dolžin prodnikov izmerjene z linijsko analizo.....	44
Preglednica 14: Po velikosti urejene vrednosti dolžin zrn izmerjene z linijsko analizo.....	45
Preglednica 15: Rezultati sejalne analize vzorca s prodišča št. 1.	46
Preglednica 16: Prikaz sestave vzorca.....	48
Preglednica 17: Rezultati izračunov transporta sedimentov pri različnih pretokih za izbran odsek vodotoka, po metodah Mayer-Peter Mueller, Wu et al in Yang.....	49

»Ta stran je namenoma prazna.«

1 UVOD

V okviru diplomske naloge sem se ukvarjal z vzorčenjem in meritvami količin suspendiranih snovi v rekah. To predstavlja osrednji del naloge, nekaj pozornosti v obliki meritev ter izračunov pa sem posvetil tudi rinjenim plavinam. Vzorčenja sem opravljal na vodotokih Pšata in Kamniška Bistrica.

Suspendirane snovi (SS) predstavljajo količino majhnih delcev, ki v vodi ostanejo neraztopljeni, ter v njej lebdijo in se gibljejo praktično z enako hitrostjo kot vodni tok. Suspendirane snovi predstavljajo ovire svetlobi, zaradi katerih žarki ne morejo potovati v ravni črti, ampak se sipajo in pojemljajo. To zaznamo kot motnost. Motnost vode je ob normalnih razmerah na slovenskih vodotokih načeloma nizka (naravna kalnost), a se spreminja glede na več dejavnikov. Najizrazitejša je v času poplav (Mikoš, 2012b). Dejavniki, kateri najbolj vplivajo na kalnost so padavinski dogodki, ki povzročajo odtoke voda, ki s seboj na poti do reke odnašajo določeno velike količine erodiranih zemljin iz povirnih delov. Poleg tega se v takem obdobju prav tako poveča rečni pretok in posledično agresivnejše erozijsko delovanje reke same. Rečna struga je takrat podvržena večji globinski in bočni eroziji, kar povzroča spodjedanje bregov in poglobljanje dna. Tako se pojavijo tudi rinjene plavine. Za procese erozijsko-sedimentacijskega kroga je značilna velika časovna in tudi prostorska spremenljivost (Bezák in sod., 2013).

Rinjene plavine predstavljajo, v primerjavi s suspendiranimi snovmi, mineralna zrna bistveno večjih premerov. Njihov transport poteka v smeri padca po dnu rek (ali morji) (Zakon o vodah, 2002). Na količino premeščenih rinjenih plavin najbolj vpliva moč rečnega toka, najpogosteje izražena kot strižna napetost, ki se poveča v času večjih pretokov (večjih padavinskih dogodkov). Ko se rečni tok umiri, se mu prodonosnost zmanjša in reka začne plavine odlagati na vodna ali priobalna zemljišča v obliki naplavin (Zakon o vodah, 2002). Torej so naplavine, med katere spadajo tudi prodišča, dober pokazatelj zrnastostne sestave rinjenih plavin.

1.1 Hipoteze

Kot je bilo v strokovni literaturi že večkrat omenjeno, ter je seveda tudi povsem logično dejstvo, je to, da se transport plavin (suspendiranih snovi in rinjenih plavin) ob večjih rečnih pretokih poveča. V skladu z že znanimi podatki, sem postavil tudi svoje hipoteze. Torej glede na to, da je naravna kalnost ob nizkih vodostajih v slovenskih rekah nizka (Mikoš, 2012b), predvidevam da bo količina suspendiranih snovi v teh obdobjih med 0-5 mg/l. Do podobne predpostavke

lahko pridemo tudi že z opazovanjem obravnavanih vodotokov, saj je voda ob nizkih vodostajih zelo čista (ni motna). Ob povišanju vodostaja, naraste tudi pretok, pa predvidevam, da se količina lebdečih delcev (suspendiranih snovi) sorazmerno poveča. Glede na to, da je Pšata hudournik so dvigi gladin zelo hitri in izraziti, torej predvidevam, da bodo močno povečane tudi količine suspendiranih snovi. Predvidevam, da se bodo večje vrednosti gibale med 70-100 mg/l. Medtem ko ob ekstremnih dogodkih, napovedujem dvig vrednosti tudi močno čez 100 mg/l. V okviru meritev suspendiranih snovi, sem na vodotoku Kamniška Bistrica, v času večjega dogodka odvzel več vzorcev vzdolž toka. Tukaj pričakujem, da bodo vrednosti koncentracij suspendiranih snovi dolvodno naraščale.

Moja naslednja hipoteza, ki se nanaša na obravnavo rinjenih plavin na Kamniški Bistrici je ta, da se bodo označeni prodniki locirani tik ob rečnem toku premaknili (poglavje Metode in podatki). Razdalja premika in dimenzije premaknjenih prodnikov je težje napovedati, saj je to zelo odvisno od padavin in spremenljivosti lokalnih hidravličnih razmer v strugi vodotoka ob različnih pretokih, vendar mislim, da bo premik opazen vsaj pri dveh manjših dimenzijah prodnikov. To predvidevam, da bo držalo za večino lokacij tik ob vodnemu toku, ne pa za tisti, ki sta locirani v sredini telesa prodišča. Pri omenjenih dveh mislim, da do premikov, ne bo prišlo.

2 METODE IN PODATKI

Meritve oziroma vzorčenja sem na Pšati opravljal v časovnem obdobju približno meseca in pol v letu 2021, ter v obdobju štirih mesecev v letu 2022. Oba obdobja meritev sta potekala v začetnem delu leta.

Enolitrske vzorce vode sem jemal med padavinskimi dogodki ali po njih. Vse vzorce sem vzel na isti točki in sicer tik ob vodomerni postaji Pšata-Topole, ki je del mreže merilnih postaj Arsa. Vzorce sem jemal neposredno s plastenko ob rečnih brežinah, ter na območju matice toka vode.

Drugi sklop meritev pa sem opravil na vodotoku Kamniška Bistrica. Tu sem jemal vzorce na dva različna načina. Pri prvemu načinu sem vzorčil le en dan in sicer v času obilnejših padavin in posledično povišanih pretokov. Vzorce sem vzel na osmih mestih enakomerno razporejenih od rečnega izvira v dolini Kamniška Bistrica ter vse do izliva v reko Savo. Tu sem, v kolikor so razmere na terenu dopuščale, na vzorčnih mestih vzel po tri vzorce. Enega na vsaki strani bregu in enega s sredine prečnega prereza struge. Drugi način vzorčenja pa je enak vzorčenju na Pšati, kjer sem vzorce ves čas zajemal na enem prečnem prerezu Kamniške Bistrice v Domžalah, v bližini vodomerne postaje Vir-Kamniška Bistrica.

2.1 Teoretično ozadje

2.1.1 Suspendirane snovi

Kalnost je zelo pomemben parameter vodnega toka. Ta močno vpliva na razvoj in normalno delovanje vodnih ekosistema ter je neposredno povezana z erozijskimi procesi, torej tudi s padavinskimi vzorci, še posebej z ekstremnimi padavinami. Padavine namreč predstavljajo enega glavnih vplivov na količino vode v prispevnem območju in posledično tudi na količino odtoka v reke (Bezák in sod., 2013). Kalnost in posledično motnost povzročajo majhni kalni delci v velikosti zrn glin in meljev (zrna glin so velikosti do 0,002 mm, zrna meljev pa med 0,002 in 0,06 mm (Mikoš, 2007)). Ti so v vodnem toku prisotni konstantno in se načeloma niti ob manjših pretokih ne odlagajo (to imenujemo naravna kalnost) in ne mešajo s sedimenti na rečnem dnu (Mikoš, 2005, cit. po Mikoš, 2012a). V času večjih pretokov pa k povišanju kalnosti prispevajo tudi večji sedimenti, dimenzij med 0,06 in 2 mm. Te se ob umiritvi toka lahko tudi posedajo na dno (ASCE, 2008, cit. po Mikoš 2012a).

Ker so suspendirane snovi zelo pomemben način transporta materiala so meritve in spremljanje le-teh ključne pri razumevanju zakonitosti premeščanja lebdečih rečnih sedimentov. Zaradi zavedanja pomembnosti so začeli z izvajanjem sistematičnih meritev (v okviru državnega hidrološkega monitoringa) v Sloveniji že leta 1955 in sicer na reki Savinji (Bezák in sod., 2013). Torej imamo pri nas, vsaj na določenih rekah, pridobljene podatke tudi iz preteklih obdobji. Vendar se danes nanje težko zanašamo oziroma se moramo ob njihovi uporabi zavedati, da je tekom časa prišlo do večjih sprememb virov, ki močno vplivajo na količine suspendiranih snovi v vodotokih. Razlog za to je spremenjena raba tal ter predvsem močno zmanjšan antropogeni vnos suspendiranih snovi. Ta je v preteklosti prihajal v vodotoke preko izpiranja iz odlagališč, industrijskih odpadkov, s separacijo premoga in preko izpustov komunalnih voda. Danes je zaradi višjih okoljskih standardov in novih direktiv, vnos suspendiranih snovi na te načine bistveno zmanjšan (Mikoš, 2012a).

2.1.1.1 Merjenje suspendiranih snovi

Danes za merjenje suspendiranih snovi obstaja veliko različnih metod, ki jih delimo v dve skupini. V prvi skupini imamo posredne ali nadomestne metode, kjer zajemamo meritve, ki ne zahtevajo jemanja vzorcev. Te namreč delujejo s pomočjo merilnikov, na podlagi zaznavanja odbojev in sicer zvočnih, ultrazvočnih ali elektromagnetnih valov. V drugi skupini pa imamo neposredne metode, kjer je jemanje vzorcev potrebno. Vzorce nato nesemo v laboratorij, kjer jih obdelamo in pridobimo rezultate. Ta način nam vzame sicer več časa, vendar so zaradi kontroliranih razmer v laboratoriju rezultati zanesljivejši (Mikoš, 2012b). Pred meritvami se, da dobimo kvalitetnejše rezultate, iz vzorca običajno odstranijo najbolj grobi delci.

- **Merjenje/vzorčenje z neposrednimi metodami** (Wren in sod., 2000; Mikoš, 2012b):
 - **Stekleničenje**; s posodo, iz vodnega telesa, ročno zajamemo vzorec. Vzorec se sicer lahko odvzame tudi avtomatsko, namesto steklene posode pa se prav tako lahko uporabi plastična oziroma teflonska vreča, ki je zaradi svoje hidrodinamične oblike še bolj primerna. Stekleničenje je učinkovita, preverjena metoda za določanje zrnivosti in koncentracij suspendiranih snovi, vendar odvzemanje vzorcev posega v tok reke. Opravljanje meritev sledi v laboratoriju.
 - **Črpalno vzorčenje**; kot nam pove že samo ime, vzorce vode pridobimo s črpanjem iz toka vodnega telesa. Tako kot stekleničenje je tudi črpalno vzorčenje učinkovita, preverjena metoda za določanje zrnivosti in koncentracij suspendiranih snovi, vendar odvzemanje vzorcev posega v tok reke. Opravljanje meritev sledi v laboratoriju.

Težavo pri vzorčenjih načeloma predstavlja odvzem reprezentativnega vzorca, katerega odvzem je, še posebej težaven ob večjih hitrostih vodnega toka.

Merjenje s posrednimi metodami (Wren in sod., 2000; Mikoš, 2012b):

- **Akustična metoda;** meri zvočni odboj od sedimentov, posledično lahko določimo zrnavost in koncentracijo suspendiranih snovi. Je neinvazivna metoda primerna tudi za uporabo pri večjih globinah, vendar ob visokih koncentracijah delcev ne deluje optimalno. Prav tako jo je potrebno umeriti, kar pomeni, da je potrebno določiti povezavo med akustičnimi meritvami in dejanskimi koncentracijami lebdečih plavin. Poleg tega so akustične meritve načeloma bolj primerne za rinjene plavine.
- **Optična metoda;** deluje na principu odbojnega sipanja pod različnimi koti ali prevajanja svetlobe skozi vzorec. Omogoča dobro časovno ločljivost, vendar je primerna le za točkovne meritve. Težave nastajajo tudi zaradi pogostega onesnaženja senzorja, kar rešujemo z uporabo manjših brisalcev, ki so nameščeni na instrumentu.
- **Laserska difrakcija;** pri tem načinu se meri odbojni kot žarka od suspendiranih delcev. Metoda se v nekaterih primerih ne izkaže za zanesljivo ter nudi le točkovne meritve.

Težavo pa pri merilnih napravah posrednih meritev predstavljajo kalibracije. Naprave je namreč potrebno večkrat kalibrirati z uporabo kalibracijskih raztopin, ki pokrivajo pričakovan razpon motnosti (Mikoš, 2012b).

2.1.2 Raztopljene snovi

Del erozijsko-sedimentacijske kroga predstavljajo tudi raztopljene snovi (DS) (Mikoš, 2012a). Na koncentracijo raztopljenih trdnih snovi v naravnih vodnih sistemih, vpliva veliko dejavnikov. Ti so lahko naravnega izvora ali posledica človekove dejavnosti. Vnos raztopljenih snovi lahko v vodotok vstopa kot porazdeljeni ali točkovni vir (to velja tudi za vnos suspendiranih snovi). Prav tako tudi tukaj velja, da je koncentracija raztopljenih trdnih snovi zelo prostorsko in časovno spremenljiva. Dokazana pa je tudi že korelacija med pretokom in koncentracijo raztopljenih snovi (O'Connor, 1976).

2.1.3 Rinjene plavine

Rinjene plavine so mineralne snovi v trdni obliki, katere tekoče vode (ali morje) transportirajo iz mest njihovih izvorov vzdolž struge vodotokov (Zakon o vodah, 2002). Rinjene plavine so rečni sedimenti, za katere so značilna zrna večjih premerov. Vendar te zaradi lažjega razlikovanja od že odloženih sedimentov, največkrat imenujemo plavine (Rusjan in sod., 2015).

Enako kot pri premeščanju suspendiranih snovi so tudi tu glavni dejavniki ekstremne padavine, ki povzročajo pritokom in samim rekam večje premostitvene zmogljivosti. Podobne vplive na transport rinjenih plavin ima tudi nagib dna struge. Premeščanje manjših delcev po dnu vodotoka, v obliki drsenja in kotaljenja, lahko zaznamo že pri relativno majhnih naklonih strug, seveda pa dejanski naklon niha glede na velikost strižne sile vodnega toka, ki je odvisen od pretočnih hitrosti (vir: poskus iz predmeta Vodne Gradnje, 2021).

Ko rečni tok trajno ali le začasno odloži rinjene plavine, načeloma na vodnih in priobalnih zemljiščih, te postanejo naplavine (Zakon o vodah, 2002). V sklop nastanka naplavin lahko vključimo tudi lastnost imenovano dolvodna drobitev. Kot nam pove že ime je to pojav zmanjševanja povprečne velikosti lebdečih delcev vzdolž toka. Nanjo vplivata dva dejavnika in sicer rečni obrus (drobljenje, krušenje, brušenje delcev) (Mikoš, 1994) in rečno sortiranje, katerega poznamo več vrst. Te vrste so tri: vzdolžno, kar pomeni zastajanje in odlaganje delcev zaradi zmanjšane moči toka, naslednje je prečno, to se kaže pri oblikovanju prodišč načeloma na notranjih straneh rečnih zavojev ter navpično sortiranje kamor sodi posedanje delcev (Mikoš, 2012a).

Opazovanje in merjenje rinjenih plavin je precej težavno a vseeno imamo v ta namen razvitih več tehnik. Izbrane prodnike lahko opremimo z magneti ali jih dobro vidno označimo z barvanjem. Težavo pa po visokih vodah predstavlja iskanje prej označenih prodnikov. Prav tako način z uporabo hidrofonov in merilnih košar ne dosega najboljših rezultatov. Učinkovitejša metoda je uporaba merilnih postaj, kjer po visokih vodah vzamemo vzorce, s pomočjo katerih lahko določimo masno bilanco transportiranega materiala (Bezjak in sod., 2013).

2.1.4 Plavje

Plavje predstavljajo organske ter druge plavajoče predmete. Organski del plavja zajema predmete naravnega izvora, torej predvsem veje in listje. Neorganski del pa predmete antropogenega izvora, te načeloma zajemajo le smeti (Mikoš, 2012a; Zakon o vodah, 2002).

2.2 Pšata

Pšata je dobrih 28 km dolga reka z 139 km² velikim porečjem, ki se nahaja znotraj porečja Save (tudi znotraj porečja Kamniške Bistrice) (SURs, 2002). Kot kraški izvir priteka na površje pod Krvavcem, na južnem robu Kamniško-Savinjskih Alp in sicer v istoimenskem naselju Pšata. Reka nato teče skozi več vasi in krajev, dokler se kot desni pritok ne izlije v Kamniško Bistrico. Prav tako kot njen začetek, se tudi konec nahaja tik ob naselju, prav tako imenovanem Pšata (Wikipedija, 2019).

Pšata je manjša hudourniška reka. Zaradi te njene značilnosti je v preteklosti pogosto poplavljala. Da bi problem s poplavlami rešili, so v preteklem stoletju izkopali razbremenilni jarek, ki se imenuje Kanal Pšata. Začne se z zapornico, na mestu kjer Pšata vstopa v Mengeš, konča pa na izlivu, ki je prav tako speljan v Kamniško Bistrico, vendar na območju naselja Preserje pri Radomljah. Prav tako so v sklopu protipoplavnih ureditev del Pšate preuredili z manjšimi nasipi ter predvsem vkopi in ureditvami struge. Vzorčenje sem izvajal na tako preurejenemu odseku reke, nekaj 100 m pred prej omenjeno zapornico.

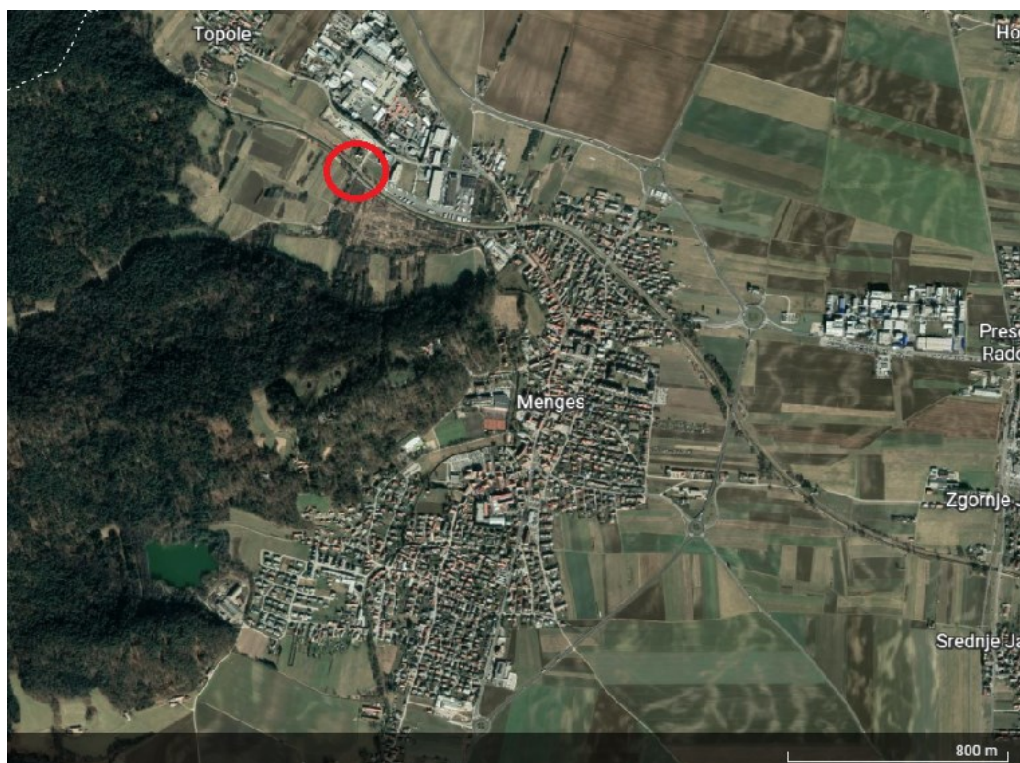
Razdelitev pritokov Pšate (Wikipedija, 2019):

- **Levi pritoki:** Šmidol, Kamnek, Dobrivšek, Doblič, Vrtaški potok, Govinek, Knežji potok, Tunjščica s pritokom Praporščica, Depalščica, Srednjak in Gobovšek.
- **Desni pritoki:** Voje, Reka, Šumberk, Dobravščica s pritokom Motnica in Studenčica.

2.2.1 Vzorčenje



Slika 1: Vzorčno mesto na reki Pšati tik ob hidrološki postaji Pšata-Topole.



Slika 2: Prikaz lokacije vzorčnega mesta na Pšati (prirejeno po Google Earth, 2020).

S prvim sklopom vzorčenja na Pšati sem začel v sredini marca v letu 2021, zaključil pa na začetku maja istega leta. V tem času sem zbral 15 vzorcev vode. Čez slabo leto sem se vzorčenja v januarju 2022 lotil ponovno, tokrat v širšem časovnem okvirju, vzorčeval sem namreč do konca meseca aprila. Dobil sem 29 vzorcev. Vzorce sem odvezemal ob različnih padavinskih dogodkih, zato se tudi vrednosti izmerjenih suspendiranih snovi med seboj zelo razlikujejo. Vzorčno mesto na reki Pšati je prikazano na zgornjih slikah (Slika 1 in Slika 2), vzorčno mesto na Kamniški Bistrici pa bo predstavljeno v nadaljevanju (poglavje 2.3.1.1 Suspendirane snovi; Slika 6).

2.2.2 Izvajanje meritev

Po odvzemu zadostnega števila vzorcev sem te nesel na fakulteto, kjer imamo vso potrebno opremo za izmero količine suspendiranih snovi v vodi.

Motnost sem izmeril s pomočjo naprave DR 1900 Hach Portable spectrophotometer, ki deluje na principu fotometrične metode. Ta s pomočjo optične metode določi vsebnost suspendiranih delcev, kot so glina, mulj in tudi organski material.

Navodila priložena merilniku vsebujejo tudi priporočila za odvzem, pripravo in hranjenje vzorcev. Te je potrebno zbirati v plastenkah ali steklenicah (jaz sem se posluževal plastenk). Vzorce pa naj bi se hranilo pri temperaturi do 6 °C in sicer največ 7 dni. Zadnjih dveh priporočil se nisem držal popolnoma, saj sem vzorce hranil v kleti, ki je sicer najhladnejši del hiše, vendar ima kljub temu precej višjo temperaturo od priporočene. Poleg tega, sem nekatere vzorce hranil tudi nekaj več kot 7 dni preden sem na njih opravil meritve. Navkljub tem pomanjkljivostim, se rezultati načeloma logično ujemajo s pretoki, tako da sklepam, da koncentracija suspendiranih snovi ni tako občutljiva na temperaturo in svetlobo (DR 1900 Hach Portable spectrophotometer, 2014).

Postopek za pripravo vzorcev in merilne naprave, ki je tudi shematično v 12 korakih prikazan v priloženih navodilih je sledeč. Napravo zaženemo ter izberemo program »630 Suspended Solids«. Naslednji koraki so namenjeni pripravi vzorca. Tega sem sam čim bolj pretresel, da so se sedimenti, ki so se usedli na dno plastenke dvignili in kar se da dobro premešali. Nato sem približno 500 ml tekočine izlil v mešalnik ter ga vključil za natanko 2 minuti (Slika 3). Po odmerjenem času 10 ml premešanega in homogeniziranega vzorca prelijemo v majhno stekleničko. Kot vmesni korak pri prelivanju lahko uporabimo tudi čašo, s katere je vsebino lažje preliti v stekleničko. V naslednjem koraku drugo malo stekleničko (ta mora biti v paru s prvo, označeni morata biti z enako številko), lahko prav tako ob pomoči čaše, napolnimo z

deionizirano vodo (jaz sem uporabil vodovodno vodo), ta nam bo služila za kalibracijo naprave po vsaki meritvi (Slika 4). Nato to stekleničko obrišemo, vstavimo v napravo (številčna oznaka na njej mora biti usmerjena v desno stran) in pritisnemo gumb »zero«. Po pisku naprave ter izpisu 0 mg/l na njenem ekranu, je ta umerjena in stekleničko lahko vzamemo iz nje. Nato pripravljen vzorec parkrat zavrtimo, da se iz njega izločijo morebitni mehurčki, ki bi lahko motili proces meritve. Stekleničko z vzorcem še obrišemo in vstavimo v napravo, na kateri pritisnemo gumb »read«. Po nekaj sekundah naprava s piskom zaključi meritev ter nam poda rezultat v enotah [mg/l] (Slika 5) (DR 1900 Hach Portable spectrophotometer, 2014).



Slika 3: Priprava vzorca v mešalniku.



Slika 4: Levo steklenička z vzorcem, desno steklenička z vodovodno vodo.



Slika 5: Prikaz meritve vzorca z napravo DR 1900 Hach Portable spectrophotometer.

2.3 Kamniška Bistrica

Kamniška Bistrica je reka v osrednji Sloveniji. Ima več izvirov, najbolj znan je njen glavni kraški izvir v obliki manjšega jezera v dolini, katera se tudi imenuje Kamniška Bistrica. Dolina se nahaja na vznožju Kamniško-Savinjskih Alp. V zgornjem toku je Kamniška Bistrica prava gorska reka, kjer s precejšnjim padcem teče po ozki, ledeniško preoblikovani gozdnati dolini. V tem predelu je reka ustvarila do 30 m globoka apnenčasta korita imenovana Mali in Veliki Predaselj. Pot si še nekaj časa utira po ozki dolini, dokler ne zapusti Kamniško-Savinjskih Alp in vstopi v Ljubljansko kotlino. Tu začne teči po nasutem vršaju, v katerega si je vrezala razmeroma plitvo strugo, preplitvo, da bi lahko zagotovila odtekanje velikih pretokov (Wikipedija, 2021).

Od Kamnika do Domžal Kamniška Bistrica teče skozi neprekinjen niz naselji, ki predstavlja eno večjih urbaniziranih območji v Sloveniji. Nato pot obdano s poplavnimi ravnici nadaljuje v rahlo vijugastem toku, vse do izliva v Savo (Wikipedija, 2021).

Velikost njenega porečja znaša 530 km² površja, dolžina same reke pa je 33 km (SURs, 2001). Njen pretok se, zato ker napaja veliko število mlinščic na tem območju, večkrat spreminja. V preteklosti je ob matičnem toku reke teklo 11 mlinščic, vse se skozi čas seveda niso ohranile, vendar še vedno predstavljajo najgostejšo mrežo mlinščic v Sloveniji (Mlinščice, 2017). Danes sta najbolj znani in najdaljši Radomeljska mlinščica na levem in Homška mlinščica na desnem bregu (Učna pot ob Homški mlinščici, 2017).

Kamniška Bistrica ima alpski snežno-dežni režim s prvim viškom v juniju ter maju ter drugim v oktobru in novembru. Prvi višek je posledica taljenja snega in padavin, medtem ko je drugi predvsem posledica obilnih padavin ter zaradi nižjih temperatur manjšemu izhlapevanju. Kot posledica padavin v obliki snega, ima Kamniška Bistrica nižek v januarju in februarju. Nižek nastopi tudi poleti, vendar je manj izrazit kot zimski. Zelo pomembna njena lastnost pa je ta, da je izrazito hudourniškega značaja. Razlika med najmanjšim in največjim pretokom je lahko tudi 300-kratna (Wikipedija, 2021). Kamniška Bistrica ima namreč v sušnih obdobjih pretok zelo majhen, kar lahko povzroča celo pogin rib, vendar pa bistvene težave povzroča takrat, ko je njen pretok velik. Povzročila je namreč že veliko število poplav, tudi v obdobjih po protipoplavnih ureditvah (Komac in sod, 2008). Kot res prava hudourniška reka je Bistrica prav tako znana po zelo hitrem naraščanju vodostajev. Razlog za to je strm relief njenega porečja od koder padavine odteka hitro, zato sta velika tudi specifični odtok, ki znaša $48,0 \text{ l/s/km}^2$ in odtočni količnik, ki je 81,2% (ARSO, 2008).

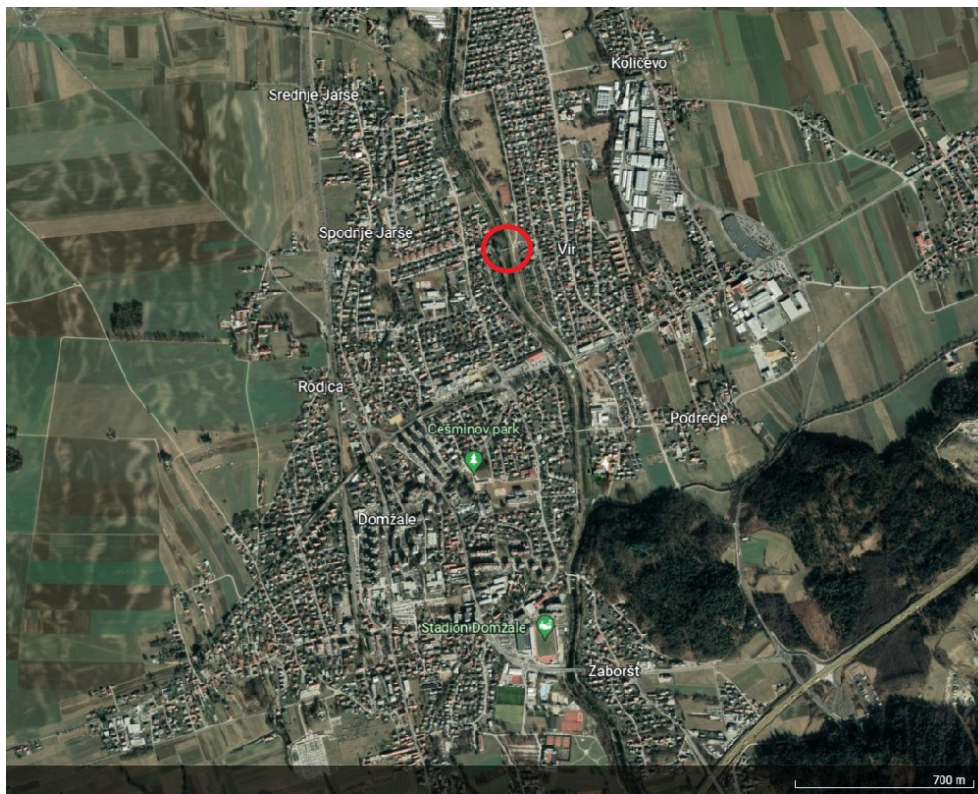
Razdelitev pritokov Kamniške Bistrice (Wikipedija, 2021):

- **Levi pritoki:** Kamniška Bela, Dolski graben, Konjski potok, Črna, Nevljica, Krajček, Stanjšek, Rača (z njo Radomlja, Rudniški potok, Rudniška Rača, Češnjska Rača), Žabnica.
- **Desni pritoki:** Sedelšček, Krvavec, Korošica, Grohat, Bistričica, Stranjski potok, Pšata, Mlinščica, Studenčica.

2.3.1 Vzorčenje

2.3.1.1 Suspendirane snovi

Vzorčenje Kamniške Bistrice je potekalo na dva načina. Prvi način je enak prej opisanemu (poglavje 2.1.1 Vzorčenje), ki sem se ga posluževal na reki Pšati, vzorčno mesto pa je prikazano spodaj (Slika 6).

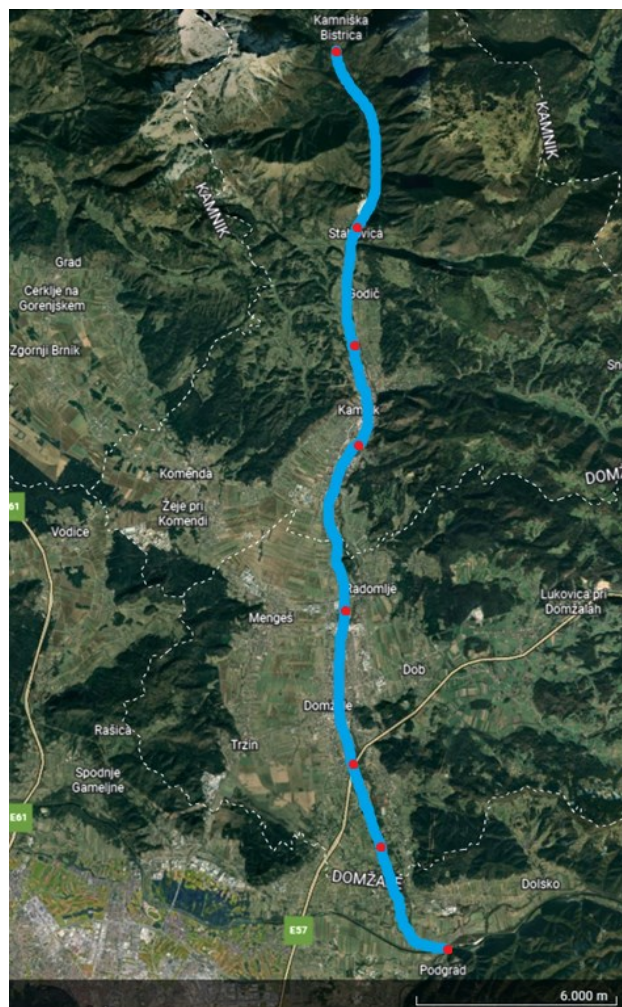


Slika 6: Prikaz vzorčnega mesta na Kamniški Bistrici v naselju Vir (Google Earth, 2020).

Skupaj z izmerjenimi podatki o količinah suspendiranih snovi iz odvzetih vzorcev in velikosti pretokov ob času vzorčenja (ARSO, 2022c), sem (poglavje 3.2.1 Suspendirane snovi) v programu Excel s pomočjo trendne črte dobil formulo. Z njo lahko le z znanim podatkom pretoka ocenimo količino suspendiranih snovi.

Drugi način, kako z izračunom priti do količin suspendiranih snovi, sem opravil s pomočjo programa Bed Load Analyser. Tu sem za pretoke pri katerih so bili vzorci odvzeti (Preglednica 6), z metodo Wu et al izračunal rinjene plavine, z metodo Yang pa skupno količino rinjenih in suspendiranih snovi. Torej, ko sem od vrednosti dobljenih z metodo Yang odštel vrednosti metode Wu et al, sem dobil le količino suspendiranih snovi (Reinhard in Clemens, 2013).

Pri naslednjem načinu vzorčenja pa so bili vsi vzorci vzeti na isti dan 2.5.2021, v razponu 4ih ur. Toliko časa mi je namreč vzela celotna pot z vzorčenji. Prvi vzorec sem vzel na rečnem izviru ob iztoku iz jezera. Temu so sledila vzorčna mesta še na območju Stahovice, Košiša, Duplice, Zgornjih Jarš, Vira, Bišč in Beričevega (Slika 7).



Slika 7: Kamniška Bistrica z vrisanimi mesti odvzema vzorcev (prirejeno po Google Earth 2020).

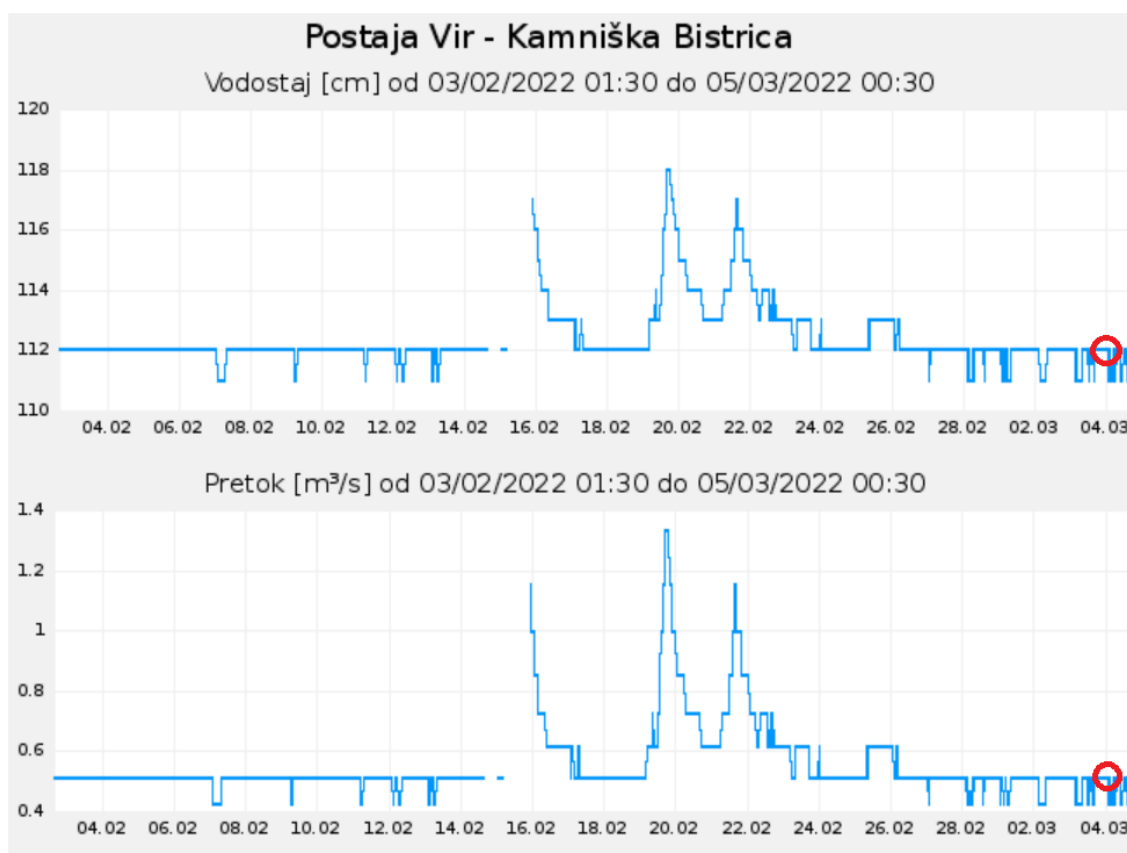
Na Kamniški Bistrici kot že rečeno, nisem meril le suspendiranih snovi, temveč tudi rinjene plavine.

2.3.1.2 Opazovanje transporta rinjenih plavin

V uvodu, v poglavju rinjenih plavin sem že opisal nekaj metod za merjenje le-teh. Sam sem zaradi enostavnosti izvedbe oziroma zato, ker zanje ne potrebujem posebne opreme, izbral metodo z barvanjem prodnikov. Torej sem v času nizkih vod prodnike pobarval, ter jih po visokovodnem dogodku iskal. Barvanja in postavljanja prodnikov sem se lotil 4.3.2022 okoli ure 14:30. Na spodnji preglednici in grafoma je stanje nizkega vodostaja in majhnega pretoka (hidrološki pogoji so stabilni in pretok praktično konstanten) prikazano tudi v številkah (Preglednica 1 in Slika 8).

Preglednica 1: Preglednica podatkov vrednosti Kamniške Bistrice nam prikazuje informacije; od leve: datum, višina gladine vode [cm] in pretok [m^3/s] (prirejeno po ARSO, 2022c).

04.03.2022 16:30	112	0.512
04.03.2022 16:00	111	0.424
04.03.2022 15:30	112	0.512
04.03.2022 15:00	112	0.512
04.03.2022 14:30	111	0.424
04.03.2022 14:00	111	0.424
04.03.2022 13:30	111	0.424
04.03.2022 13:00	111	0.424
04.03.2022 12:30	112	0.512



Slika 8: Na spodnjem in zgornjem grafu sta označena nizki vodostaj in majhen pretok Kamniške Bistrice v času postavljanja pobarvanih prodnikov (prirejeno po ARSO, 2022c).

Dela sem se lotil tako, da sem na spletu najprej poiskal informacije o lokacijah prodišč na Kamniški Bistrici. Izvedel sem, da so največja v naselju Homec in sicer na območju pod Homškim hribom. Informacijo sem nato preveril in potrdil s pomočjo ortofoto posnetka. Na ta način sem poiskal še eno prodišče severno od homškega (od zdaj naprej homško prodišče). Ta se nahaja na meji med naseljema Šmarca in Volčji Potok (od zdaj naprej prodišče št. 1).

Meja namreč poteka približno po reki. Po določitvi lokacij prodišč sem se opravi na teren, začel sem s prodiščem št. 1.

2.3.1.2.1 Prodišče št. 1



Slika 9: Prikaz lokacije prodišča št. 1, ortofoto posnetek (Google Earth, 2020).

Fotografiji prodišča sem posnel z njegove sredine, tako da sem bil pri eni obrnjen proti jugu in pri drugi proti severu.



Slika 10: Levo prikaz južne strani prodišča št. 1; desno pa prikaz še severne strani istega prodišča.

Po ogledu prodišča št. 1 (Slika 9 in Slika 10) sem si na njem izbral 4 lokacije (Slika 11) primerne za meritve oziroma za postavitve pobarvanih prodnikov. Eno lokacijo sem izbral na severnem (lokacija B) in eno na južnem delu prodišča (lokacija D), obe tik ob rečnem toku. Naslednja lokacija (lokacija C) je v osrednjem delu prodišča, ki je nižji od ostalih. Tam so se prodniki ob

takratnem vodostaju nahajali v 1 do 4 cm globokem vodnem toku, tudi tukaj sem pobarvane kamne postavil blizu glavnega rečnega toku. Zadnja lokacija (lokacija A) je prav tako kot prva na severnem delu, vendar v telesu prodišča, 8 m oddaljena od trenutnega rečnega toka.



Slika 11: Prodišče št. 1 z označenimi lokacijami obarvanih prodnikov (od zgoraj: lokacija A, lokacija B, lokacija C in lokacija D), (prirejeno po Google Earth, 2020).

Označevanja prodnikov sem se lotil na način, da sem prodnike na vsaki od lokacij pobarval z različno barvo (črno, rumeno, rdečo in modro), barve pik na zgornji sliki (Slika 11) se ujemajo z barvami kamnov na teh lokacijah. Za tak način barvanja sem se odločil, da bi po tem, ko reka premosti prodnike, točno vedel s katere od štirih lokacij prihaja posamezen prodnik.

Na vsako od lokacij sem postavil 4 prodnike različnih velikosti. Tako bom lahko natančneje ocenil vlečno silo oziroma premestitveno zmogljivost na prej omenjenih lokacijah. Največji od kamnov v četverici je (dimenzije so okvirne in malo variirajo od lokacije do lokacije) 17X10 cm, drugi največji je 10X7cm, drugi najmanjši 6X6 cm in najmanjši 3X3 cm. Vse 4 različno velike prodnike sem postavil skupaj zelo blizu drug drugega.

Že na začetku meritev sem se zavedal, da bo, sploh najmanjše izmed pobarvanih kamnov po njihovi premostitvi zelo težko najti. Najdba prodnikov bo, še posebej, če se bodo premaknili za

večje razdalje ali če jih bo odneslo v globlji del struge skoraj nemogoča. Torej podatka o premostitveni razdalji prodnika najverjetneje ne bom dobil, toda že samo dejstvo, da je se prodnik premaknil, nam omogoča vpogled v procese premeščanja v povezavi s pretočnimi razmerami.

2.3.1.2.1.1 Lokacija A

Lokacija A (Slika 12 in Slika 13), ki je locirana na najbolj severnem delu prodišča št. 1, označena s črno piko. Ta lokacija se z razliko od ostalih nahaja v telesu prodišča in sicer 8 m od vodnega toka in ne ob robu prodišča tik ob toku reke. Kljub temu, da je horizontalna razdalja razmeroma velika, višinska ni, kar pomeni, da je naklon terena na območju prodišča zelo majhen. Prodišče je v tem predelu zelo uravnano, tako da je razlika v višini med trenutno višino gladine in označenimi prodniki le kakšen centimeter.

Dimenzije črno pobarvanih prodnikov od z lokacije A največjega do najmanjšega so: 15X9 cm, 11X8 cm, 8X5 cm in 4X3 cm.



Slika 12: Prikaz barvanja prodnikov.



Slika 13: Levo tlorisni prikaz razporeda črno pobarvanih prodnikov; desno zopet štirje črni prodniki umeščeni sredi prodišča.

2.3.1.2.1.2 Lokacija B

Lokacija B (Slika 14), ki je locirana na severnem delu prodišča, južno pod lokacijo A, je na ortofoto posnetku (Slika 11) označena z rumeno piko. Prodniki so položeni tik ob rob reke, tako kot so na večini drugih lokacij. Za izbiro takih lokacij tik ob robu vodotoka sem se odločil z namenom, da je predstavitev prodnikov čim bolj verjetna.

Dimenzije rumeno pobarvanih prodnikov od največjega z lokacije B do najmanjšega so: 17X14 cm, 10X8 cm, 6X5 cm in 3X3 cm.



Slika 14: Levo tlorisni prikaz razporeda rumeno pobarvanih prodnikov; desno štirje rumeni prodniki ob robu prodišča.

2.3.1.2.1.3 Lokacija C

Lokacija C (Slika 15), ki je locirana na osrednjem delu prodišča, je na ortofoto posnetku (Slika 11) označena z rdečo piko. Prodniki so položeni nekako ob rob reke, podobno kot na večini drugih lokacij, z eno razliko. Kot že omenjeno je osrednji del nasipa namreč nižji od ostalih, ter tam prodniki stojijo v 1 do 4 cm visoki skoraj stoječi vodi. Ker je voda na tem delu prodišča prisotna že ob nizkem vodostaju, predvidevam da bodo prodniki na tem delu izpostavljeni premikom.

Dimenzije rdeče pobarvanih prodnikov z lokacije C od največjega do najmanjšega so: 17X10 cm, 10X6 cm, 5X5 cm in 3X3 cm.



Slika 15: Levo tlorisni prikaz razporeda rdeče pobarvanih prodnikov; desno štirje rdeči prodniki na nižjem osrednjem delu prodišča.

2.3.1.2.1.4 Lokacija D

Lokacija D (Slika 16), ki je locirana na južnem delu prodišča, je na ortofoto posnetku (Slika 11) označena z modro piko. Prodniki so položeni tik ob rob reke, tako kot so na večini drugih lokacij.

Dimenzije modro pobarvanih prodnikov z lokacije D od največjega do najmanjšega so: 17X11 cm, 10X8 cm, 7X6 cm in 3X3 cm.



Slika 16: Levo tlorisni prikaz razporeda modro pobarvanih prodnikov; desno štirje modri prodniki ob robu prodišča.

2.3.1.2.2 Homško prodišče



Slika 17: Prikaz lokacije homškega prodišča, ortofoto posnetek (Google Earth, 2020).

Ob prihodu na homško prodišče (Slika 17) sem z njegove sredine posnel dve fotografiji, zopet tako, da sem bil pri eni obrnjen proti jugu in pri drugi proti severu (Slika 18).



Slika 18: Levo prikaz južne strani homškega prodišča; desno pa prikaz severne.

Na območju struge kamniške Bistrice, ki zajema tudi odsek homškega prodišča, je bilo pred nekaj meseci izvedenih precej zemeljskih del. Izvedena je bila namreč rekonstrukcija prečnega prereza struge in zavarovanje leve brežine. Zaradi teh del je trenutna sestava plavin precej neenovita, novo stanje pa se bo razvilo šele po nekaj poplavnih dogodkih. Naj omenim tudi to, da je homško prodišče prikazano na ortofoto posnetkih (Slika 17, Slika 19, Slika 56 in Slika 57) še iz časa pred omenjeno sanacijo. Največja opazna razlika, ki mi jo je uspelo videti z obiska terena, je ta, da je »otok« homškega prodišča sedaj dosti manjši (torej so posledično tudi same razdalje med lokacijami prodnikov manjše, kot so prikazane na sliki).

Na tem prodišču sem si izbral 3 lokacije (Slika 19) za meritve oziroma za postavitve označenih prodnikov. Prvo lokacijo sem izbral na osrednjem delu prodišča (lokacija E), ta je tako kot lokacija A na severnejšem prodišču, postavljena na sredini telesa prodišča in ne na njegovem robu. Naslednja modra lokacija (lokacija F) je prav tako postavljena v osrednjem delu nasipa, vendar tik ob robu vodotoka. Locirana je na zahodnem bregu, ob njej pa teče stranski tok reke. Zadnja lokacija (lokacija G) je umeščena na skrajni južni del nasipa, kjer se glavni in stranski tok zopet združita.



Slika 19: Homško prodišče z označenimi lokacijami obarvanih prodnikov (od zgoraj: lokacija E, lokacija F, lokacija G), (prirejeno po Google Earth, 2020).

2.3.1.2.2.1 Lokacija E

Lokacija E (Slika 20), ki je locirana najseverneje od vseh treh lokacij homškega prodišča, a je kljub temu še vedno v njegovem osrednjem delu, je na ortofoto posnetku (Slika 19) označena z rumeno piko. Ta lokacija se za razliko od večine ostalih nahaja v telesu prodišča in sicer 2 m od roba vodnega toka v horizontalni smeri in 30 cm v vertikalni.

Dimenzije rumeno pobarvanih prodnikov z lokacije E od največjega do najmanjšega so: 16X11 cm, 11X9 cm, 7X5 cm in 4X3 cm.



Slika 20: Levo tlorisni prikaz razporeda rumeno pobarvanih prodnikov; desno štirje rumeni prodniki sredi prodišča.

2.3.1.2.2 Lokacija F

Lokacija F (Slika 21), ki se prav tako nahaja v osrednjem delu prodišča, je na ortofoto posnetku (Slika 19) označena z modro piko. Njena lokacija se kot edina izmed vseh nahaja tik ob stranskem in ne glavnem toku Kamniške Bistrice.

Dimenzije modro pobarvanih prodnikov z lokacije F od največjega do najmanjšega so: 16X11 cm, 11X9 cm, 7X5 cm in 4X3 cm.



Slika 21: Levo tlorisni prikaz razporeda modro pobarvanih prodnikov; desno štirje modri prodniki ob robu stranskega toka.

2.3.1.2.3 Lokacija G

Lokacija G (Slika 22), ki predstavlja najjužnejšo izmed lokacij na homškem prodišču, je na ortofoto posnetku (Slika 19) označena z rdečo piko. Njena lokacija se nahaja v konici prodišča, na malem sotočju oziroma na območju združitve stranskega toka z glavnim.

Dimenzije rdeče pobarvanih prodnikov z lokacije G od največjega do najmanjšega so: 19X9 cm, 10X7 cm, 6X6 cm in 4X3 cm.



Slika 22: Levo tlorisni prikaz razporeda rdeče pobarvanih prodnikov; desno štirje rdeči prodniki na sotočju stranskega in glavnega toka.

2.3.1.3 Sejalna analiza

Sejalna analiza se prične z iskanjem primerne delne površine, od koder lahko pridobimo reprezentativen vzorec prodnikov. Tega odvzamemo iz območja površine ca. 1 m². Sam sem se jemanja vzorca lotil na način, da sem zgornje večje prodnike (krovni sloj) v zabojnike pobral ročno. Sloj pod njim (podpovršinski sloj), ki je predstavljal prodnike manjših dimenzij in pesek pa sem zajemal z lopato.

Vzorec za sejalno analizo sem vzel na prodišču št. 1 (Slika 23 in Slika 24).



Slika 23: 1 m² veliko območje pripravljeno za odvzem vzorca.



Slika 24: Levo potek odzemanja vzorca prodnikov; desno konec odvzema vzorcev.

S tem sem delo na terenu v sklopu sejalne analize zaključil. Naslednji korak je potekal v laboratoriju, kjer sem vzorec najprej pripravil za sejalno analizo, samo sejanje pa je prišlo na vrsto naslednji dan. Ker so bili prodniki v vzorcu umazani ter, ker so bili nanje prilepljeni tudi delčki peska in melja, jih je bilo potrebno umiti z vodo in krtačko. Vodo sem ob koncu še zlil skozi sito, da sem ujel odstranjene drobce, saj tudi ti predstavljajo del vzorca. Poleg večjih prodnikov je potrebno umiti tudi manjši prod in pesek. Ko sem s tem zaključil, sem moral vzorec še osušiti. Vstavil sem ga v peč nastavljeno na 110°C , ter ga v njej pustil vsaj 3 ure. Drobnejši del vzorca se suši počasneje, saj ima v primerjavi z večjimi prodniki manj medzrnskega prostora, tako da 3 ure zanj načeloma ni dovolj. Ko se vzorec primerno osuši, ga začnemo razvrščati v različne velikostne skupine. Največje prodnike, večje do velikosti 50 mm, razvrstimo na roke. Naše mehansko sito lahko namreč na enkrat seje vzorec težak le do 15 kg. Torej s tem, ko največje in najtežje prodnike razporedimo ročno, lahko preostanek mehansko presejemo hitreje. Preden zaženemo mehansko sito mu še določimo čas sejanja, jaz sem ga nastavil na 15 min, izbral sem še interval 45 s (to pomeni, da se sito vsakih 45 s, za 1 s ustavi) in amplitudo nihanja 1,2 mm. Vzorec sem sejal v treh korakih, v prvem koraku sem imel sita velikosti od 50 do 20 mm, v drugemu koraku pa sem sita zamenjal. Ta so bila nato velikosti od 14 do 4 mm. Tretji korak pa je zajemal le najmanjša sita velikosti od 2,8 do 0,063 mm.

Pridobljene rezultate sejalne analize sem nato uporabil v programu Bed Load Analyser, kjer sem želel izračunati transport rečnih sedimentov pri različnih izbranih pretokih. Računal sem za vodotok Kamniška Bistrica oziroma njen odsek na območju prodišča št. 1 (območje med naseljema Šmarca in Volčji Potok).

Po sejanju je sledila računska obravnava pridobljenih podatkov. Za izračun sem poleg svojih rezultatov presejka potreboval tudi še nekaj drugih vhodnih podatkov. Prvi izmed njih je lidar

posnetek obravnavanega odseka Kamniške Bistrice. Tega sem naložil v program Saga GIS (Conrad in sod., 2015), kjer sem lahko odčitaval x, y in z vrednosti točk vzdolž začetnega in končnega prečnega prereza struge obravnavanega odseka. Te sem prenesel v program Excel, kjer sem izračunal vzdolžni padec reke na izbranem odseku. Ta je znašal 0,924%. S točkami prečnega prereza sem izrisal graf, tako da je bila širina struge na njem dobro razvidna. Na ta način sem namreč najlažje našel levi in desni rob struge. Ta podatek sem potreboval za postavitev mej spremembe Manningovega koeficienta. Manningove koeficiente sem v programu Bed Load Analyser sicer določal sam, torej so to zgolj inženirske ocene vrednosti. Za kanal sem določil vrednost 0,03, za desno stran bregu prav tako 0,03, za levo pa 0,035. Zadnji potreben podatek pa je bila seveda zrnavostna sestava oziroma presejki mojega vzorca.

2.3.1.4 Linijska analiza

Linjska analiza je analiza določevanja oziroma merjenja velikosti prodnikov, ter pridobitve informacij o razmerjih med različnimi velikostnimi skupinami prodnikov. Analiza poteka tako, da zopet poiščeš reprezentativni del prodišča, ker na tla položiš meter. V mojem primeru je bil ta dolžine 2 m. Rezultat linijske analize pridobiš tako, da vzdolž metra odčitavaš velikosti prodnikov pod njim (Slika 25). Linijsko analizo sem opravil na prodišču št. 1.



Slika 25: Levo prikaz območja primerne za odvzem reprezentativnega vzorca; desno odčitavanje dimenzij prodnikov.

3 REZULTATI IN DISKUSIJA

3.1 Pšata

3.1.1 Suspendirane snovi

V opazovanem obdobju sem si ob času vsakega odvzetega vzorca, iz spletne strani ARSO, zapisal tudi rečni vodostaj in pretok. Iz spletne strani Meteo pa sem vzel še podatek dnevne količine padavin. Za vodotok Pšata sem si ob vzorčenju zabeleževal padavine iz samodejnih vodomernih postaj Krvavec in Brnik. Vodomerna postaja Krvavec se namreč nahaja na območju kjer Pšata izvira, vodomerna postaja Brnik pa nekoliko južneje, bližje lokaciji zajemanja vzorcev. Ugotovil sem, da padavine z območja Krvavca bolj vplivajo na tok reke in na količino suspendiranih snovi v njej. Iz tega razloga sem v preglednicah in grafih uporabljal le podatke s te merilne postaje.

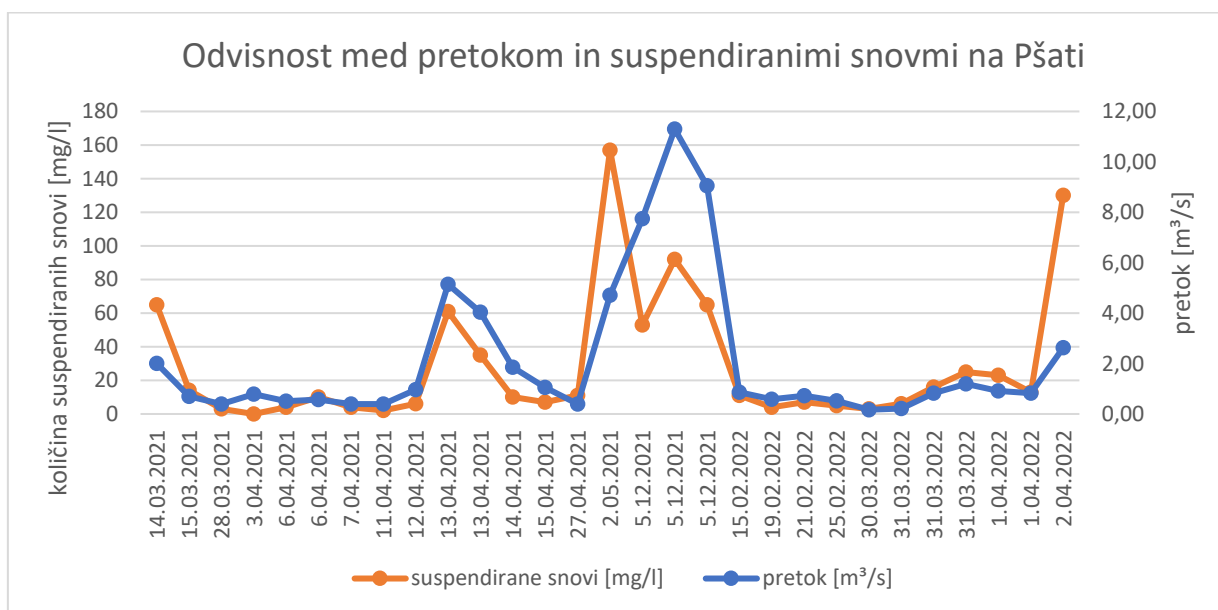
Preglednica 2: Prikaz rečnega vodostaja, pretoka, količine suspendiranih snovi, z območja merilne postaje Topole (ARSO, 2022c) in dnevne količine padavin (Meteo, 2022), z merilne postaje Krvavec, ob določenem datumu in času.

datum	ura	vodostaj	pretok [m ³ /s]	dnevne padavine [mm]	suspendirane snovi [mg/l]
14.03.2021	/	85	2,00	19,6	65
15.03.2021	/	73	0,70	0,2	14
28.03.2021	/	67	0,39	1,8	3
3.04.2021	/	73	0,79	9,4	0
6.04.2021	/	69	0,51	9,3	4
6.04.2021	/	70	0,57	9,3	10
7.04.2021	/	67	0,39	0	4
11.04.2021	/	67	0,39	2,7	2
12.04.2021	/	75	0,96	29,9	6
13.04.2021	/	110	5,14	8,9	61
13.04.2021	/	102	4,04	8,9	35
14.04.2021	/	84	1,85	0,1	10
15.04.2021	/	76	1,05	0	7
27.04.2021	/	67	0,39	0,6	11
2.05.2021	/	107	4,71	48,6	157
5.12.2021	12:00	125	7,75	19,7	53
5.12.2021	15:30	144	11,30	19,7	92
5.12.2021	18:00	133	9,05	19,7	65
15.02.2022	18:00	73	0,87	20,5	11
19.02.2022	18:00	69	0,58	8,8	4
21.02.2022	17:00	71	0,72	7,1	7
25.02.2022	18:00	68	0,52	5,9	5
30.03.2022	16:00	12	0,17	1,5	3

31.03.2022	09:00	13	0,22	29,1	6
31.03.2022	16:00	22	0,83	29,1	16
31.03.2022	20:00	26	1,19	29,1	25
1.04.2022	11:00	23	0,92	6,3	23
1.04.2022	19:30	22	0,83	6,3	13
2.04.2022	12:00	37	2,63	22,3	130

Kot opombo zgornji preglednici (Preglednica 2) bi dodal, da podatek rečnega vodostaja ne prikazuje dobesedno globine vodnega toka. Tukaj gre le za način merjenja Arsa, ki pri dnu struge ni vzel vrednosti 0 cm, ampak neko drugo, višjo vrednost, ki je odvisna od lokalnih razmer na sami lokaciji vodomerne postaje. Razlog za uporabo višje vrednosti je možnost poglobljanja struge, na ta način se torej izognemo temu, da bi se dno struge spustilo pod vrednost 0.

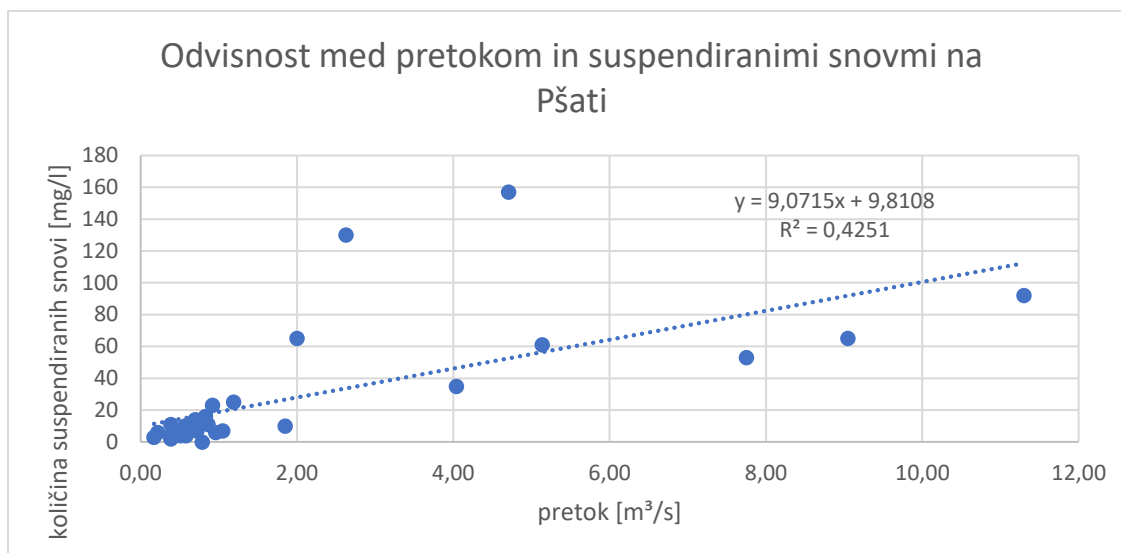
Naslednja opomba, prav tako glede vodostaja, pa je sprememba začetne vrednosti na dnu struge. Do spremembe je prišlo v času med datumoma 25.2.2022 in 30.3.2022, ko vidimo precejšen padec vodostaja. Od datuma 30.3.2022 naprej lahko namreč opazimo, da je vodostaj ob podobnih pretokih bistveno nižji.



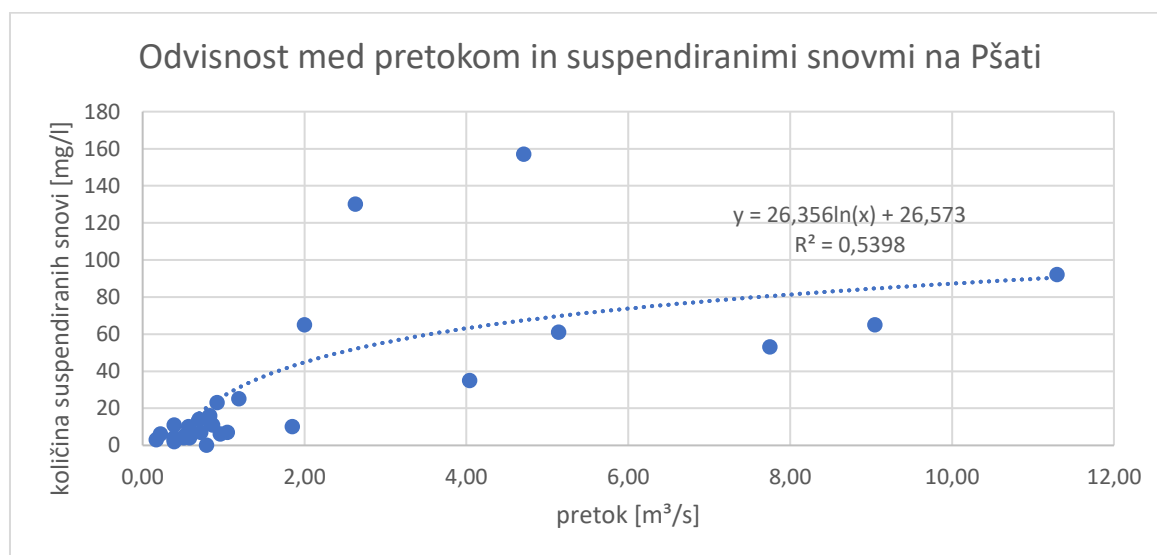
Slika 26: Grafikon odvisnosti med pretokom in suspendiranimi snovmi na Pšati, z območja merilne postaje Topole.

Na grafu odvisnost med pretokom in suspendiranimi snovmi (Slika 26) je opazno očitno prileganje. To, da se količina suspendiranih snovi dvigne ob povečanju pretoka, je že znano dejstvo, mene je zanimalo predvsem kako močna je ta povezava. To je pa najlažje določljivo s trendno črto na spodnjem grafu (Slika 27 in Slika 28). Kot vrednost ujemanja dobim rezultat R^2

= 0,4251. R^2 predstavlja tako imenovan koeficient determinacije oziroma kvadratno vrednost Pearsonovega koeficienta korelacije. Glede na to, da so vrednosti R^2 med 0 in 1, je ujemanje relativno majhno. Na grafu je izpisana tudi formula trendne črte, ki nam lahko služi pri kasnejšem določanju količine suspendiranih snovi, ko imamo na voljo le podatke pretokov.

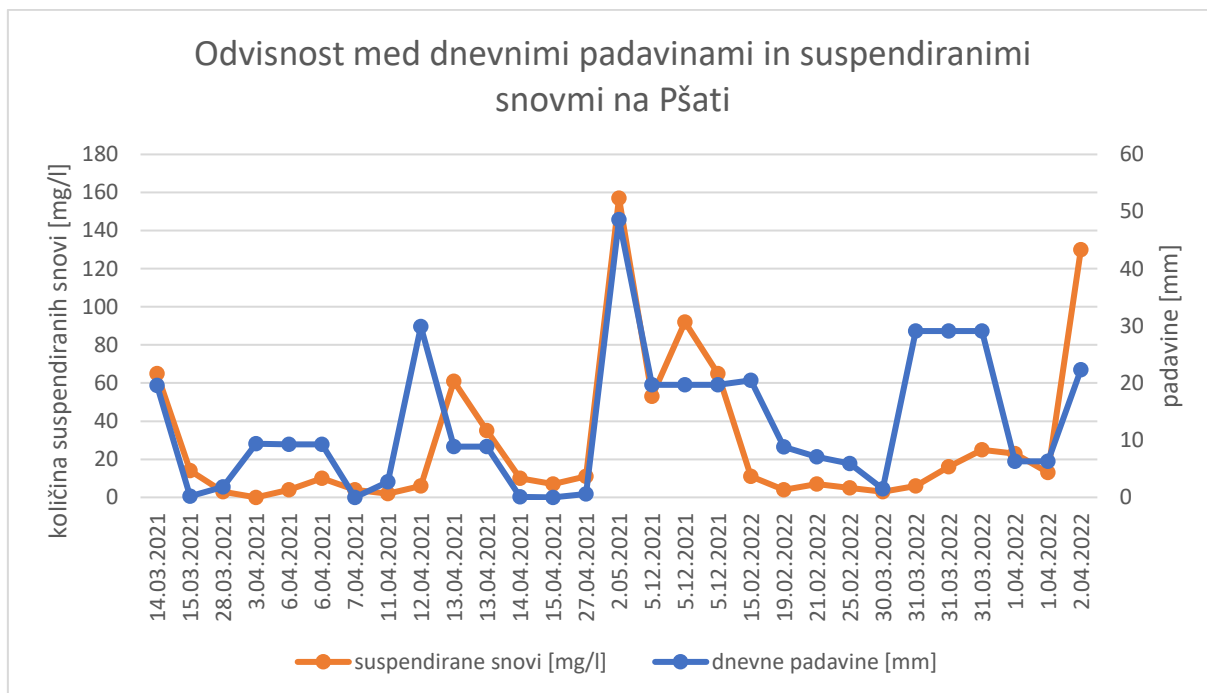


Slika 27: Grafikon odvisnosti med pretokom in suspendiranimi snovmi, z območja merilne postaje Topole s trendno črto.



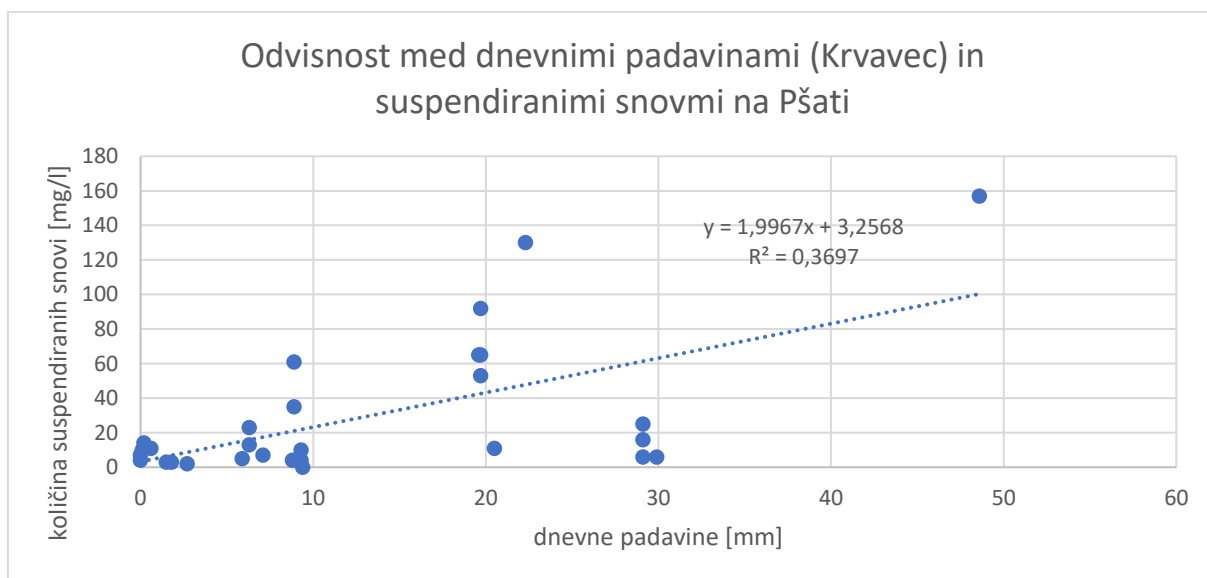
Slika 28: Grafikon odvisnosti med pretokom in suspendiranimi snovmi, z območja merilne postaje Topole, z logaritemsko trendno črto.

Pri izračunih količine suspendiranih snovi ob znanih pretokih, sem v nadaljevanju uporabljal formulo linearne trendne črte, čeprav je ujemanje, se pravi vrednost R^2 , pri logaritemski (Slika 28) nekoliko višje.



Slika 29: Grafikon odvisnosti med dnevnimi padavinami (z merilne postaje Krvavec) in suspendiranimi snovmi, z območja merilne postaje Topole.

Prileganje je po pričakovanjih opazno tudi med vrednostmi dnevnih količin padavin in količino suspendiranih snovi (Slika 29), vendar je to nekoliko slabše kot prileganje pretoka in suspendiranih snovi. To je razvidno tudi iz vrednosti R^2 (Slika 30), ki je pri odvisnosti suspendiranih snovi od padavin manjša.



Slika 30: Grafikon odvisnosti med dnevnimi padavinami (z merilne postaje Krvavec) in suspendiranimi snovmi, z območja merilne postaje Topole, s trendno črto.

Zaradi lažje predstave, sem količino transportiranih suspendiranih snovi predstavil tudi v enotah [kg/s] (Preglednica 3). Te sem dobil tako, da sem vrednost podano v [mg/l] pomnožil s pretokom, zraven pa pazil na prave enote.

Preglednica 3: Vrednosti suspendiranih snovi v mg/l in v kg/s za območje merilne postaje Topole.

datum	suspendirane snovi [mg/l]	suspendirane snovi [kg/s]
14.03.2021	65	0,130
15.03.2021	14	0,010
28.03.2021	3	0,001
3.04.2021	0	0,000
6.04.2021	4	0,002
6.04.2021	10	0,006
7.04.2021	4	0,002
11.04.2021	2	0,001
12.04.2021	6	0,006
13.04.2021	61	0,314
13.04.2021	35	0,141
14.04.2021	10	0,019
15.04.2021	7	0,007
27.04.2021	11	0,004
2.05.2021	157	0,739
5.12.2021	53	0,411
5.12.2021	92	1,040
5.12.2021	65	0,588
15.02.2022	11	0,010
19.02.2022	4	0,002
21.02.2022	7	0,005
25.02.2022	5	0,003
30.03.2022	3	0,001
31.03.2022	6	0,001
31.03.2022	16	0,013
31.03.2022	25	0,030
1.04.2022	23	0,021
1.04.2022	13	0,011
2.04.2022	130	0,342

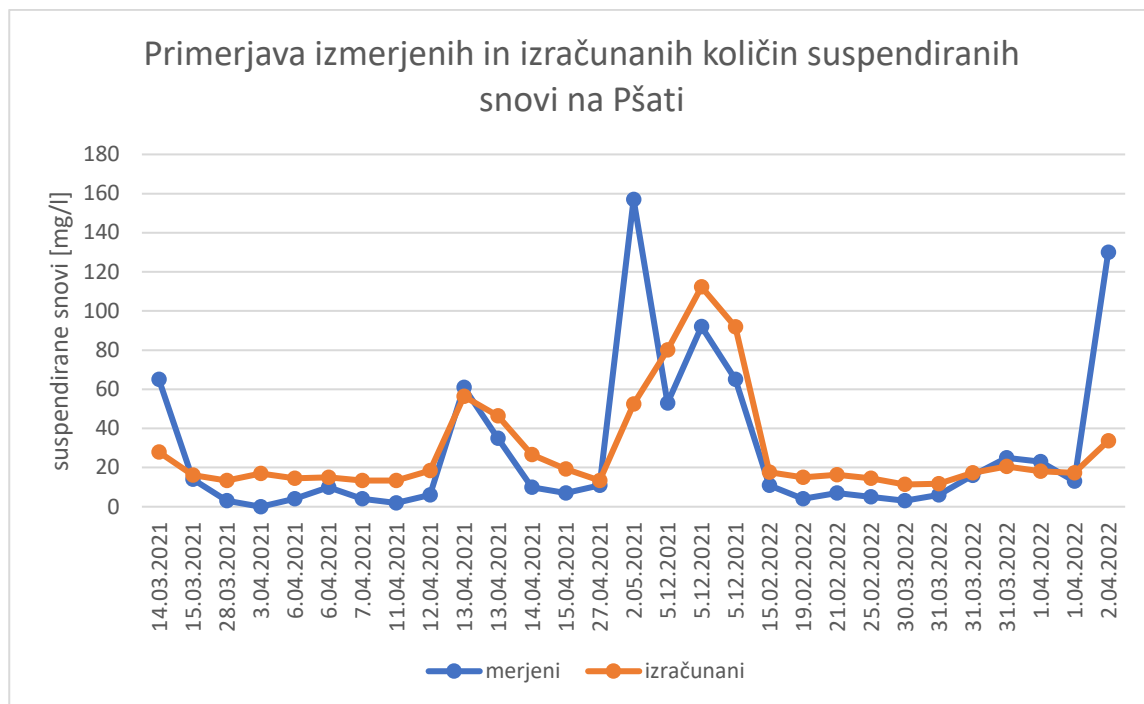
Eden izmed glavnih ciljev moje diplomske naloge je bil izračun količine transportiranih suspendiranih snovi, na podlagi z vzorčenjem pridobljenih rezultatov. Ker se suspendiranih snovi za razliko od pretokov na vodomernih postajah po Sloveniji načeloma ne meri, je zato njihov izračun smiselno s pomočjo merjenih podatkov. Enačbo $Y = 9,0715X + 9,8108$ sem dobil v Excelu s pomočjo trendne črte (Slika 27). Namesto spremenljivke X sem vstavil merjeni pretok [m^3/s], ter kot rezultat, se pravi vrednost Y , dobil količino suspendiranih snovi [mg/l].

Rezultati izračunanih vrednosti in njihova primerjava z izmerjenimi količinami suspendiranih snovi, je predstavljena v spodnji preglednici (Preglednica 4) in grafu (Slika 31).

Preglednica 4: Primerjava izmerjenih in izračunanih vrednosti suspendiranih snovi za območje merilne postaje Topole.

datum	suspendirane snovi [mg/l]	
	izmerjene	izračunane
14.03.2021	65	28
15.03.2021	14	16
28.03.2021	3	13
3.04.2021	0	17
6.04.2021	4	14
6.04.2021	10	15
7.04.2021	4	13
11.04.2021	2	13
12.04.2021	6	19
13.04.2021	61	56
13.04.2021	35	46
14.04.2021	10	27
15.04.2021	7	19
27.04.2021	11	13
2.05.2021	157	53
5.12.2021	53	80
5.12.2021	92	112
5.12.2021	65	92
15.02.2022	11	18
19.02.2022	4	15
21.02.2022	7	16
25.02.2022	5	15
30.03.2022	3	11
31.03.2022	6	12
31.03.2022	16	17
31.03.2022	25	21
1.04.2022	23	18
1.04.2022	13	17
2.04.2022	130	34

Relativno dobro ujemanje med merjenimi in izračunanimi vrednostmi suspendiranih snovi je bolj razvidno z grafa. Pri izračunanih vrednostih vidimo le nekoliko manj nihanj, torej v primerjavi z merjenimi višje vrednosti pri nižjih in nižje vrednosti pri višjih pretokih.



Slika 31: Grafikon primerjave izmerjenih in izračunanih vrednosti suspendiranih snovi, za območje merilne postaje Topole.

S pomočjo prej opisane enačbe $Y = 9,0715X + 9,8108$ (Slika 27), sem s podatki povprečnih dnevnih pretokov za leta od 2016 do 2020 (ARSO, 2022b), izračunal še letne količine transportiranih suspendiranih snovi za obravnavana obdobja. Omenjena enačba mi sicer da rezultat v enotah [mg/l], tega sem nato pomnožil s pretokom, ter na koncu še uredil enote. Rezultate sem namreč želel prikazati v enotah [t/dan], ki sem jih na koncu med seboj seštel, ter dobil letno količino suspendiranih snovi [t/leto] (Preglednica 5). Treba je poudariti, da gre za relativno grobo oceno letnega transporta lebdečih plavin in da bi za bolj zanesljive ocene potrebovali dejanske zvezne meritve motnosti.

Preglednica 5: Letne količine transportiranih suspendiranih snovi, z območja merilne postaje Topole.

leto	suspendirane snovi [t/leto]
2016	3233,2
2017	4714,9
2018	2555,0
2019	3660,3
2020	2868,3

3.2 Kamniška Bistrica

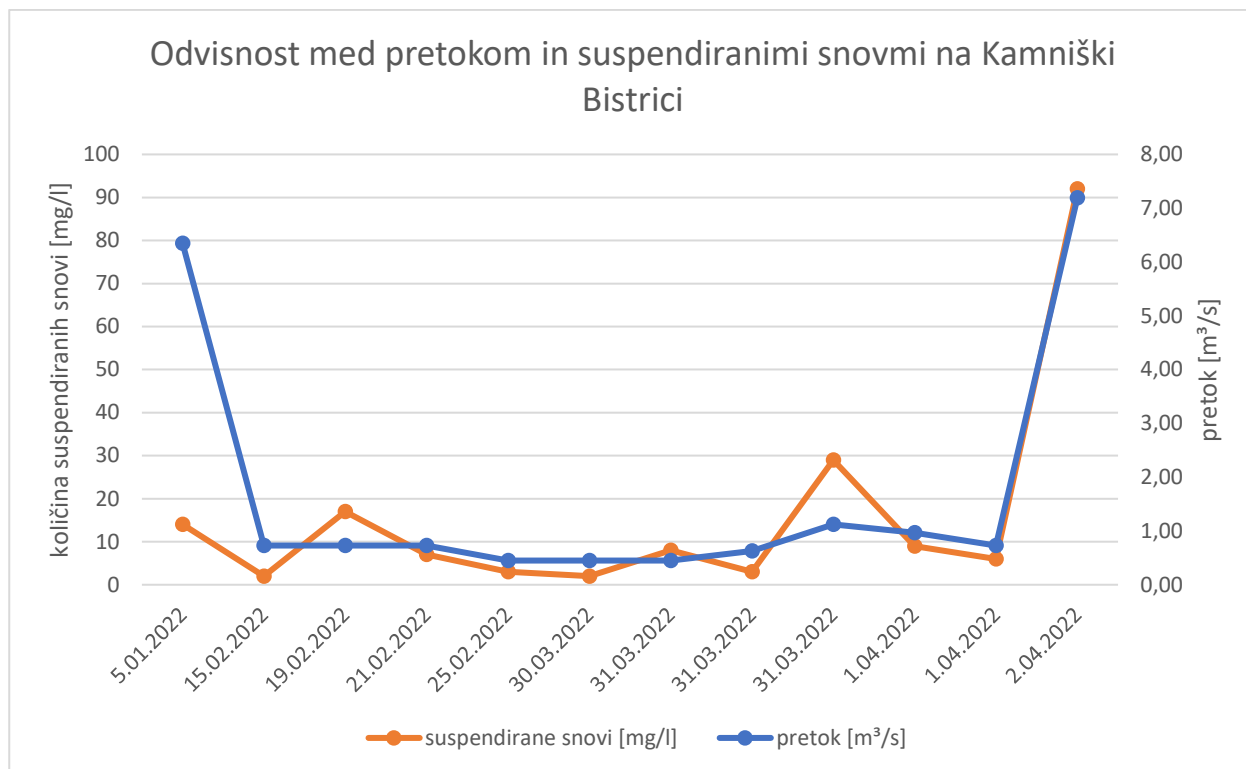
3.2.1 Suspendirane snovi

Kot že opisano za primer vodotoka Pšata (poglavje 3.1.1 Suspendirane snovi), sem si tudi tu sproti izpisoval vrednosti vodostajev, pretokov in dnevnih padavin ob času vsakega odvzema vzorca (Preglednica 6).

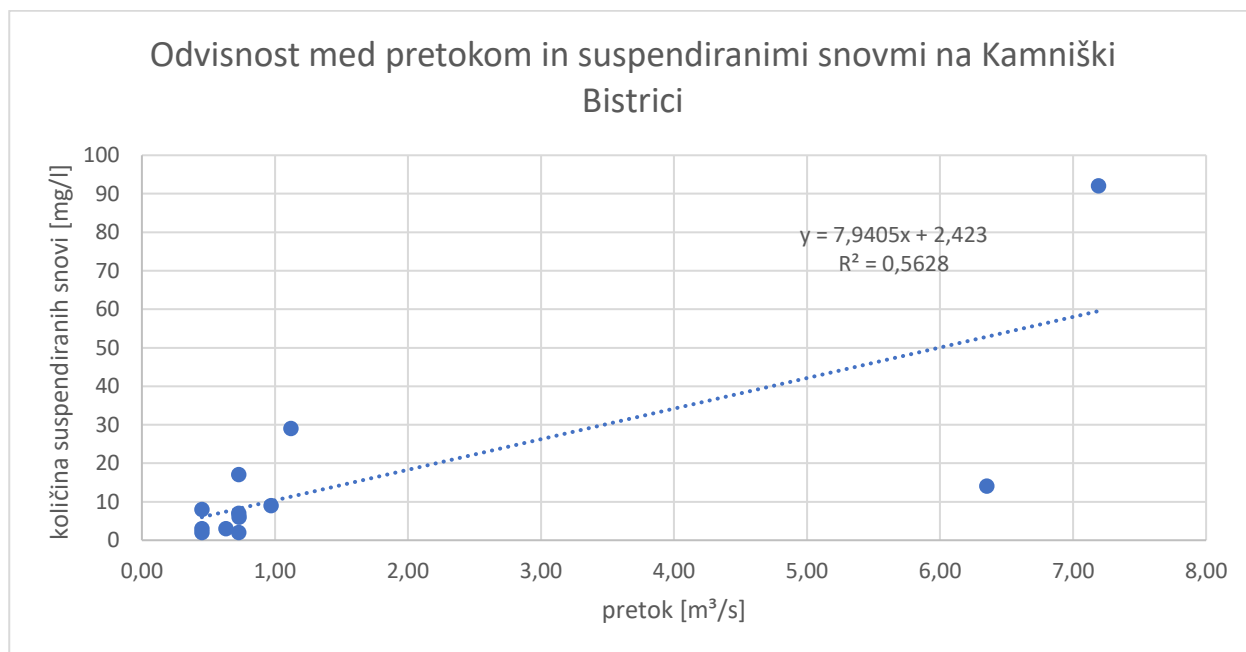
Preglednica 6: Prikaz rečnega vodostaja, pretoka, količine suspendiranih snovi, z območja merilne postaje Vir (ARSO, 2022c) in dnevne količine padavin, z območja merilne postaje Kamniška Bistrica (Meteo, 2022) ob določenem datumu in času.

datum	ura	vodostaj	pretok [m³/s]	dnevne padavine [mm]	suspendirane snovi [mg/l]
5.01.2022	20:30	136	6,35	25,3	14
15.02.2022	16:30	114	0,73	26	2
19.02.2022	18:00	114	0,73	11,7	17
21.02.2022	17:00	114	0,73	3,1	7
25.02.2022	18:00	112	0,45	0,1	3
30.03.2022	16:00	112	0,45	0,8	2
31.03.2022	09:00	112	0,45	27,1	8
31.03.2022	16:00	114	0,63	27,1	3
31.03.2022	20:00	118	1,12	27,1	29
1.04.2022	11:00	117	0,97	14	9
1.04.2022	19:30	115	0,73	14	6
2.04.2022	12:00	140	7,19	22,5	92

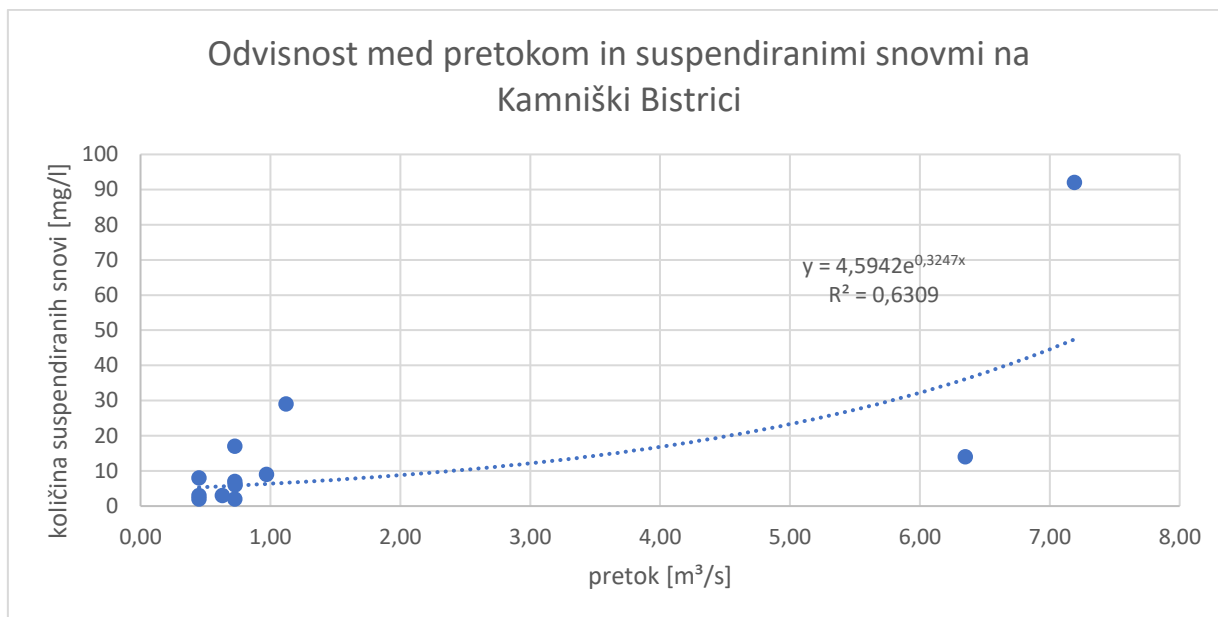
Na grafu odvisnost med pretokom in suspendiranimi snovmi (Slika 32) je opazno prileganje. Kako močno je, pa najlažje določimo s trendno črto na grafu malo nižje (Slika 33). Kot vrednost ujemanja dobimo rezultat $R^2 = 0,5628$. Na grafu je izpisana tudi formula trendne črte, ki nam lahko služi pri kasnejšem določanju količine suspendiranih snovi, ko imamo na voljo le podatke pretokov.



Slika 32: Grafikon odvisnosti med pretokom in suspendiranimi snovmi na Kamniški Bistrici, na območju merilne postaje Vir.

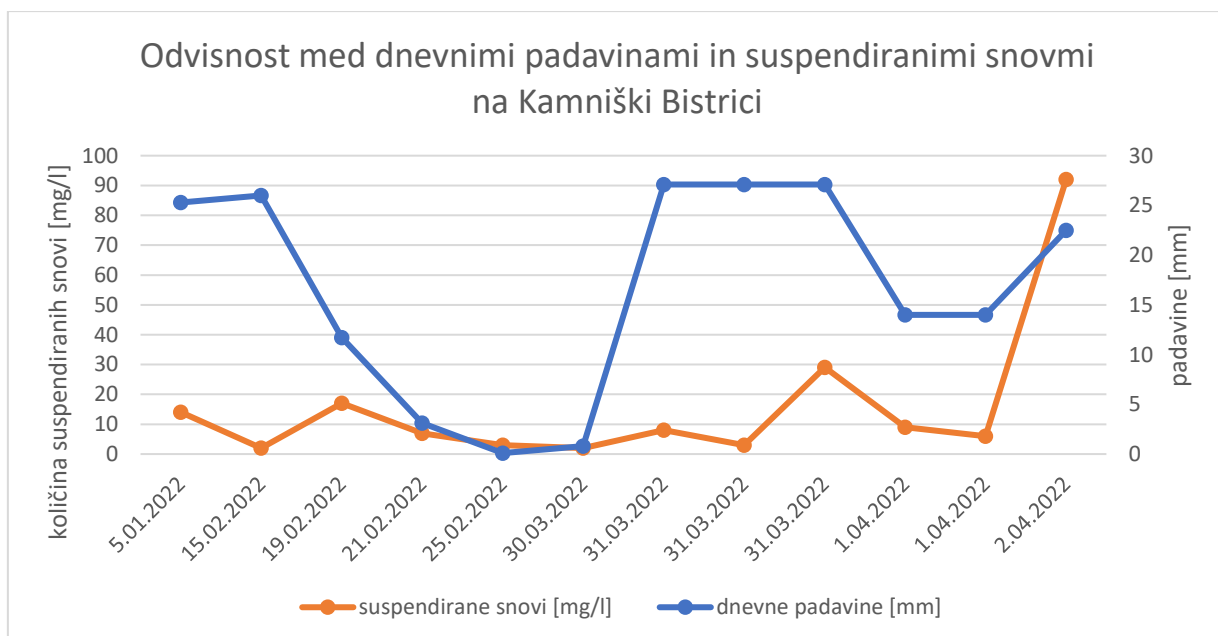


Slika 33: Grafikon odvisnosti med pretokom in suspendiranimi snovmi s trendno črto, na območju merilne postaje Vir.



Slika 34: Grafikon odvisnosti med pretokom in suspendiranimi snovmi z eksponentno trendno črto, na območju merilne postaje Vir.

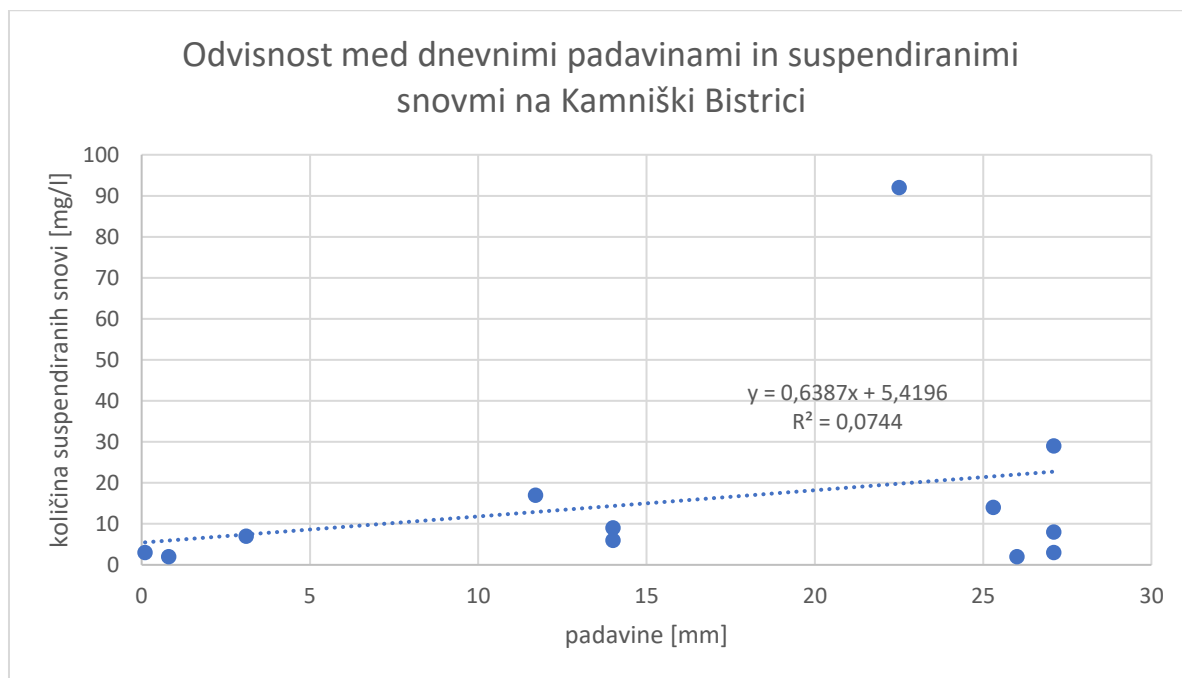
Pri izračunih količine suspendiranih snovi ob znanih pretokih, sem v nadaljevanju uporabljal formulo linearne trendne črte. Taka povezava se mi namreč zdi bolj realno, čeprav je trenutno ujemanje, se pravi vrednost R^2 , pri eksponentni (Slika 34) nekoliko višje.



Slika 35: Grafikon odvisnosti med dnevnimi padavinami (z merilne postaje Kamniška Bistrica) in suspendiranimi snovmi na Kamniški Bistrici, na območju merilne postaje Vir.

Prileganje je opazno tudi med vrednostmi dnevnih količin padavin in količino suspendiranih snovi (Slika 35), vendar je to manjše kot prileganje pretoka in suspendiranih snovi. To je

razvidno tudi iz vrednosti R^2 (Slika 36), ki je pri odvisnosti suspendiranih snovi od padavin zelo majhna.



Slika 36: Grafikon odvisnosti med dnevnimi padavinami (z merilne postaje Kamniška Bistrica) in suspendiranimi snovmi, na območju merilne postaje Vir, s trendno črto.

Zaradi lažje predstave, sem količino transportiranih suspendiranih snovi ponovno predstavil tudi v enotah [kg/s]. Te sem dobil tako, da sem vrednost podano v [mg/l] pomnožil s pretokom, zraven pa pazil na prave enote (Preglednica 7).

Preglednica 7: Vrednosti izmerjenih suspendiranih snovi v [mg/l] in v preračunanih v [kg/s] z območja merilne postaje Vir.

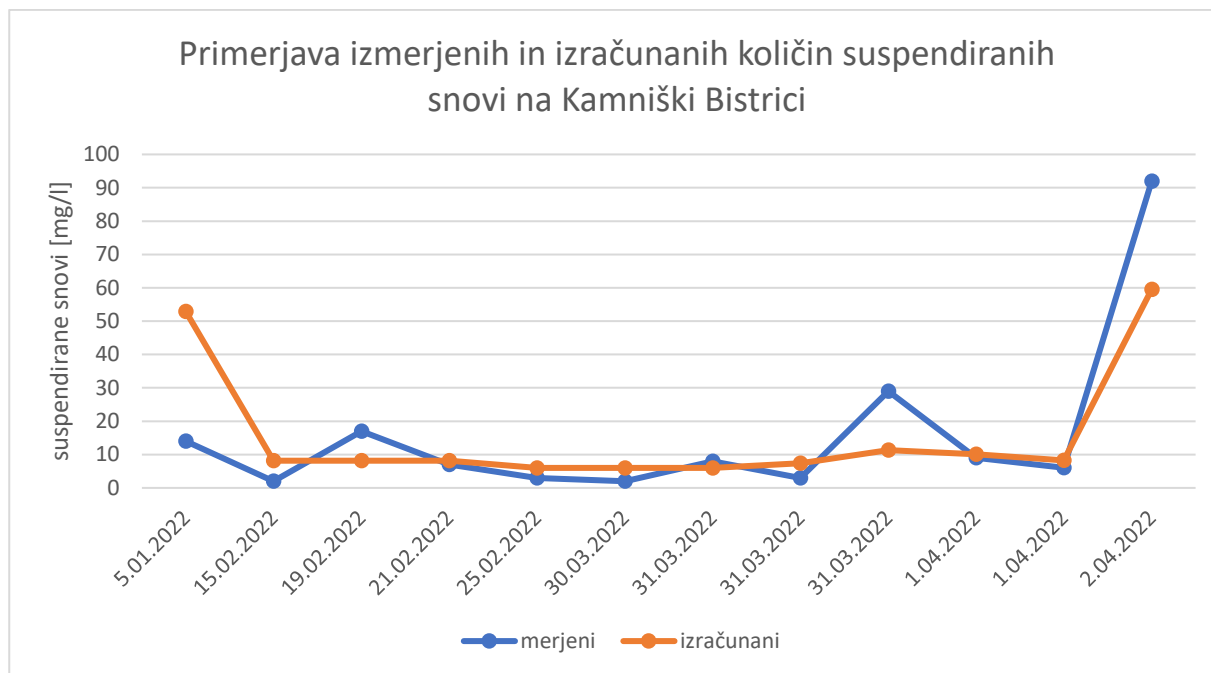
datum	suspendirane snovi [mg/l]	suspendirane snovi [kg/s]
5.01.2022	14	0,089
15.02.2022	2	0,001
19.02.2022	17	0,012
21.02.2022	7	0,005
25.02.2022	3	0,001
30.03.2022	2	0,001
31.03.2022	8	0,004
31.03.2022	3	0,002
31.03.2022	29	0,032
1.04.2022	9	0,009
1.04.2022	6	0,004
2.04.2022	92	0,661

Tudi pri vodotoku Kamniške Bistrice sem se lotil računanja količin suspendiranih snovi, tokrat na dva različna načina. V prvem načinu sem se računanja lotil s formulo $Y = 7,9405X + 2,423$, ki sem dobil v Excelu s pomočjo trendne črte (Slika 33). Namesto spremenljivke X sem vstavil merjeni pretok [m^3/s], ter kot rezultat, se pravi vrednost Y , dobil količino suspendiranih snovi [mg/l]. Drugi izračun sem opravil s pomočjo programa Bed Load Analyser (Reinhard, Clemens, 2013). Tu sem za pretoke pri katerih so bili vzorci odvzeti (Preglednica 6), z metodo Wu et al (Wu, Wang, Jia, 2000) izračunal rinjene plavine, z metodo Yang (Yang, 1979) pa skupno količino rinjenih in suspendiranih snovi. Potrebno je poudariti, da gre za grobo oceno premestitvene zmogljivosti za lebdeče plavine. Torej, ko sem od vrednosti dobljenih z metodo Yang odštel vrednosti metode Wu et al, sem dobil le količino suspendiranih snovi. Vendar sem ugotovil, da ta način ni najboljši, saj se rezultati pridobljeni po različnih metodah med seboj preveč razlikujejo. Po omenjenih enačbah se namreč izračuna potencialna premestitvena zmogljivost za rinjene in lebdeče plavine, dejanski transport plavin pa ni nujno enak potencialni premestitveni zmogljivosti. Vrednosti premestitvene zmogljivosti za suspendiranih snovi so bile namreč bistveno višje kot dejanske merjene vrednosti (Preglednica 8). Rezultati izračunanih vrednosti in njihova primerjava z izmerjenimi količinami suspendiranih snovi, je predstavljena tudi v grafu (Slika 37). V njem ni vrisanih vrednosti pridobljenih s programom Bed Load Analyser.

Preglednica 8: Primerjava izmerjenih in izračunanih vrednosti suspendiranih snovi.

datum	suspendirane snovi [mg/l]		
	izmerjene	izračunane	
		v odvisnosti od pretoka	s pomočjo programa Bed Load Analyser
5.01.2022	14	53	391
15.02.2022	2	8	179
19.02.2022	17	8	179
21.02.2022	7	8	179
25.02.2022	3	6	156
30.03.2022	2	6	156
31.03.2022	8	6	156
31.03.2022	3	7	175
31.03.2022	29	11	232
1.04.2022	9	10	216
1.04.2022	6	8	178
2.04.2022	92	60	359

Relativno dobro ujemanje med merjenimi in izračunanimi vrednostmi suspendiranih snovi je bolj razvidno z grafa. Pri izračunanih vrednostih zopet vidimo le nekoliko manj nihanj.



Slika 37: Grafikon primerjave izmerjenih in izračunanih vrednosti suspendiranih snovi.

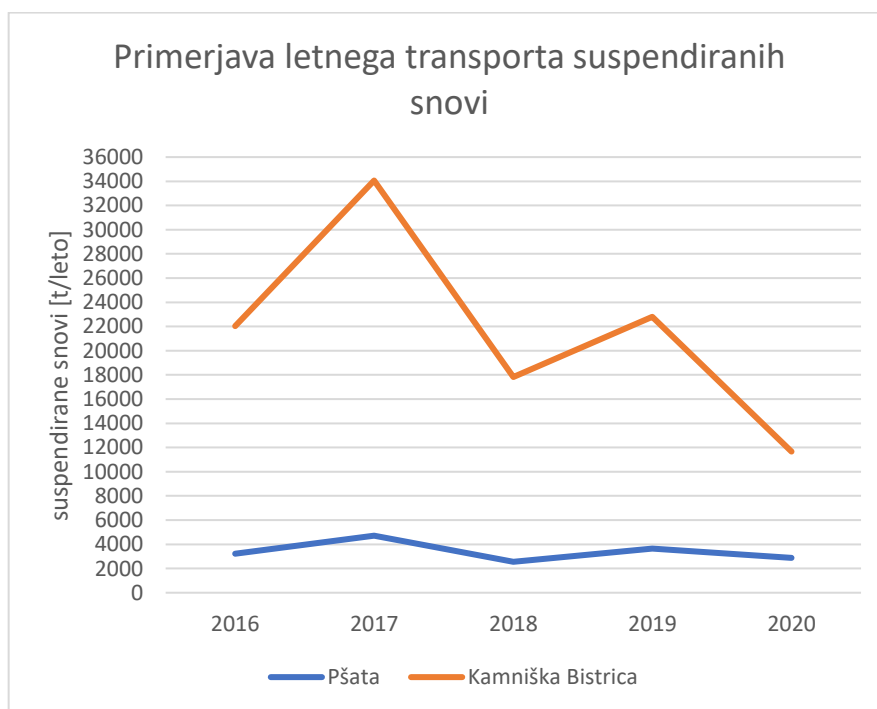
Na enak način kot pri vodotoku Pšata, sem tudi tu s pomočjo prej opisane enačbe $Y = 7,9405X + 2,423$ (Slika 33) ter s podatki povprečnih dnevnih pretokov za leta od 2016 do 2020 (ARSO, 2022a), izračunal še letne količine transportiranih suspendiranih snovi za obravnavana obdobja. Omenjena enačba mi sicer da rezultat v enotah [mg/l], tega sem nato pomnožil s pretokom, ter na koncu še uredil enote. Rezultate sem namreč želel prikazati v enotah [t/dan], ki sem jih na koncu med seboj seštel, ter dobil letno količino suspendiranih snovi [t/leto] (Preglednica 9).

V obravnavanem obdobju petih let sem izračunal tudi nekaj ekstremno velikih vrednost suspendiranih snovi, ki so med drugim presegale 500 mg/l. Ker je bila moja najvišja izmerjena vrednost 92 mg/l (pri Pšati 157 mg/l), sem moral preveriti, če je taka vrednost sploh realna, ali le napaka izračuna. Ugotovil sem, da se take vrednosti lahko pojavijo (Ulaga, 2019). potrebno je poudariti, da so izračuni, ki so prikazani v spodnji preglednici (Preglednica 9), zgolj groba ocena dejanskega stanja in da bi za bolj zanesljive ocene potrebovali zvezne meritve motnosti.

Preglednica 9: Letne količine transportiranih suspendiranih snovi, z območja merilne postaje Vir na Kamniški Bistrici.

leto	suspendirane snovi [t/leto]
2016	22046,7
2017	34063,0
2018	17827,8
2019	22795,6
2020	11664,8

Za lažjo primerjavo izračunanih letnih količin suspendiranih snovi, sem podatke izračunane za Pšato (Preglednica 5) in Kamniško Bistrico (Preglednica 9) združil na skupni graf spodaj (Slika 38). Na njem so dobro razvidne podobnosti med njunima nihanjema. To je bilo pričakovano, saj so količine suspendiranih snovi v obravnavanih rekah, v prvi vrsti odvisne od pretokov, ti pa od padavin. Reki oziroma mesti vzorčenja sta namreč precej blizu drug drugemu, torej je tudi časovna razporeditev padavin tam podobna. Večja razlika je le v velikosti vrednosti suspendiranih snovi na vodotokoma. Te vrednosti Kamniške Bistrice so v primerjavi z vrednostmi Pšate večje kar do 7-krat. Glavni razlog za to je predvsem razlika velikosti njunih pretokov in porečji. Kamniška Bistrica ima namreč pretok ter tudi porečje več kot 3-krat večjega kot Pšata. Poleg tega se tudi iz prispevnega območja Kamniške Bistrice povprečno izpirajo večje količine materiala. Povprečen doprinos enega km² prispevne površine na količino suspendiranih snovi za Kamniško Bistrico je 40,9 t/leto/km², za Pšato pa le 24,5 t/leto/km² (ARSO, 2022a; ARSO, 2022b).



Slika 38: Grafikon primerjave letnega transporta suspendiranih snovi med Pšato in Kamniško Bistrico v [t/leto].

3.2.2 Enodnevno vzorčenje suspendiranih snovi

Na vsakem od osmih vzorčnih mest na Kamniški Bistrici, sem poskusil vzeti po 3 vzorce, enega na levem in desnem bregu, ter enega na sredini, z mostu. Vendar zaradi različnih okoliščin na terenu, to na vseh lokacijah ni bilo mogoče.

Rezultati meritev se s pričakovanji načeloma ujemajo, vendar ne pa povsem. Povprečje suspendiranih snovi se dolvodno povečuje kar sem pričakoval. Edina stvar, ki me je presenetila je ta, da so vrednosti suspendiranih snovi na sredini rečnega toka manjše kot ob bregovih. Načeloma namreč velja, da je največja količina suspendiranih snovi v sredini, v matici toka. Tam je tok najhitrejši, torej ima sposobnost prenašanja največjih količin sedimentov. Da rezultati tega ne prikažejo, je bila skoraj zagotovo kriva napaka pri odvzemu vzorcev. Te sem namreč z mostov zajemal le z lahkim vedrom, ki se ni potopilo do matice toka, temveč je vzorec zajelo le z gladine. Tam pa je voda malo manj motna. Poleg tega je zelo težko izvesti izokinetičen odzem vzorca lebdečih plavin iz matice toka (torej na način, ki bi čim manj motil tok vode). Pri zajemanju z vedrom namreč pride do izpiranja lebdečih plavin.

Preglednica 10: Prikaz vrednosti suspendiranih snovi na različnih vzorčnih mestih (2.5.2021).

zap. št. vzorca (od izvira proti izlivu)	mesto odvzema vzorca			povprečje suspendiranih snovi [mg/l]
	levi breg [mg/l]	sredina [mg/l]	desni breg [mg/l]	
1	26			26
2		84	76	80
3			96	96
4	97	88	98	94
5	108	95	115	106
6	112	98		110
7	122		125	124
8	127			127

Povprečnim vrednostim suspendiranih snovi, izračunanih v prejšnji preglednici (Preglednica 10), sedaj pripišem še pretoke izmerjene na bližnjih Arsovih vodomernih postajah (Preglednica 11). Tukaj hitro opazimo, da pretok ne narašča, vendar pada. Razlog za ta pojav so že večkrat omenjene mlinščice, ki vodo iz glavne struge na večjih mestih odvajajo. Kljub temu, da sem ta razlog poznal, so me vrednosti pretokov vseeno nekoliko presenetile. Saj kljub temu, da je mlinščic veliko, se te načeloma izlivajo neposredno nazaj v strugo Kamniške Bistrice. Poleg tega pa ima reka tudi več pritokov zaradi katerih bi moral njen pretok po mojem mnenju, kljub temu naraščati.

Preglednica 11: Suspendirane snovi in pretoki (2. 5. 2021).

zaporedno število vzorca (od izvira proti izlivu)	povprečje suspendiranih snovi [mg/l]	pretoki [m³/s]
1	26	38,9
2	80	
3	96	
4	94	38,9
5	106	
6	110	33,9
7	124	33
8	127	

Na podlagi izmerjenih pretokov iz zgornje preglednice (Preglednica 11), v naslednji (Preglednica 12) logično določim še manjkajoče pretoke. Z njimi in z vrednostmi povprečnih suspendiranih snovi v [mg/l], za vsako vzorčno mesto sedaj izračunam še vrednosti suspendiranih snovi v enotah [kg/s]. V slednjih si je količino transporta suspendiranih snovi namreč lažje predstavljati.

Preglednica 12: Suspendirane snovi in pretoki z dodanimi manjkajočimi vrednostmi v sivih poljih (2. 5. 2021).

zaporedno število vzorca (od izvira proti izlivu)	povprečje suspendiranih snovi [mg/l]	pretoki [m³/s]	suspendirane snovi [kg/s]
1	26	38,9	1
2	80	38,9	3,1
3	96	38,9	3,7
4	94	38,9	3,7
5	106	35	3,7
6	110	33,9	3,7
7	124	33	4,1
8	127	33	4,2

3.2.3 Linijska analiza

Rezultati opravljene linijske meritve so prikazani v spodnji preglednici. Rezultati predstavljajo število prodnikov in njihove dolžine. Prodnikov je bilo na obravnavani razdalji dveh metrov 171. Torej je povprečna vzdolžna dimenzija prodnika 1,17 cm, večino vzorca pa so kljub temu predstavljali peski dimenzij okoli 2 mm. Od 171 zrn v vzorcu, je namreč peskov kar 123. Številčno to predstavlja velik del vzorca, vendar pa bi bila slika masnega deleža peska v vzorcu zaradi njegove majhnosti popolnoma drugačna. To se lahko razbere tudi s Fullerjeve

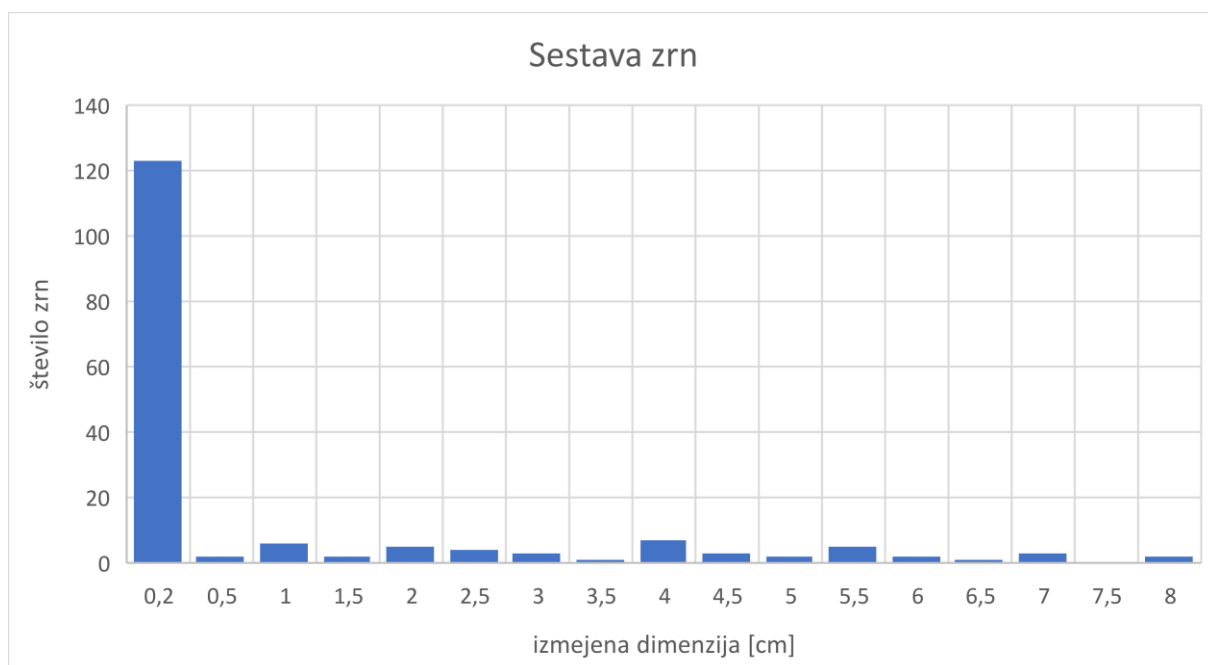
zrnavostne krivulje (Slika 40). Dobljeni rezultati linijske analize so predstavljeni v spodnjih dveh preglednicah (Preglednica 13 in Preglednica 14) in grafu (Slika 39).

Preglednica 13: Predstavljene vrednosti dolžin prodnikov izmerjene z linijsko analizo.

zap. št. prodnika	izmerjena dimenzija [cm]	zap. št. prodnika	izmerjena dimenzija [cm]
1	5	99-114	0,2
2	4	115	2
3	4,5	116-126	0,2
4	8	127	4
5	2	128	2
6	2,5	129	7
7	1,5	130	5,5
8	0,5	131	2
9	5,5	132	1
10	4	133	2,5
11-36	0,2	134	1
37	7	135	6,5
38	2	136	3
39	2,5	137	4
40	5,5	138	4
41	6	139	1
42	4,5	140-150	0,2
43	4	151	3
44	4	152-162	0,2
45	3,5	163	1
46	1	164	5,5
47	5	165	8
48-58	0,2	166	4,5
59	2,5	167	7
60-70	0,2	168	1,5
71	6	169	3
72-97	0,2	170	5,5
98	1	171	0,5

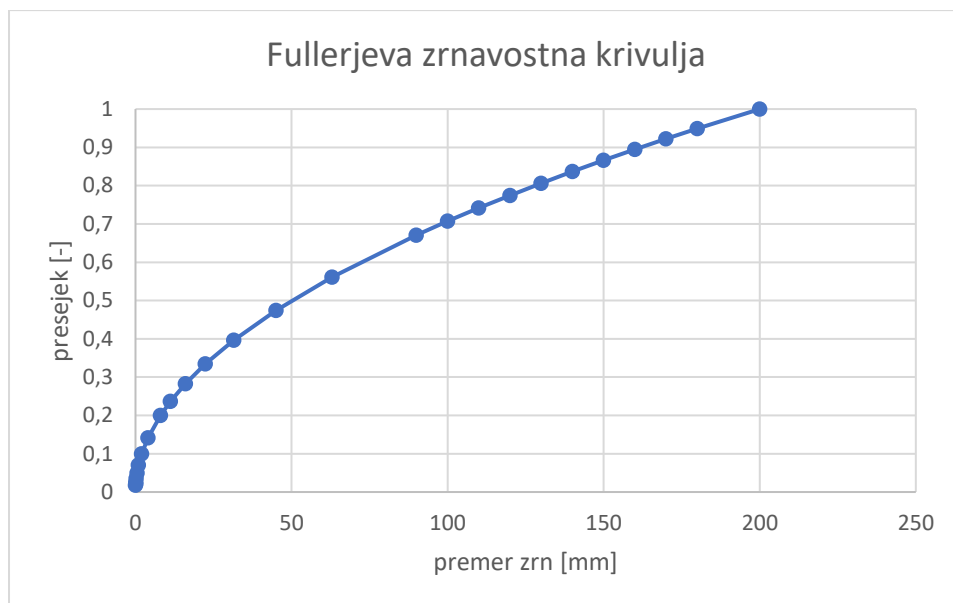
Preglednica 14: Po velikosti urejene vrednosti dolžin zrn izmerjene z linijsko analizo.

izmerjena dimenzija [cm]	število zrn
0,2	123
0,5	2
1	6
1,5	2
2	5
2,5	4
3	3
3,5	1
4	7
4,5	3
5	2
5,5	5
6	2
6,5	1
7	3
7,5	0
8	2



Slika 39: Grafikon vrednosti dolžin zrn izmerjene z linijsko analizo.

Prikaz sestave vzorca linijske analize s Fullerjevo zrnavostno krivuljo je prikazan spodaj (Slika 40).



Slika 40: Grafikon Fullerjeve zrnavostne krivulje.

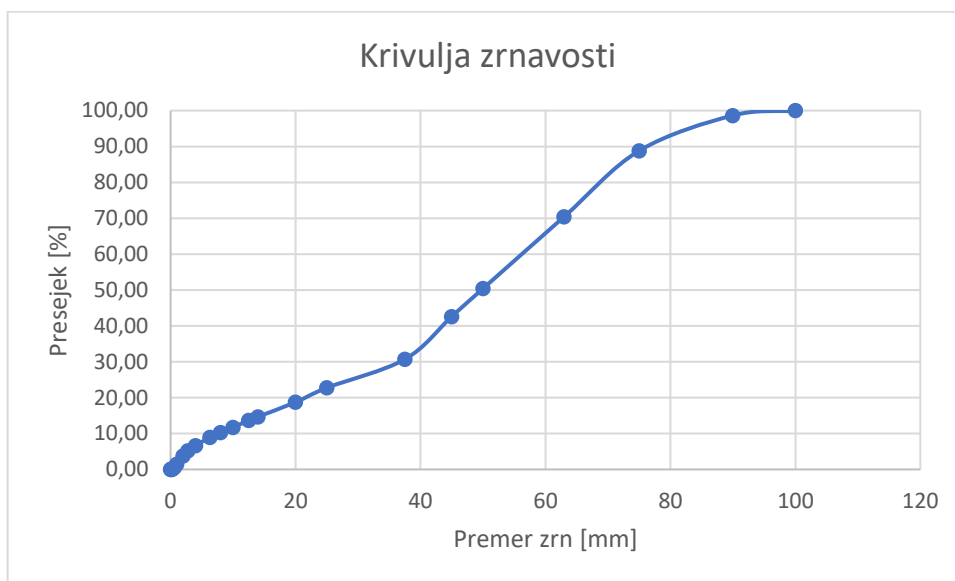
3.2.4 Sejalna analiza

V spodnjih dveh preglednicah (Preglednica 15 in Preglednica 16) in grafih (Slika 41 in Slika 42) so predstavljeni rezultati zrnavostne sestave vzorca odvzetega iz 1 m² površine prodišča Kamniške Bistrice (prodišče št. 1).

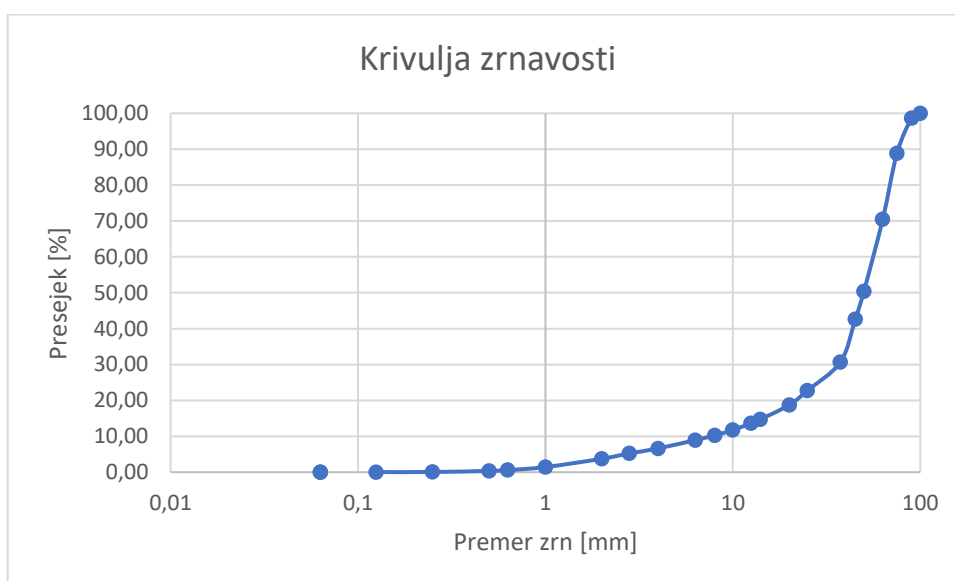
Preglednica 15: Rezultati sejalne analize vzorca s prodišča št. 1.

Velikost sita [mm]	Masa na situ [g]	Masa na situ [%]	Odsejek [%]	Presejek [%]
100	0	0	0	100
90	1036,37	1,35	1,35	98,65
75	7518,77	9,83	11,18	88,82
63	14058,87	18,37	29,55	70,45
50	15338,49	20,04	49,59	50,41
45	5952,38	7,78	57,37	42,63
37,5	9130,45	11,93	69,3	30,7
25	6076,44	7,94	77,24	22,76
20	3079,44	4,02	81,27	18,73
14	3083,18	4,03	85,3	14,7
12,5	798,67	1,04	86,34	13,66
10	1468,7	1,92	88,26	11,74
8	1124,33	1,47	89,73	10,27
6,3	1016,81	1,33	91,06	8,94
4	1774,87	2,32	93,38	6,62

2,8	1074,95	1,4	94,78	5,22
2	1134,49	1,48	96,27	3,73
1	1772,83	2,32	98,58	1,42
0,63	643,37	0,84	99,42	0,58
0,5	173,32	0,23	99,65	0,35
0,25	233,01	0,3	99,95	0,05
0,125	20,6	0,03	99,98	0,02
0,063	8,27	0,01	99,99	0,01
0	6,51	0,01	100	0
Σ	76525,12	100		



Slika 41: Grafikon krivulje zrnivosti vzorca s prodišča št. 1.



Slika 42: Grafikon logaritmične krivulje zrnivosti vzorca s prodišča št. 1.

V spodnji preglednici (Preglednica 16) sem zrna razdelil v štiri različne zrnavostne razrede, ki so bili prisotni v vzorcu. Pri razvrščanju sem se zgledoval po delitvi, ki se v Sloveniji uporablja v Hidrotehnični in hudourniški praksi. Največji zrnavostni razred v omenjeni delitvi je groblja. Vanj spadajo zrna velikosti 120 mm ali več. Naslednji razred je grušč, v katerem so zrna velikosti med 2 in 60 mm. Temu sledi pesek z zrn velikosti med 0,06 in 2 mm. Zadnji dve skupini pa sta melj z zrn med 0,002 in 0,06 mm, ter glina kamor spadajo zrna manjša od 0,002 mm (Mikoš, 2007). Kot je razvidno iz preglednice, v vzorcu ni bilo zrn velikostnega razreda groblja. Torej največja vzorčena zrna spadajo v grušč, ter predstavljajo 29,55% mase vzorca. Naslednji in tudi masno največji razred s 65,23% predstavlja prod. Razred peska je precej manjši in predstavlja le 5,21% mase vzorca. Presejek skozi moje zadnje 0,063 mm sito zajema zrna melja in gline. Tu sem s sejanjem zaključil, saj se mi ločevanje melja ter gline zaradi majhne količine materiala ni več zdelo smiselno. Skupno delci melja in gline namreč predstavljajo le 0,01% mase vzorca.

Preglednica 16: Prikaz sestave vzorca.

Velikost sita [mm]	Masa na situ [g]	Masa na situ [%]	
100	0	0	grušč
90	1036,37	1,35	$\Sigma = 29,55\%$
75	7518,77	9,83	
63	14058,87	18,37	
50	15338,49	20,04	prod
45	5952,38	7,78	$\Sigma = 65,23\%$
37,5	9130,45	11,93	
25	6076,44	7,94	
20	3079,44	4,02	
14	3083,18	4,03	
12,5	798,67	1,04	
10	1468,7	1,92	
8	1124,33	1,47	
6,3	1016,81	1,33	
4	1774,87	2,32	
2,8	1074,95	1,4	
2	1134,49	1,48	pesek
1	1772,83	2,32	$\Sigma = 5,21\%$
0,63	643,37	0,84	
0,5	173,32	0,23	
0,25	233,01	0,3	
0,125	20,6	0,03	
0,063	8,27	0,01	
0	6,51	0,01	melj in glina
			$\Sigma = 0,01\%$

Pridobljene rezultate sejalne analize sem uporabil v programu Bed Load Analyser (poglavje 2.3.1.3 Sejalna analiza).

Program mi je količino transporta sedimentov izračunal po treh različnih izbranih metodah (Preglednica 17), zato se rezultati med njimi seveda ne ujemajo povsem. Te metode so: Mayer-Peter Mueller (Mayer-Peter, Müller, 1948) in Wu et al (Wu, Wang, Jia, 2000), ti dve metodi računata le količino rinjenih plavin, ter metoda Yang (Yang, 1979), ki poda celotno količino transportiranih sedimentov, se pravi poleg rinjenih še suspendirane. Torej je za pričakovati, da dobimo najvišje rezultate pri metodi Yang, kar pa drži le za manjše pretoke. Pri večjih pa nam ta metoda da vrednosti transportiranih snovi celo manjše od obeh prej omenjenih metod. Razlog za take razlike je seveda težek in kompleksen izračun pravih rezultatov, saj je praktično nemogoče v računu upoštevati vse dejavnike, ki v okolju vplivajo na rečni transport sedimentov. Treba je tudi vedeti, da so bile vse uporabljene metode razvite v laboratorijskih pogojih, poleg tega pa velikosti prodnikov v mojem primeru že presegajo priporočljiva območja uporabnosti formul. Torej so izračunane vrednosti precej negotove.

Preglednica 17: Rezultati izračunov transporta sedimentov pri različnih pretokih za izbran odsek vodotoka, po metodah Mayer-Peter Mueller, Wu et al in Yang.

Q=0,5[m ³ /s]		Q=1[m ³ /s]		Q=3[m ³ /s]	
Transport sedimentov [kg/s]		Transport sedimentov [kg/s]		Transport sedimentov [kg/s]	
MPM	0,05	MPM	0,18	MPM	1,1
WU	0	WU	0	WU	0,02
YANG	0,09	YANG	0,25	YANG	1,29

Q=5[m ³ /s]		Q=10[m ³ /s]		Q=15[m ³ /s]	
Transport sedimentov [kg/s]		Transport sedimentov [kg/s]		Transport sedimentov [kg/s]	
MPM	2,74	MPM	10,02	MPM	22,68
WU	0,42	WU	5,13	WU	13,11
YANG	2,72	YANG	7,7	YANG	14,16

Q=30[m ³ /s]		Q=60[m ³ /s]		Q=100[m ³ /s]	
Transport sedimentov [kg/s]		Transport sedimentov [kg/s]		Transport sedimentov [kg/s]	
MPM	80,56	MPM	241,18	MPM	479,79
WU	52,08	WU	167,33	WU	364,56
YANG	47,38	YANG	140,59	YANG	271,45

Poleg zgornjih vrednosti predstavljenih v tabeli, sem transport rinjenih plavin izračunal tudi za pretok 7,19 m³/s. To je bil namreč največji dosežen pretok, ki je nastopil v času moje analize z označevanjem prodnikov (poglavje 3.2.5). Rezultat izračuna po Mayer-Peter Mueller enačbi, mi je podal kot potencialno največjo dimenzijo premaknjenega prodnika 16 mm, rezultat po

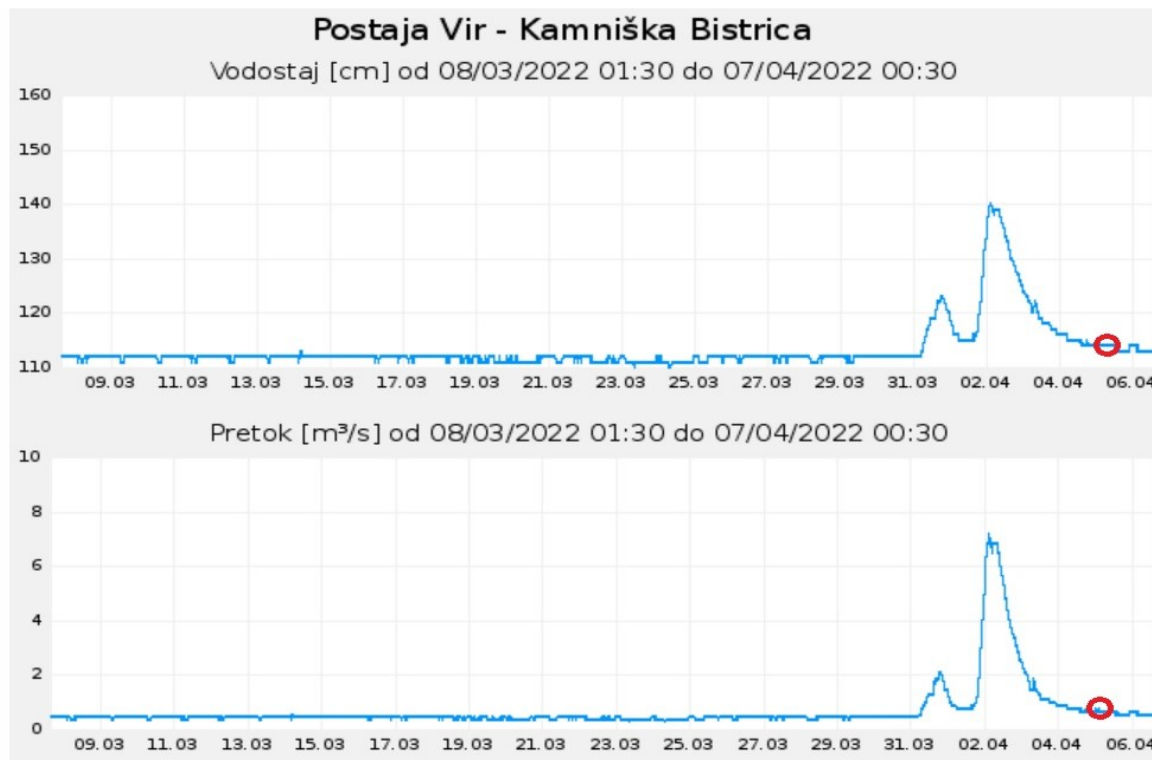
Wu et al pa dimenzijo 99 mm (to je bila tudi največja dimenzija zrna za katerega sem računal). Glede na to, da enačbi dajeta največje potencialne vrednosti premaknjenih prodnikov, bi bilo tekom analize za pričakovati premike prodnikov dimenzij manjših ali enakih 99 mm. Vendar se izračunana vrednost izkaže za premajhno. Največji premaknjeni prodnik v analizi z označevanjem prodnikov je namreč meril kar 190 mm (poglavje 3.2.5).

3.2.5 Analiza z označevanjem prodnikov

Kot že opisano (poglavje 2.3.1.2 Opazovanje transporta rinjenih plavin), sem prodnike 4.3.2022 v času nizkega pretoka pobarval in nastavljal po prodiščih. Ker je bil marec zelo suh mesec, so obilnejše padavine in s tem tudi večji pretoki nastopili šele 31.3.2022, ter trajali do približno 4.4.2022. Precej povišana gladina reke Kamniške Bistrice, v primerjavi z baznim tokom, je trajala dobrih 5 dni. Tekom tega časa, se je njena gladina namreč dvignila z 1,11 m (gladina vode ob nastavljanju prodnikov) na 1,40 m (2.4.2022 ob 12:00). Sprememba pretoka pa je znašala kar 6,8 m³/s in sicer je narasla iz 0,4 m³/s (4.3.2022 ob 14:30) do 7,2 m³/s (2.4.2022 ob 12:00) (to je sicer v primerjavi s poplavnimi dogodki še vedno zelo nizek pretok, ta lahko takrat presega tudi 200 m³/s). Torej se je rečni pretok v tem specifičnem obdobju povečal kar za 18-krat, kar nam še enkrat potrjuje dejstvo o hudourniški karakteristiki Kamniške Bistrice.

V tem času se je reki seveda povečala tudi prodonosnost, tako da sem 5.4.2022 ob 19:00 (Slika 43) opravil pregled nastavljenih pobarvanih prodnikov. Zanimalo me je na katerih lokacijah so se prodniki najbolj premaknili, v katere smeri in kako veliki so ti premiki bili. Preveriti sem prav tako želel, kako se karakteristike premikov razlikujejo glede na prodnike različnih dimenzij.

Vendar se je že v začetku treba zavedati, da je premik posameznih prodnikov na določeni lokaciji zelo močno pogojen s številnimi dejavniki (njihovo obliko, izpostavljenosti vodnemu toku, lastnostim vodnega toka itd.).



Slika 43: Na spodnjem in zgornjem grafu sta označena vodostaj in pretok Kamniške Bistrice v času pregleda pobarvanih prodnikov (prirejeno po ARSO, 2022c).

3.2.5.1 Prodišče št. 1

S pregledom premostitve prodnikov sem začel na Prodišču Št. 1. Že ob samem prihodu na prodišče so bile spremembe vidne, vendar je bila to najverjetneje posledica še vedno malo višje gladine. Ta je bila ob času pregleda prodnikov (5.4.2022) 3 cm višja, kot ob času njihovega barvanja in nastavljanja (4.3.2022). To je tudi lepo prikazano na spodnjih slikah (Slika 44 in Slika 45).

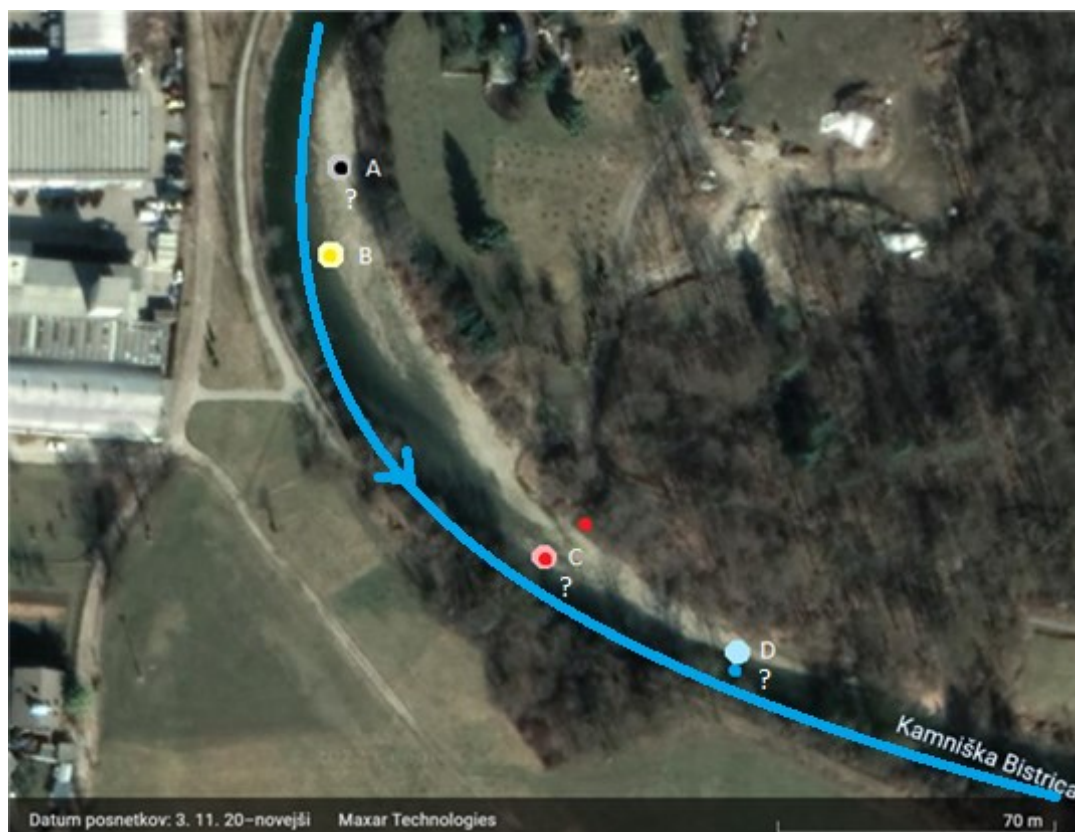


Slika 44: Levo slika severnega dela prodišča št. 1 posneta 4.3.2022, desno slika severnega dela prodišča št. 1 posneta 5.4.2022.



Slika 45: Levo slika južnega dela prodišča št. 1 posneta 4.3.2022, desno slika južnega dela prodišča št. 1 posneta 5.4.2022.

Spodaj (Slika 46) je prikazano prodišče št. 1 z lokacijami označenih prodnikov pred in po dogodku.



Slika 46: Prodišče št. 1 s prikazanimi lokacijami prodnikov ter smerjo toka reke. Večje svetle pike prikazujejo začetne lokacije, manjše temnejše pa nove. Pri lokacijah, kjer vseh prodnikov po premiku nisem našel, je napisan vprašaj (prirejeno po Google Earth, 2020).

3.2.5.1.1 Lokacija A

Črno pobarvani prodniki, ki sem jih 3.4.2022 postavil na kopno v osrednji del telesa prodišča, 8 m oddaljene od vodnega toka, so bili (sta bila) ob pregledu 5.4.2022 na isti lokaciji, vendar pod vodo (Slika 47 in Slika 48). Torej sem 2 prodnika in sicer najmanjšega (4X3 cm) in drugega največjega (11X8 cm) našel na isti lokaciji; se nista premaknila. Preostalih dveh prodnikov (15X9 cm in 8X5 cm) pa nisem našel. Ta rezultat se ni skladal z mojo hipotezo (poglavje Hipoteze), saj sem sam predvideval, da bo rečni tok v tem delu prereza struge prešibak za premike nastavljenih prodnikov.

Kot en izmed dejavnikov za to, da dveh prodnikov nisem našel, bi zagotovo lahko bila neprimerna zbira barve prodnikov. Te sem namreč označil s črno, ki ni dovolj izstopajoča barva in je v naravnem okolju težko opazna.



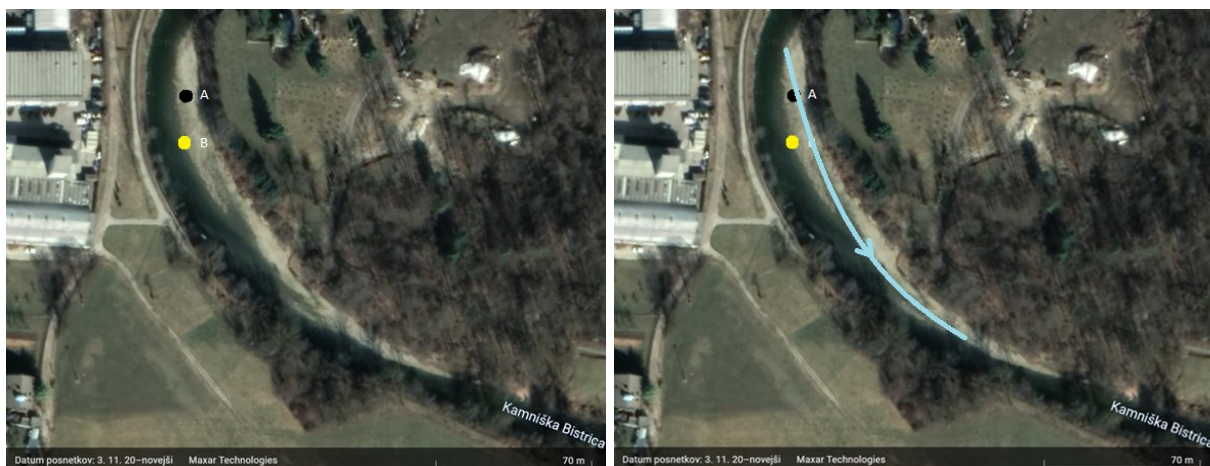
Slika 47: Tlorisni prikaz prodnikov na lokaciji A, levo pred in desno po dogodku.



Slika 48: Prikaz prodnikov na lokaciji A, levo pred in desno po dogodku.

3.2.5.1.2 Lokacija B

Rezultat z lokacije B, je bil zame veliko presenečenje. Vse prodnike sem imel nastavljene tik ob robu vodnega toka, ter sem pričakoval premike vsaj najmanjših dveh prodnikov. Vendar do tega ni prišlo, vsi štirje so ostali na mestih kjer sem jih odložil (Slika 50 in Slika 51). Zanimiva je tudi primerjava s prodniki iz lokacije A, saj ti ležijo relativno blizu lokacije B, vendar še precej bolj znotraj telesa prodišča, ampak je do premikov tam prišlo. Iz tega lahko sklepam, da se ob višjih vodostajih na obravnavanem rečnem odseku pojavi neke vrste stranski rečni tok. Ta teče po notranji strani rečnega zavoja čez lokacijo A, lokacijo B pa potemtakem zaobide. Lokacija B je torej locirana ravno na nekakšnem »otoku« oziroma delu rečnega prereza, kjer ima reka manjšo prodonosnost, saj desno od lokacije B poteka glavni rečni tok, levo pa stranski. Še eno dejstvo, ki to teorijo potrjuje je tudi ortofoto posnetek, kjer so vidni obrisi, kjer bi lahko stranski tok potekal (Slika 49).



Slika 49: Prikaz možnega poteka močnejšega stranskega toka ob času večjih pretokov (prirejeno po Google Earth, 2020).



Slika 50: Tlorisni prikaz prodnikov na lokaciji B, levo pred in desno po dogodku.



Slika 51: Prikaz prodnikov na lokaciji B, levo pred in desno po dogodku.

3.2.5.1.3 Lokacija C

Tudi rezultat rdeče obarvanih prodnikov iz lokacije C je bil dokaj nepričakovan (Slika 52 in Slika 53). Ne premaknjena sta na svojih mestih ostala najmanjša prodnika (5X5 cm in 3X3 cm). Razlog za to, predvidevam, da je izbira neprimerne oblike prodnikov. Omenjena prodnika sta namreč dokaj ploščata, torej ju rečni tok pritiska le preko sorazmerno majhne površine. Poleg tega sem opazil, da sta se tudi nekako »ugnezдила« med okoliške prodnike, tako da je bil njun premik še težji.

Premik največjega izmed prodnikov (17X10 cm) je zagotovo delo človeka in ne reke. Verjetno je živo obarvani prodnik »kazil« podobo prodišča, zato ga je nekdo odmaknil na gozdno brežino. Torej kakšen meter stran od zunanjšega robu prodišča, ter 14 m, pravokotno glede na tok, stran od lokacije, kjer sem ga pustil jaz. Iz omenjenega razloga premika tega prodnika ne bom upošteval.

Drugega največjega prodnika (10X6 cm) nisem našel.



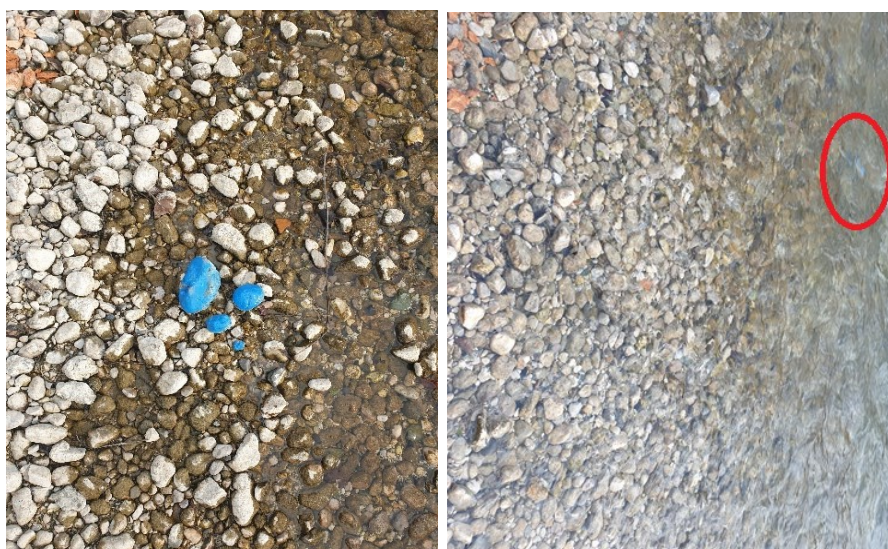
Slika 52: Tlorisni prikaz prodnikov na lokaciji C, levo pred in desno po dogodku.



Slika 53: Prikaz prodnikov na lokaciji C, levo pred in desno po dogodku.

3.2.5.1.4 Lokacija D

Na lokaciji D so se vsi modro obarvani prodniki premaknili (Slika 54 in Slika 55). Lokacija D je bila postavljena na južni del prodišča št. 1, ob katerem je rečni tok (v obravnavanem odseku) najožji in najbolj globok. Že samo iz tih dveh lastnosti toka, bi bilo mogoče sklepati in napovedati premike, torej je bil tak rezultat pričakovan. Vendar mi je prav zaradi večje globine toka, uspelo najti le en, največji prodnik (17X11 cm). Od začetne lokacije je bil oddaljen 3 m v pravokotni smeri na tok in 1 m dolvodno. Ker je bil že ta v visoki vodi zelo težko viden, sklepam da je ostale prodnike premaknilo še globlje ter še bolj dolvodno.



Slika 54: Tlorisni prikaz prodnikov na lokaciji D, levo pred in desno po dogodku.



Slika 55: Prikaz prodnikov na lokaciji D, levo pred in desno po dogodku.

3.2.5.2 Homško prodišče

Prikaz homškega prodišča z lokacijami označenih prodnikov pred in po dogodku (Slika 56).

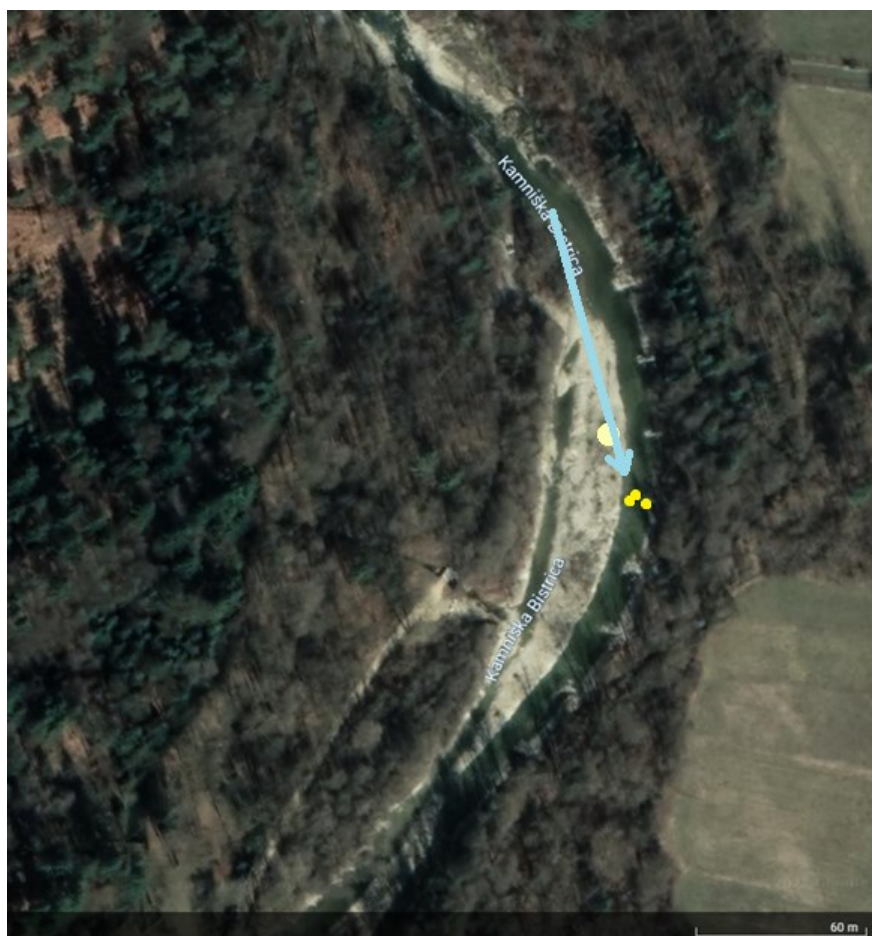


Slika 56: Homško prodišče s prikazanimi lokacijami prodnikov ter smerjo toka reke. Večje svetle pike prikazujejo začetne lokacije, manjše temnejše pa nove. Pri lokacijah, kjer vseh prodnikov po premiku nisem našel, je napisan vprašaj (prirejeno po Google Earth, 2020).

3.2.5.2.1 Lokacija E

Rumeno obarvani prodniki z lokacije E, so bili v nasprotju s pričakovanji deležni velikih premikov (Slika 58). Premiki prodnikov te skupine so bili celo najvidnejši. Največja 2 prodnika (16X11 cm in 11X9 cm) sta se premaknila 12 m dolvodno, s sredine telesa prodišča ju je prestavilo tudi 1,5 m globoko (razdalja od robu prodišča do prodnikov) v območje glavnega toka. Naslednji manjši prodnik (7X5 cm) je bil deležen premikov v enakih smereh, le da se je ta prestavil 13 m dolvodno, potegnilo pa ga je tudi v nekoliko bolj globoko vodo kot večja dva. Najmanjšega prodnika nisem našel.

Homško prodišče, ki leži v rečnem zavoju, je oblikovano kot nekakšen »otok«. Ob levi strani namreč teče glavni rečni tok, medtem ko ga po desni, notranji strani zavoja, zaobjema stranski. Glede na to, da je prodnike premaknilo relativno daleč, lahko sklepam, da ima Kamniška Bistrica v času višjih vod, ob vstopu v obravnavani rečni zavojev veliko moč tudi na bolj notranji strani zavoja, izven glavne struge. Oziroma lahko reka v zavojev vstopa bolj »direktno« (Slika 57).



Slika 57: Prikaz poteka toka ob času večjih pretokov (prirejeno po Google Earth, 2020).



Slika 58: Tlorisni prikaz prodnikov na lokaciji E, levo pred in desno po dogodku.

3.2.5.2.2 Lokacija F

Na lokaciji F so se, kljub njeni poziciji ob stranskem toku, premaknili vsi prodniki (Slika 59). Toda gre priznati, da so bili ti premiki manjši, ter nekateri celo rahlo nelogični. Premiki vseh prodnikov, razen drugega najmanjšega, so bili pravokotni na smer toka. Torej so se, ker je brežina stranskega toka strmejša, le skotalili vanjo. Največja prodnika (16X11 cm in 11X9 cm) sta se premaknila za 1 m, najmanjši (4X3 cm) pa za 25 cm. Zanimivost pri premiku najmanjšega prodnika je ta, da se je poleg premika proti sredini stranskega toka, premaknil tudi za 20 cm gorvodno. Iz tega sklepam, da je bil tok v tem delu relativno šibak. Bil je dovolj močan le za destabilizacijo prodnikov, nato pa so se ti po zakonu gravitacije zakotalili na nižjo lego. Torej je razlog za premik najmanjšega prodnika gorvodno, le taka oblika terena. Premik drugega najmanjšega prodnika (7X5 cm) je popolnoma v nasprotju s pričakovanji in logičnim sklepanjem. Ta se je namreč premaknil 10 m gorvodno, ter z roba prodišča na njegovo sredino. Sklepam, da je za ta premik kriv človeški dejavnik.



Slika 59: Prikaz prodnikov na lokaciji F, levo pred ter na sredini in desno po dogodku.

3.2.5.2.3 Lokacija G

Lokacija G se nahaja na najjužnejšem delu homškega prodišča, ob sotočju glavnega in stranskega rečnega toka.

Po obdobju visokih vod so se premaknili vsi prodniki, razen najmanjšega (4X3 cm) (Slika 60). Ta je še vedno ostal na svojem mestu, vzrok za to pa je verjetno zopet v njegovi nekoliko bolj ploščati obliki, ki premikom ni toliko podvržena kot okrogla. Največji izmed obarvanih rdečih prodnikov (19X9 cm), se je pomaknil 13 m dolvodno in sicer po strugi stranskega in ne glavnega toka (Slika 61). Premik drugega največjega prodnika (10X7 cm) je zopet, podobno kot premik drugega najmanjšega modrega prodnika, popolnoma v nasprotju s pričakovanji. Ta se je namreč po stranski strugi gorvodno premaknil za 12 m, praktično vse do lokacije F (Slika 60). Ta premik se mi zdi izjemno čuden in bi znova najraje zanj okrivil človeški dejavnik. Drugega najmanjšega prodnika (6X6 cm) nisem našel.



Slika 60: Tlorisni prikaz prodnikov na lokaciji G, levo pred ter na sredini in desno po dogodku.



Slika 61: Nova lokacija največjega izmed prodnikov na lokaciji G.

4 ZAKLJUČEK

Cilj diplomske naloge mi je predstavljala določitev povezave med dnevnimi padavinami in pretokom na eni strani, s količino suspendiranih snovi na drugi. Ker ima vsaka reka svoje značilnosti glede njenih pretokov, prispevnih območji in ostalih vplivov, sem omenjeni povezavi iskal ločeno na vodotoku Pšata in na vodotoku Kamniška Bistrica.

Pridobivanje podatkov na katerih temelji moje delo se je pričelo z zbiranjem vzorcev vode na terenu ter opravljanjem meritev v laboratoriju. Na tak način sem pridobil podatke o količinah suspendiranih snovi. Vrednosti rečnih pretokov sem pridobil s spletne strani ARSO, vrednosti dnevnih pretokov pa s strani Meteo. Na podlagi le teh sem v programu Excel med njimi določil korelacije in formulo s katero lahko ob znanih pretokih (ali dnevnih padavina) določimo količino suspendiranih snovi v reki.

Ugotovil sem, da je ujemanje med pretoki in suspendiranimi snovmi na Kamniški Bistrici nekoliko večje kot pri Pšati. Pri korelaciji med dnevnimi padavinami in suspendiranimi snovmi pa je slika drugačna. Korelacija je bila v primerjavi s tisto med pretoki in suspendiranimi snovmi, zaradi še več dejavnikov, ki vplivajo na odtok padavin pričakovano nižja. Tu je povezava v primeru Kamniške Bistrice komaj zaznavna.

Z uporabo formule, pridobljene s korelacijo med pretoki ter suspendiranimi snovmi, sem na podlagi vrednosti dnevnih povprečnih pretokov izračunal količino transportiranih suspendiranih snovi. Računal sem za obdobje 5-ih let in sicer od leta 2016 do 2020. Izračunal sem, da so vrednosti v Kamniški Bistrici bistveno višje kot pri Pšati. Kamniška Bistrica namreč že samo zaradi večjih pretokov in večje prispevne površine transportira (skozi odsek pri vodomerni postaji Vir) veliko večje količine suspendiranega materiala kot Pšata (skozi odsek pri vodomerni postaji Topole). Zato sem izračunane vrednosti delil z velikostmi prispevnih površin. Tako sem dobil povprečen doprinos enega km² prispevne površine na količino suspendiranih snovi. Ta podatek je namreč med vodotokoma, kjer ima en skoraj 4-krat večje prispevno območje kot drugi, bolj primerljiv. Vendar ima tudi tukaj Kamniška Bistrica dosti višje vrednosti. Te zanjo znašajo 40,9 t/leto/km² (vrednosti povprečnega pretoka ter povprečne količine suspendiranih snovi sta vzeti z vodomerne postaje Vir), za Pšato pa le 24,5 t/leto/km² (vrednosti povprečnega pretoka ter povprečne količine suspendiranih snovi sta vzeti z vodomerne postaje Topole). Vendar, ko primerjamo izračunana podatka z vrednostmi nekaterih drugih slovenskih vodotokov (Idrijca (Hotešk), Soča (Kobarid), Savinja (Veliko Širje) in Kuzlovec), ugotovimo, da sta vrednosti zelo nizki. Vrednosti vseh štirih omenjenih vodotokov se namreč gibljejo okoli 100 t/leto/km² (Bezák in sod. 2015). Razlog za tako razliko bi lahko bil

v različni rabi tal na prispevnih območjih. Vzrok pa je lahko popolnoma drug, na primer premajhna količina izmerjenih podatkov na Kamniški Bistrici in Pšati, s katerimi bi lahko podajali zanesljivejše rezultate.

V hipotezi sem v uvodu naloge predvideval količine suspendiranih snovi prisotnih v času nizkih tokov, ki so se izkazale za precej točne. Ob nizkih vodostajih se vrednosti namreč res gibajo okoli vrednosti 5 mg/l. To velja tako za Pšato, kot tudi Kamniško Bistrico. Tudi napoved pri enodnevnem vzorčenju Kamniške Bistrice vzdolž toka je bila pravilna. Tam so namreč vrednosti suspendiranih snovi praviloma rasle na vsaki naslednji vzorčni točki. Kar me je presenetilo, pa je bilo to, da se je sam rečni pretok dolvodno zmanjševal in ne naraščal. Razlog za ta pojav je verjetno gosta mreža mlinščic, ki se napajajo iz glavne struge Kamniške Bistrice. Naslednja hipoteza se je nanašala na rinjene plavine in sicer na premike označenih prodnikov. Predpostavljal sem, da se prodniki v osrednjih delih prodišč ne bodo premaknili, na območjih blizu rečnega toku pa, da se bodo premaknili le manjši. Ta hipoteza je bila načeloma precej približna, saj so premiki močno odvisni od količine padavin v izbranem obdobju, ki jo je težko napovedati. Prav tako so premiki na posamezni lokaciji zelo pogojeni z lokalnimi razmerami, zato neke splošne zaključke ali napovedi zelo težko podamo. A sem bil kljub temu presenečen za primer, ko je na lokaciji E, ki leži v osrednjem delu prodišča prišlo do enih izmed največjih premikov. Na lokaciji B, ki pa je bila locirana tik ob toku, pa premikov sploh ni bilo.

VIRI

ARSO. 2008. Vodna bilanca Slovenije 1971-2000. Preglednica 12: Specifični odtoki in odtočni količniki po hidrometričnih zalednjih 103.

https://www.arso.gov.si/vode/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/vodna%20bilanca/vodna_bilanca.html (Pridobljeno: 3. 4. 2022.)

ARSO. 2022a. Arhiv površinskih voda-dnevne vrednosti. Kamniška Bistrica-Vir.

http://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pov_arhiv_tab.php?p_vodotok=Kamni%C5%A1ka%20Bistrica&p_postaja=4430 (Pridobljeno 22. 3. 2022.)

ARSO. 2022b. Arhiv površinskih voda-dnevne vrednosti. Pšata-Topole.

http://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pov_arhiv_tab.php?p_vodotok=P%C5%A1ata&p_postaja=4570 (Pridobljeno 22. 3. 2022.)

ARSO. 2022c. Podatki samodejnih hidroloških postaj.

<https://www.arso.gov.si/vode/podatki/amp/> (Pridobljeno 2. 4. 2022.)

Bezák, N., Rusjan, S., Petan, S., Sodnik, J., Mikoš, M. 2015. Estimation of soil loss by the WATEM/SEDEM model using an automatic parameter estimation procedure. Environ Earth Sci: str 17.

doi:10.1007/s12665-015-4534-0

Bezák, N., Šraj, M., Mikoš, M. 2013. Pregled meritev vsebnosti suspendiranega materiala v Sloveniji in primer analize podatkov. Gradbeni vestnik 62(12): 274–280.

Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L., Wehberg, J., Wichmann, V., and Bědřich, J. 2015. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4, Geosci. Model Dev., 8, 1991-2007, doi:10.5194/gmd-8-1991-2015. Download.

DR 1900 Hach Portable spectrophotometer. Methods/Procedures. Suspended solids photometric method. 2014.

<https://www.hach.com/dr-1900-hach-portable-spectrophotometer/product-downloads?id=18915675456> (Pridobljeno dne 29. 4. 2022.)

Google Earth. 2020.

<https://earth.google.com/web/@46.17944894,14.60288017,336.10937355a,1777.62174367d,35y,6.08773303h,0.84177404t,0r> (Pridobljeno dne 28. 4. 2022.)

Komac, B., Natek, K., Zorn, M. 2008. Geografski vidiki poplav v Sloveniji. Ljubljana: Založba ZRC: 180 str.

<https://giam.zrc-sazu.si/sites/default/files/9789612540913.pdf> (Pridobljeno 20. 3. 2022.)

Meteo. 2022. Vreme: Arhiv Meritev.

<https://meteo.arso.gov.si/met/sl/app/webmet/#webmet==8Sdwx2bhR2cv0WZ0V2bvEGcw9ydlJWblR3LwVnaz9SYtVmYh9icIFGbt9SaulGdugXbsx3cs9mdl5WahxXYyNGapZXZ8tHZv1WYp5mOnMHbvZXZuIWYnwCchJXYtVGdlJnOn0UQQdSf;> (Pridobljeno 28. 4. 2022.)

Meyer-Peter, E., Müller, R. 1948. Formulas for bed-load transport. Rept 2nd Meeting Int. Assoc. Hydraul. Struct. Res., 39-64. Stockholm

Mikoš, M. 1994. Fluvialna abrazija v prodonosnih vodotokih. 1. del: Terensko raziskovanje procesov in njihov matematični opis. *Gradbeni vestnik* 43(3/4/5): 68–76.

Mikoš, M. 2007. Urejanje vodotokov. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, katedra za splošno hidrotehniko: 364 str.

Mikoš, M. 2012a. Kalnost v rekah kot del erozijsko-sedimentacijskega kroga. *Gradbeni vestnik* 61(6): 129–136.

Mikoš, M. 2012b. Metode terenskih meritev suspendiranih sedimentov. *Gradbeni vestnik* 61(7): 151–158.

Mlinščice. 2017. Visit Domžale.

<http://www.visitdomzale.si/dozivetja/zelena-os-regije/mlinscice> (Pridobljeno 10. 3. 2022.)

O'Connor, D. J. 1976. The concentration of dissolved solids and river flow. *Water Resources Research* 12(2): 279–294.

doi:10.1029/WR012i002p00279

Reinhard, F., Clemens, D. 2013. Bed Load Analyser. Graz. Graz University of Technology.

Rusjan, S., Mikoš, M., Bezak, N. 2015. Vodna erozija v porečju Gradaščice. = Water erosion in the Gradaščica river catchment. *Ujma* 29: 79-84.

http://www.sos112.si/slo/tdocs/ujma/2015/79_84.pdf (Pridobljeno 10. 3. 2022.)

SURS. 2002. Reke, dolge nad 25 km in njihova padavinska območja = Rivers, longer than 25 km, and their catchment areas. 2002.

https://www.stat.si/doc/letopis/2002/01_02/01-12-02.htm (Pridobljeno: 5. 4. 2022.)

Učna pot ob Homški mlinščici. 2017. Visit Domžale.

<http://www.visitdomzale.si/dozivetja/zelena-os-regije/ucna-pot-ob-homski-mlinscici>
(Pridobljeno 10. 3. 2022.)

Uлага, F. 2019. Motnost slovenskih rek leta 2018. = Turbidity of slovenian rivers in 2018. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje. *Ujma* 33: 112-118.

Wikipedija 2019. Pšata.

<https://sl.wikipedia.org/wiki/P%C5%A1ata> (Pridobljeno dne 10. 3. 2022.)

Wikipedija. 2021. Kamniška Bistrica.

[https://sl.wikipedia.org/wiki/Kamni%C5%A1ka_Bistrica_\(reka\)](https://sl.wikipedia.org/wiki/Kamni%C5%A1ka_Bistrica_(reka)) (Pridobljeno dne 10. 3. 2022.)

Wren, D. G., Barkdoll, B. D., Kuhnle, R. A., Derrow, R. W. 2000. Field techniques for suspended-sediment measurement. *Journal of Hydraulic Engineering* 126(2): 97–104.

Wu, W., Wang, S., Jia, Y. 2000. Nonuniform sediment transport in alluvial rivers. *IAHR Journal of Hydraulic Research* 38(6), 427-434.

Yang, C. T. 1979. Unit stream power equations for total load. *Journal of Hydrology* 40, 123-138.

Zakon o vodah. Uradni list RS, št: 67/02, 2/04 – ZZdl-A, 41/04 – ZVO-1, 57/08, 57/12, 100/13, 40/14, 56/15 in 65/20.