

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta  
za gradbeništvo  
in geodezijo



Jamova cesta 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

**DRUGG** – Digitalni repozitorij UL FGG  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Šimon, J., 2016. Analiza premeščanja plavin reke Tolminke. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Mikoš, M. somentor Fazarinc, R.): 110 str.

Datum arhiviranja: 26-08-2016

University  
of Ljubljana

Faculty of  
Civil and Geodetic  
Engineering



Jamova cesta 2  
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

**DRUGG** – The Digital Repository  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Šimon, J., 2016. Analiza premeščanja plavin reke Tolminke. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Mikoš, M., co-supervisor Fazarinc, R.): 110 pp.

Archiving Date: 26-08-2016

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI  
PROGRAM VODARSTVO IN  
KOMUNALNO INŽENIRSTVO

Kandidat:

**JAKOB ŠIMON**

## **ANALIZA PREMEŠČANJA PLAVIN REKE TOLMINKE**

Diplomska naloga št.: 304/VKI

## **ANALYSIS OF SEDIMENT TRANSPORT IN THE TOLMINKA RIVER**

Graduation thesis No.: 304/VKI

**Mentor:**

prof. dr. Matjaž Mikoš

**Somentor:**

viš. pred. mag. Rok Fazarinc

Ljubljana, 23. 08. 2016

## **STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA**

**Stran z napako**

**Vrstica z napako**

**Namesto**

**Naj bo**





Spodaj podpisani/-a študent/-ka \_\_\_\_\_, vpisna številka \_\_\_\_\_, avtor/-ica  
pisnega zaključnega dela študija z naslovom: \_\_\_\_\_

### IZJAVLJAM

1. *Obkrožite eno od variant a) ali b)*

- a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;
- b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, ki jih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija ter je v zahtevanem deležu rezultat mojega samostojnega dela;

2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;

3. da sem pridobil/-a vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil/-a;

4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal/-a v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil/-a soglasje etične komisije;

5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;

6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;

7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V/Na: \_\_\_\_\_

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

Podpis študenta/-ke:

\_\_\_\_\_



## **BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

**UDK:** 556.18:69.034.7(497.4)(043.2)

**Avtor:** Jakob Šimon

**Mentor:** prof. dr. Matjaž Mikoš

**Somentor:** viš. pred. mag. Rok Fazarinc

**Naslov:** Analiza premeščanja plavin reke Tolminke

**Obseg in oprema:** 110 str., 9 pregl., 28 graf., 27 sl.

**Ključne besede:** premeščanje plavin, geologija, petrografija, rinjene plavine, lebdeče plavine, podor, erozija, hidrometrija, oblika zrn, delež zrn, separacija za betone in tampere, mineralni agregat.

### **Izvodček:**

Premeščanje plavin je kompleksen proces, ki bistveno vpliva na vodotoke in jezera ter posledično tudi na njihovo rabo. V diplomski nalogi sem raziskal, v kolikšni meri je potres leta 1998 dejansko vplival na količine premeščenih plavin reke Tolminke glede na ocene. Ker se je kasneje v zgornjem delu doline sprožil še en skalni podor, katerega gradivo znatno prispeva h količini premeščenih plavin, sem natančneje določil njegov doprinos. Na osnovi dveh vzorcev naplavin in dveh vzorcev podornega gradiva sem na podlagi zrnivosti in petrografske sestave ob upoštevanju hidrološke predelave najprej utemeljil možnost razlikovanja plavin glede na njihov izvor. Na geološki karti je namreč razvidna razlika med sestavo podora in drugimi erozijskimi žarišči, ki v večji meri prispevajo h količinam plavin. To dejstvo je bilo kasneje uporabno za ugotavljanje razlike v deležu plavin iz različnih izvorov na podlagi treh vzorcev deponiranih rečnih naplavin iz lovilnih jam v Tolminu, ki so jih izkopal v letu pred ter prvo leto in enajst let po podoru. Te naplavine odvezemajo za potrebe separacije, katere proizvod je certificiran agregat za betone in tampere. Pri tem sem, zaradi različne litologije glede na izvor plavin, na osnovi nihanja indeksa oblike zrn v obdobju od sprožitve podora do leta 2015 z uporabo ugotovitev študije o zrnivosti zemljin določil letni delež podora k skupni prodonosnosti. Del naloge govori tudi o sami separaciji, kjer se obenem izkaže, da imajo izvor plavin in njihove posledične lastnosti bistveno vlogo pri kakovosti agregata in rentabilnosti obrata, na kar vpliva tudi v nalogi opisan žledolom v letu 2014.



## **BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION**

**UDK:** 556.18:69.034.7(497.4)(043.2)  
**Author:** Jakob Šimon  
**Supervisor:** Matjaž Mikoš, Ph.D., Prof.  
**Cosupervisor:** Rok Fazarinc, MSc  
**Title:** Sediment transport analysis for the Tolminka river  
**Scope and tools:** 110 p., 9 tab., 28 diag., 27 fig.  
**Keywords:** Sediment transport, bed-load, suspended load, erosion, deposition, abrasion, attrition, geology, petrography, granulometry, rock fall, hydrometry, particle shape, size distribution, separation plant, aggregates for concrete and tampones.

### **Abstract:**

For my diploma paper I have done research as to what extent the earthquake of 1998 really affected the amounts of transported sediments of the Tolminka River, as compared to estimated figures. Since later on, i.e. after the earthquake an additional rock fall occurred in the upper part of the valley and, in light of the fact that its material has significantly contributed to the amount of the transported sediments, I have taken pains in order to precisely establish the extent of its contribution. Based upon two sediment samples, along with two samples of rock fall material I have, not only on the basis of granulometric and petrographic composition but also having taken into account the hydrologic processing, established the possibility to tell the sediments apart in accordance with their origin. The geological chart reveals the difference between the composition of the rock fall and other erosive sources which largely contribute to the amount of rainfall. The above said fact has later on been applied in order to establish the differences as regards the share of the sediments of various origins, based upon the three samples of deposited river sediments taken from the sediment traps at the town of Tolmin which had been excavated at three different points of time, i.e. a year before the rock fall, the year after the rock fall and eleven years after the rock fall. The sediments have been excavated in order to be used at a separation plant, the product of which is a certified aggregate for various concretes and tampons. I have, due to various types of lithology and with regard to the origin of sediments, established the annual share of rock fall in the total bed-load, in that I have, having applied the findings of the study on granulometric properties of ground samples, considered the oscillation of the index of the shape of grain during the time period from the occurrence of the rock fall and up to 2015. Part of the diploma paper also deals with the separation plant itself and I have found that the origin of the sediments and their consecutive properties have also played an important role as regards the quality of aggregate as well as the profitability of the separation plant, both of which have also been affected by the sleet catastrophe of 2014.



## **ZAHVALA**

Hvala vsem dobrim ljudem tega sveta.





## KAZALO VSEBINE

<b>1</b>	<b>UVOD</b> .....	1
<b>2</b>	<b>TOLMINKA</b> .....	2
<b>2.1</b>	<b>Geografski oris</b> .....	2
<b>2.2</b>	<b>Geologija</b> .....	3
<b>2.3</b>	<b>Morfologija</b> .....	5
<b>2.4</b>	<b>Vegetacija</b> .....	6
2.4.1	Gozdovi .....	6
2.4.2	Žledolom.....	8
<b>2.5</b>	<b>Podnebje</b> .....	14
<b>2.6</b>	<b>Hidrologija Tolminke</b> .....	16
<b>3</b>	<b>SPLOŠNO O PLAVINAH IN NJIHOVEM PREMEŠČANJU</b> .....	22
<b>3.1</b>	<b>Definicije in splošni pojmi</b> .....	22
<b>3.2</b>	<b>Osnove prodnega premika</b> .....	26
<b>3.3</b>	<b>Lebdeče plavine</b> .....	29
<b>3.4</b>	<b>Rinjene plavine</b> .....	30
<b>4</b>	<b>PREMEŠČANJE PLAVIN REKE TOLMINKE</b> .....	32
<b>4.1</b>	<b>Dotok plavin</b> .....	32
<b>4.2</b>	<b>Posledice potresa leta 1998 in vpliv na procese premeščanja plavin</b> .....	35
<b>4.3</b>	<b>Ocena vpliva skalnega podora v planini Polog na premeščanje plavin</b> .....	42
4.3.1	Sejanje vzorcev .....	50
4.3.2	Vzorci .....	52
4.3.3	Interpretacija rezultatov .....	56
4.3.4	Količina lebdečih plavin.....	76
4.3.5	Analiza vzorca kalne vode.....	80
4.3.6	Količina lebdečih plavin po podoru.....	85
4.3.7	Količina rinjenih plavin po podoru.....	87

<b>5</b>	<b>SEPARACIJA GODIČA</b> .....	96
<b>5.1</b>	<b>Splošno o separaciji</b> .....	97
<b>5.2</b>	<b>Certifikat in metode preskušanja</b> .....	98
<b>6</b>	<b>ZAKLJUČEK</b> .....	103
<b>7</b>	<b>VIRI</b> .....	105

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Ocene količine sproščenih hribin po potresu leta 1998 v povirju Tolminke (prirejeno po Mrak, 1999) .....	36
Preglednica 2: Količine plavin za odvzem iz lovilnih jam po načrtu in dejanski odvzem (prirejeno po SENG).....	40
Preglednica 3: Velikost odprtin v stavku sit.....	51
Preglednica 4: Masa vzorca glede na velikost zrn.....	51
Preglednica 5: Gostote drobnozrnatih zemljin (prirejeno po Agriinfo, 2016) .....	83
Preglednica 6: Deleži zrnastih združb in deleži sivih, belih, lapornatih in ostrorobih zrn v vsakem izmed njih .....	89
Preglednica 7: Volumen, ki ga podor prispeva k skupni prodonosnosti .....	93
Preglednica 8: Delež podora v obravnavanem obdobju in povprečna letna prodonosnost.....	94
Preglednica 9: Plan kontrole na izhodnem materialu na separaciji Godiča .....	99

**KAZALO GRAFIKONOV**

Grafikon 1: Razmerje med planiranim in dejanskim odvzemom proda iz lovilnih jam (prirejeno po SENG).....	41
Grafikon 2: Presejne krivulje prostorskih vzorcev .....	55
Grafikon 3: Presejne krivulje časovnih vzorcev .....	55
Grafikon 4: Deleži laporjev glede na mesto vzorčenja .....	63
Grafikon 5: Delež zrn sivih apnencev nad 8 mm glede na mesto vzorčenja .....	64
Grafikon 6: Delež belih apnencev glede na mesto vzorčenja .....	64
Grafikon 7: Vrednost vpite količine po metodi metilen modro .....	66
Grafikon 8: Zrnavost finih delcev, dobljena z areometrično preiskavo.....	66
Grafikon 9: Spreminjanje indeksov oblike zrn v času (vir: Zuza).....	67
Grafikon 10: Delež ostrorobih zrn, manjših od 45 mm .....	69
Grafikon 11: Delež določenih zrn v vseh frakcijah .....	69
Grafikon 12: Delež določenih zrn v zgornjem delu Tolminke .....	70
Grafikon 13: Delež sivih apnencev v različnih letih.....	71
Grafikon 14: Delež belih apnencev v različnih letih.....	71
Grafikon 15: Delež različnih zrn v frakciji 4–16 mm.....	72
Grafikon 16: Delež laporjev v določeni frakciji na različnih mestih vzorčenja .....	73
Grafikon 17: Delež trdih laporjev glede na različne čase odvzema.....	74
Grafikon 18: Koncentracija suspendiranih snovi in vpliv na razmerje signal – šum (prirejeno po Bowden, Shanley in Schuett, 2012, str. 8).....	78
Grafikon 19: Čas in količina vpijanja vode 1 g vzorca z napravo Enslin.....	79
Grafikon 20: Deleži finih delcev v vzorcu kalne vode .....	80
Grafikon 21: Vremenske spremenljivke na postaji Vogel v času 23. 4. 2005 – 25. 6. 2015 (vir: ARSO).....	82
Grafikon 22: Temperatura na postaji Vogel v času 23. 4. 2005 – 25. 6. 2015 (vir: ARSO) ...	82
Grafikon 23: Poplavni val Tolminke 23. 6. 2015 (vir: ARSO).....	83
Grafikon 24: Trendne črte indeksov oblike različnih frakcij .....	91
Grafikon 25: Dnevna količina padavin na postaji Kneške Ravne od 2004 do 2015 .....	91
Grafikon 26: Predpostavljeni indeksi oblike za frakcijo 4–32 mm od leta 2004 do leta 2015	92
Grafikon 27: Predpostavljeni deleži sivih apnencev in laporjev glede na predpostavljeni indeks oblike v letih od 2005 do 2015.....	92
Grafikon 28: Pretoki Tolminke v obdobju od 1998 do 2014 (vir: Arso).....	94



**KAZALO SLIK**

Slika 1: Geološka karta porečja Tolminke (vir: Buser, 1986b) .....	5
Slika 2: Strugo Tolminke sestavljajo tudi primerki pisane kraške sige .....	5
Slika 3: Stopnje v strugi potoka Pščak zaradi izruvanega drevja leta 2016.....	11
Slika 4: Golosek v dolini Tolminke leta 2016 .....	12
Slika 5: Območje žledoloma in geološka podlaga (vir: Zavod za gozdove Slovenija, območna enota Tolmin in Buser, 1986b) .....	13
Slika 6: Povprečne letne padavine od 1970 do 2000 v porečju Tolminke (vir: Atlas okolja) .	15
Slika 7: Vodomerna postaja Tolmin .....	18
Slika 8: Tolminka ob povodnji leta 2009 na zgornjem delu lovilnih jam (levo) in polne lovilne jame po dogodku (desno).....	20
Slika 9: Komponente celotnega dotoka plavin v odvisnosti od izvora, načina premeščanja in metode vzorčenja (prirejeno po Gray, Laronne in Marr, 2010).....	24
Slika 10: Osnovna ideja lovilne jame za vzorčenje rinjenih plavin (prirejeno po Hudson, 1993) .....	31
Slika 11: DOF Tolminke (levo) in situacija profilov (desno) (vir: Geotmin, 2015).....	39
Slika 12: Površina podora, ki znaša okoli 19 ha (vir: Atlas okolja).....	44
Slika 13: Območje podora in geološka podlaga (vir: Buser, 1986b) .....	45
Slika 14: Sortiranje in spreminjanje velikosti zrn (vir: Sediment sorting, 2016) .....	46
Slika 15: Areometrija za določitev deleža zrn pod 0,063 mm .....	52
Slika 16: Prikaz mest vzorčenja prostorskih vzorcev .....	53
Slika 17: Mesta vzorčenja časovnih vzorcev .....	54
Slika 18: Dolžina poti od prve do druge pregrade (leva slika) in dolžina od podora do lovilnih jam (desna slika) (vir: Atlas okolja).....	60
Slika 19: Različna zrna glede na velikost, obrušenost in petrografsko sestavo .....	62
Slika 20: Razpad laporovca na zraku .....	65
Slika 21: Frakcija peska velikosti zrn 1–2 mm. Na levi je vzorec iz leta 2004, v sredini iz leta 2005, na desni iz leta 2016.....	74
Slika 22: Ostanke na sitih z odprtini 0,125 mm (zgoraj), 0,25 mm (na sredini) in 1 mm (spodaj) za vzorce iz let 2004 (levo), 2005 (na sredini) in 2016 (desno) .....	75
Slika 23: Nastajanje sipinam podobnih oblik sortiranega grušča na podoru .....	76
Slika 24: Naprava Enslin.....	79

Slika 25: Poplavna kalnost Tolminke ob visoki vodi (levo in na sredini) in poseben vzorec v steklenici (desno).....	80
Slika 26: Površina dela akumulacije HE Doblar, kjer se zadrži mulj (vir: Atlas okolja).....	84
Slika 27: Grušč in groblja ob deponiranem kupu odvzetih naplavin .....	88





## OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

IRMA	Inštitut za raziskovanje materialov in aplikacije
MOP	Ministrstvo za okolje in prostor
RS	Republika Slovenija
SENG	Soške elektrarne Nova Gorica
VGI	Vodnogospodarski inštitut



## 1 UVOD

Le dva in pol odstotka vse vode na Zemlji je neslane in približno desetina te je v rekah in jezerih. Od nje je odvisen velik del živih bitij, med njimi tudi človek. Prav zaradi te odvisnosti se je skozi čas veliko ukvarjal z raziskovanjem rek in jezer ter skušal odgovoriti na vprašanja, ki so se mu porajala v zvezi s temi vodnimi telesi. Teh vprašanj je bilo vedno veliko, saj je kompleksnost narave nemogoče razložiti z enim samim odgovorom.

Ker sem zadnjih petnajst let živel ob reki Tolminki in bil prvo leto po podoru ob njenem toku pastir v planini Polog, me je navdihnila, da se ji posvetim tudi v diplomski nalogi. Najbolj sta me prevzela njena moč in hudourniški značaj, ko je po visokih vodah pogosto presenetila z obilno količino na novo odloženega proda. Prav posebno zanimive so mi bile tudi njene barve in njihove pogoste hipne spremembe.

V diplomski nalogi sem se ukvarjal s premeščanjem plavin v času po velikonočnem potresu leta 1998, ki je vplival na procese in količine premeščenih snovi. Zanimalo me je, kako je potres vplival na spreminjanje količine in zrnastostne sestave rinjenih plavin v različnih letih in kaj je botrovalo tem spremembam, predvsem pa, kako velik vpliv ima na omenjene procese podor pri planini Polog, ki se je sprožil 2004. leta. Ob tem sem pozornost namenil primerjavi ocenjenih količin, ki so jih predvideli na Inštitutu za vode RS, ko so projektirali lovilne prodne jame, in dejanskih količin teh snovi. Ker je prod gradbeni material, sem v nadaljevanju ugotavljal vpliv podora na njegovo kakovost pri namenu rabe kot agregata za beton in postopek certificiranja takega agregata.

S tem namenom sem na štirih različnih mestih najprej vzel dva vzorca podornega gradiva in dva vzorca rečnih naplavin, kasneje še tri vzorce deponiranih naplavin, v treh različnih letih odvzetih iz lovilnih jam. Leto dni pred tem sem vzorčil tudi kalno vodo, na podlagi česar sem lahko sklepal o količinah lebdečih plavin. Izdelal sem presejne krivulje, nato pa na podlagi razlik v njihovi zrnastosti, petrografski sestavi in spremembi oblike zrn sklepal o premeščanju plavin reke Tolminke in ne nazadnje o vplivu podora na njihove količine in lastnosti.

## 2 TOLMINKA

Procesi premeščanja plavin so odvisni od številnih dejavnikov, zato začenjam z opisom reke Tolminke z njenimi osnovnimi lastnostmi.

### 2.1 Geografski oris

Geografske in hidrogeološke lastnosti so za poznavanje in analizo prodonosnosti bistvenega pomena, zato je smiselno najprej opisati osnovne lastnosti reke. Dolina Tolminke ločuje krnsko gorsko skupino od spodnjih bohinjskih gora ter njihovega južnega predgorja. Melik (1954) o njej piše, da je zarezana v poldnevniški smeri od Tolmina daleč v notranjost srednjih Julijskih Alp, kjer njeno hudourniško povirje leži ob Bogatinu in Mahavščku. Toda voda trajno teče le v spodnjem delu, kjer Tolminka izvira kot močan kraški izvir v dolinskem dnu ob planini Osojnici. Nadalje teče skozi Prode in prostorno koritno dolino Polog, kjer se že na prvi pogled vidi, da je bila to čelna kotanja znanega ledenika, ki je zbiral ledene gmote iz višav med Bogatinom in Rdečim robom. Dno doline pokrivajo kvartarni drobir, morene in jezerske odkladnine pa tudi prod in grušč. Tolminka pot nadaljuje skozi tesne debri, dokler malo nad vasjo Zatoimin ne prestopi v Tolminsko kotlino, kjer je prerezala prag, ki ga sestavljajo triasni apnenci, in tako izklesala tesna vintgarska korita. Tu se kot eden izmed glavnih pritokov z leve priključi še reka Zadlaščica. Le malo naprej od korit reka vstopi v Tolminsko kotlino, na vzhodni strani obide mesto Tolmin in se južno od mesta, na nadmorski višini 154 metrov, kot eden večjih levih pritokov po približno dvanajstih kilometrih priključi Soči. S svojo količino spada poleg Soče in Idrijce med glavne vodotoke na Tolminskem.

Tolminka izvira na višini 690 metrov z več izviri, njihovo število pa je odvisno od vodostaja; ker reka teče po visokogorskem svetu, so izviri možni tudi med tokom. Zaradi visokega povirja, ki ga ima Tolminka na obsežni krnski planoti pa tudi na Komni, od koder zbira vodo tudi onstran reliefne razvodnice, ki poteka po bohinjskem grebenu, ima Tolminka najvišje porečje v Posočju, s povprečno nadmorsko višino okoli 1200 metrov (Kokalj, 1999).

Povodje je večinoma prekrto z gozdnimi sestoji, kjer prevladujejo listnata drevesa. Le zgornji del povodja ob razvodnici, kjer pa ni stalnih vodnih tokov, je v visokogorju. Obljudena območja ob Tolminki so le v zgornjem toku tik pod izvirom na planini Polog v pašnih mesecih in nekoliko nižje pri domačiji Zastenar ter na območju samega Tolmina in sotočja s Sočo. Ker Tolminka večji del teče v globoki soteski, je celotno območje težko dostopno, zato v preteklosti

v njeni strugi tudi ni bilo potrebnih večjih posegov; ureditve so se izvajale le na povirnem delu do planine Polog in na izlivnem odseku na območju Tolmina.

## 2.2 Geologija

Za opis geoloških lastnosti doline Tolminke si je treba ogledati sestavo Julijskih Alp, posebej južnega dela, katerega vode se danes vse stekajo v Sočo, ki potem nadaljuje pot proti Tržaškemu zalivu, kamor so tudi v preteklosti odtekale vse površinske vode s tega območja. Več kot dva milijona let nazaj, v obdobju mlajšega terciarja, še ni bilo Soške doline, kot je današnja. Šele v najmlajših obdobjih si je reka svojo pot vrezala vzdolž geoloških pasov in prelomnic, ponekod tudi preko njih. V pliocenu so reke tekle iz današnjih najvišjih delov Alp s starih uravnanih površij, ki so ostanki bodisi visokogorske kraške planote ali pa nekaj nižje uravnane stopnje. Takrat so bile današnje visokogorske pokrajine precej nižje, sedanjo višino pa so dobile kasneje zaradi orogenetskega dviganja, s čimer se je povečala njihova reliefna energija, pospešena erozija pa je vrezala današnje globoke doline in vplivala na obliko reliefa (Melik, 1954).

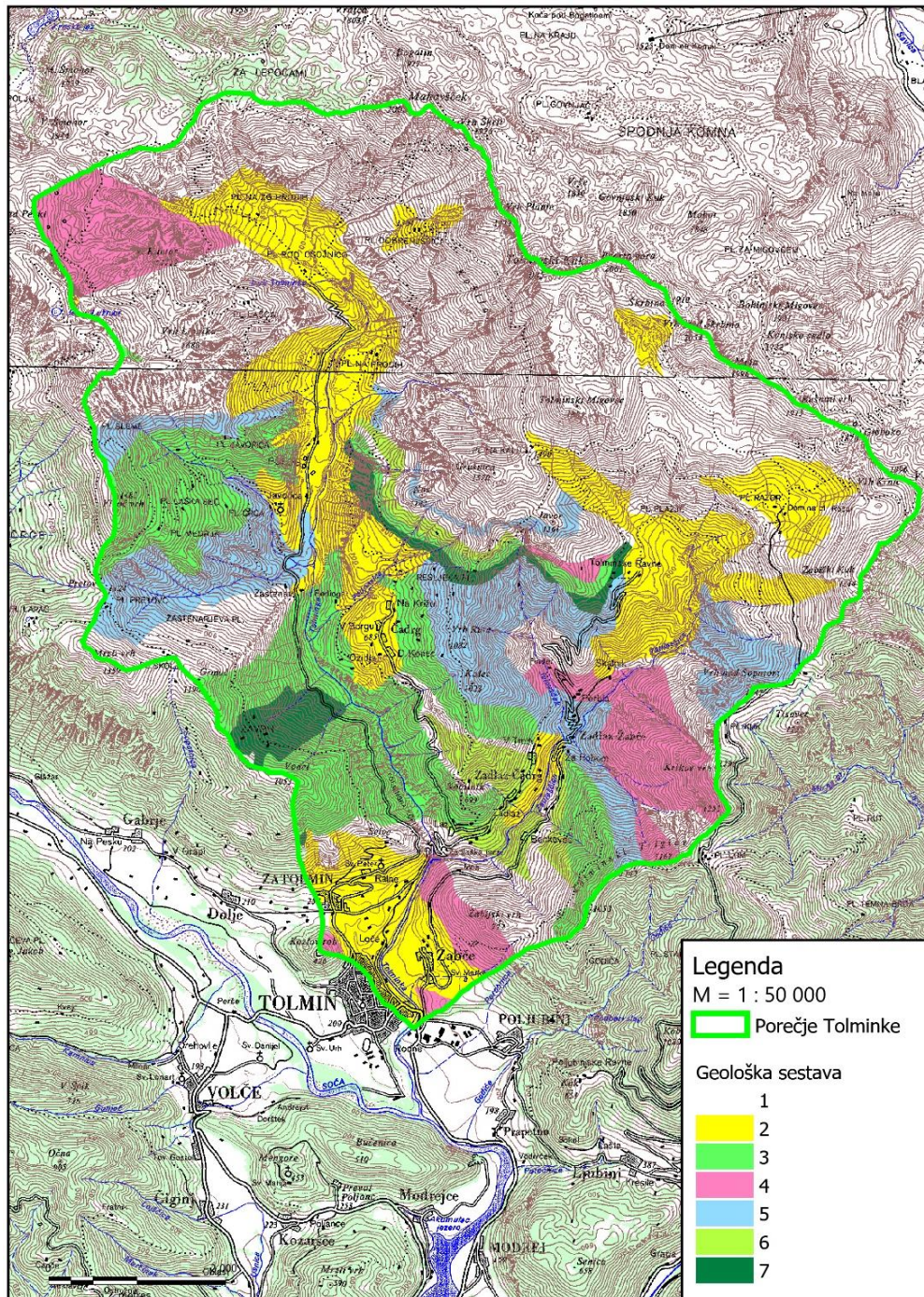
Povečana relativna višina je posledica istočasnega poglobljanja Jadranskega morja in dvigovanja Alp, ki je dokazano tudi danes in znaša 9 milimetrov letno. Postopnost razvoja si je mogoče razložiti tudi z obstojem starih suhih dolin, ki so nastale v višjih legah, ter številnih starih teras, pokritih s konglomeratom in z brečo. Današnji relief je posledica medsebojnega vplivanja kamninske in tektonske zgradbe ter zunanjih preoblikovanih sil in procesov. Gore in doline so najbolj oblikovali voda z erozijo in s kemičnim raztapljanjem, led z mehničnim in transportnim delovanjem ter mehanično preperevanje žive skale. V dolini Tolminke je veliko sledov ledeniškega delovanja, katerega največji ostanki so v dolini med Pologom in izvirom reke. V tej mogočni morenski pregradi si je Tolminka izdolbla globoko grapo (Mrak, 1999).

Buser (1986, v Podgornik 2011) o dolini Tolminke piše, da je pripadala Julijski karbonatni platformi in Slovenskemu bazenu, značilnosti obeh pa se odražajo v litološki zgradbi. Kamnine Julijske karbonatne platforme, ki so značilne za nariv Julijskih Alp, so prisotne na območju zgornjega toka Tolminke in jih gradijo plitkovodni zgornjetriasni apnenci in jurske globokomorske kamnine. Kamnine Slovenskega bazena, predvsem triasne, jurske in kredne globokovodne kamnine, ležijo v južnem delu doline Tolminke.

Prvi oziroma zgornji del, ki se konča pod Pologom, je zapolnjeval ledenik, kjer prevladujeta skladoviti dachsteinski apnenec s plastmi in z vložki dolomita ter skladoviti in masivni dolomit. Drugi del doline pa je v celoti zgrajen iz mlajših, večinoma zgornjekrednih kamnin, med



katerimi prevladuje fliš. Te kamnine so neodporne, čeprav se med njimi občasno pojavljajo tanki skladi apnenca (Mrak, 1999). Fazarinc in sodelavci (1999) o geološki podlagi povodja dodajajo, da jo v zgornjem delu sestavljajo apnenci in dolomiti, ki so zaradi različnih tlakov in preoblikovanja v geološki zgodovini ter atmosferskih vplivov zelo različne kakovosti. Skladi so močno plastoviti in razpokani.





Številka	Opis - Legenda kartiranih enot	Površina [ha]	Starost
1	Beli mikritni ploščasti apnenec z roženci	2140,28	J,K
2	Prod, pobočni grušč, konglomerat in breča	1247,72	pr
3	Ploščasti mikritni in kalkarenitni volčanski apnenec z roženci	842,93	K2/3
4	Ploščasti in skladoviti baški dolomit z roženci	469,43	T3/2+3
5	Glinasti skrilavec s polami roženca	434,27	J2,3
6	Fliš	152,41	4K2/3
7	Menjavanje rdečkastega ploščastega apnenca in laporja, pole in gomolji apnenca	126,52	K2/1+2

Slika 1: Geološka karta porečja Tolminke (vir: Buser, 1986b)

O pestri zgodovini in bogati geološki sestavi tega dela Julijskih Alp prav tako priča pisana kraška siga, ki je našla svoj del poti v Tolminki.



Slika 2: Strugo Tolminke sestavljajo tudi primerki pisane kraške sige

### 2.3 Morfologija

Na erozijske pojave vplivajo tri značilnosti oblikovitosti površja (Mikoš, 1995), in sicer:

- orientacija površine, ki zaradi vpliva osončenosti vpliva na mikroklimo in s tem na vegetacijo,
- nagib, ki je najpomembnejši parameter in edinstveni kazalec potencialne ogroženosti prostora,
- hrapavost površine, ki je nekoliko manj pomemben parameter.

Za dolino Tolminke so značilni veliki nagibi površin, ki vplivajo na povečano erozijo.

## 2.4 Vegetacija

Ker je prodonosnost, tako sam proces kot tudi količina premeščenega gradiva, odvisna od erozije, se je smiselno dotakniti tudi področja vegetacije in gozdov, saj bistveno vplivajo na omenjene procese.

V prvi vrsti je vegetacija odvisna od pedoloških lastnosti. Dolino Tolminke v glavnem sestavljata sprsteninasta in prhninasta rendzina in litosol, ki sta oba precej erodibilna, zaradi česar Tolminka ob visoki količini padavin vsebuje veliko organskih delcev. Med drugim pa je dolina Tolminke tudi zaradi tega bolj nagnjena k erozijskim procesom.

Porečje je večinoma prekrito z listnatim gozdom, travnata območja so redka, z izjemo Tolminske kotline, kjer ob naseljih ležijo njivske in travnate obdelovalne površine ter opuščene in delujoče planine. Zatrejni del doline pod gozdno mejo je večinoma gol, saj se zaradi aktivnih pobočnih procesov ne more zaraščati. Visokogorski svet nad gozdno mejo je skalnat in ga poraščata ruševje ter travinje (Podgornik, 2011).

Eden izmed pomembnih dejavnikov na vpliv erozijskih procesov je tudi pokrovnost tal, ki jo lahko delimo v več zvrsti, od goličav do tipičnih vegetacijskih zvrsti, med katerimi je posebej pomembna obraslost tal, ki uravnava zračne tokove, gibanje voda, infiltracijsko sposobnost in stabilnost zemljišč, rastiščne pogoje ali rastiščno zaščitenost tal. Pomembnejši vplivi obraslosti tal na vodni režim in erozijske pojave so po Mikošu (1995) predvsem:

- tvorba, obnavljanje in ohranjanje plodnih tal,
- uravnavanje lokalne klime, s čimer med drugim vpliva na temperaturna nihanja in vetrove,
- vpliv na snežno odejo,
- vpliv na gibanje voda in odtekanje visokih voda in
- zaščita pred spiranjem in plazenjem zemljišč.

### 2.4.1 Gozdovi

Na gozd se lahko pogleda z več vidikov. Eden izmed teh je tudi gozd kot dobrina. Človek torej potrebuje gozd za različne namene, zato mora z njim različno gospodariti, in namene posledično uvrščamo v več skupin. Poleg gospodarskih gozdov in gozdov s posebnimi nameni je ena izmed skupin tudi varovalni gozd, ki na strmih legah ali drugače občutljivih tleh s koreninskim pletežem varuje svoje rastišče in s tem sebe in sosednje gozdove, kmetijska zemljišča, naselja



in gospodarske objekte; varuje pred spiranjem tal, zemeljskimi in snežnimi plazovi, padajočim kamenjem in premeščanjem plavin ter plavja.

Posebej pomembno vlogo igrajo obrežni gozdovi, ker predstavljajo protierozijsko zaščito brežin in poplavnih ravnin, poleg tega pa sestava vegetacije vpliva na količino velikega lesenega plavja. Pri samih varovalnih vplivih je velika razlika med različnimi vrstami dreves, njihovo pestrostjo, starostjo, med lastnostmi tal in njihovo stabilnostjo, lokalnimi vremenskimi dogodki (vetrolom, snegolom, žledolom ...), človekovimi posegi (goloseki, gozdne vlake ...), geološkimi lastnostmi, globinskimi in bočnimi erozijami (Mohorič, 2015). Zato bom spodaj opisal lastnosti gozda v dolini Tolminke, saj vplivajo tudi na količine plavin, s čimer se ukvarjam v nalogi. Dolga zgodovina pašništva in raba gozda za človekove potrebe je v tem delu zelo vplivala na rastlinske združbe in njihovo porazdelitev. Gotovo pa je tu pečat pustila tudi prva svetovna vojna, ko je bilo v gozdu za namene vojske potrebnih kar nekaj sprememb. Mrak (1999) piše, da se je na ožjem območju doline od sredine pa tja do konca prejšnjega stoletja površina gozdov povečala za 42 odstotkov, in sicer na račun zapuščenih pašnikov in senožeti. Glede na rastiščne razmere najdemo v dolini sledeče drevesne vrste:

- bukev,
- plemenite listavce (gorski javor, veliki jesen, lipa, češnja),
- trde listavce (beli in črni gaber, mali jesen, mokovec, maklen),
- mehke listavce (siva jelša, zelena jelša, breza, trepetlika),
- iglavce (smreka, jelka, macesen), ki pa so redki. Položnejše lege na nadmorski višini do 600 metrov v glavnem poraščajo predgorski bukovi gozdovi, osojna območja od dolinskega dna pa do višine okoli 1100 metrov predalpski gorski bukovi gozdovi, južna pobočja zatrepa doline od dna do zgornje gozdne meje pa alpski bukovi gozdovi. Nad gozdno mejo je alpsko ruševje. Sestavo gozda je treba poznati, saj so obrežni gozdovi večinski vir velikega lesenega plavja, ta pa v ekstremnih dogodkih v ožjih delih struge lahko tvori naravne jezove, ki v primeru porušitve povzročijo katastrofalne posledice dolvodno (Rudolf-Miklau in sod., 2011, po Mohorič, 2015). Dolina Tolminke spada med hudourniška območja z visoko stopnjo verjetnosti pojavljanja drobirskih tokov. Pri tem pojavu igra pomembno vlogo gozd, ker v njem prihaja do odmiranja in lomljenja dreves, ki so, če jih človek ne odstrani, nato prepuščena naravnim procesom gnitja, lahko pa končajo tudi v hudourniški strugi. Kasneje lahko tvorijo stopnje in manjše zajezbe, ki spremenijo morfologijo struge. Plavje je les, ki ga hudournik nosi na gladini in je običajno manjših dimenzij, kljub temu pa zaradi njegove količine njegov vpliv ni

zanemarljiv in je lahko v kombinaciji s posameznim premeščenim zaplavnim lesom tudi razlog za dvig gladine hudournika (Mohorič, 2015).

#### 2.4.2 Žledolom

Premeščanje plavja oziroma zapadlega lesa in tvorjenje stopenj iz njega sta prisotna v še tako majhnih hudournikih in gorskih potokih, pogosto pa je premeščanje odločilno za nastanek stopenj tako, da ustvari prepreko, potem pa se ob njej ustavijo večji prodniki. Tudi za velikimi prodniki in zaplavnim lesom v zatišnejših legah se nabirajo finejše plavine. Tako zapadli les kot kasneje zaplavni les ustvarjata cone nizkih strižnih napetosti, kar vpliva na premeščanje plavin. Trajni procesi vključujejo običajen vnos lesa kot posledico naravne umrljivosti dreves ali postopnega spodjedanja brežin. Za te procese je pričakovano, da prispevajo manjše količine zapadlega lesa v stalnih intervalih, medtem ko občasni vnosi, kot so vetrolomi, žledolomi, snegolomi, gozdni požari in obsežne poplave, ki se sicer pojavijo zelo redko, v kratkem času v omrežje prispevajo zelo velike količine lesa (Bisson in sod., 1987, po Mohorič, 2015).

Iz tega lahko sklepamo, da je pomen gozda na same procese premeščanja plavin znaten in je dobro poznati njegovo vlogo. Ob tem naj namenim nekoliko pozornosti žledolomu, ki je Slovenijo, med drugim tudi dolino Tolminke, prizadel med 30. januarjem in 10. februarjem leta 2014.

Rojšek (2016) o žledu (požledu, požledici, tudi poledici) piše, da je naravni pojav, ki nastane, kadar dežuje oziroma rosi pri temperaturah pod lediščem. Kapljice v trenutku primrznejo na podhlajeno osnovo, kjer se led kopiči, količina ledu pa lahko zelo naraste. Kadar podlaga preseže nosilno zmožnost, se zlomi, in takrat govorimo o žledolomu. Ta ne pomeni le lomljenja vej in drevja, temveč gre tudi za puljenje in izruvanje dreves. Žledolom velikih razsežnosti povzroči ogromno polomljenega lesa in ta je vir novega življenja za glive, žuželke, male sesalce, ptiče, zdravo drevje in grmovje pa se razmeroma hitro obraste. Žledolom se ne pojavlja redno, temveč nastane občasno, v velikim obsegu le redko.

Rusjan, Bezak in Kogoj (2015) so zapisali, da gozdovi znatno zmanjšujejo nevarnost erozije tal; žledolom iz leta 2014 bo tako zagotovo povečal količine plavin po celotni Sloveniji, kar bo imelo za posledico pozitiven trend količine lebdečih in rinjenih plavin v vodotokih. Na erozijo in premeščanje plavin bo gotovo imelo velik vpliv tudi leseno plavje, ki lahko tako neposredno kot posredno v veliki meri pospešuje omenjene procese.

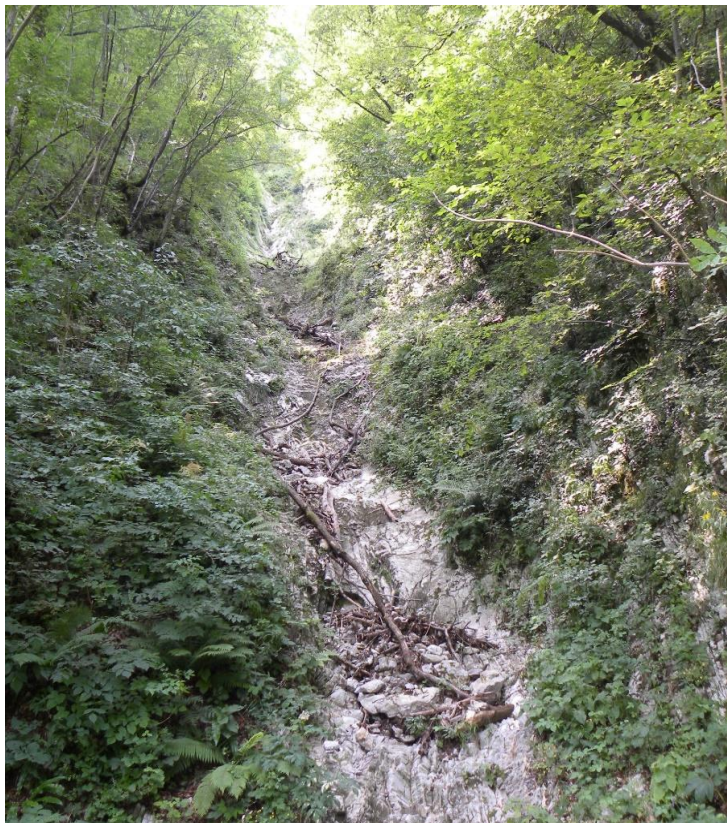


Bukov gozd po žledolomu blizu Čadrga, nedaleč od podora pri Pologu (Jani Kutin)

Kot je razvidno iz zgornje slike, je bil na nekaterih delih gozd močno poškodovan in bo s tem prav gotovo še dolgo let vplival na procese premeščanja plavin, predvsem pa plavja. Prav zaradi tega, ker lesna debela počasi odmirajo, se bo lesno plavje v dolini Tolminke zadrževalo še dolgo in se počasi sproščalo v strugo reke, predvsem iz hudourniških grap. Do večjih količin lesnega plavja pa bo nedvomno prihajalo ob dogodkih, kot je opisan spodaj, še posebej, ker se je večje podiranje dreves zgodilo ravno na bregovih strmih hudourniških grap. Toliko večjo količino lahko pričakujemo, ker prav pas, kjer se je pojavil žled, v glavnem sestavljajo bukovi gozdovi, ki so med manj odpornimi na ta pojav. Poleg tega je ves teren precej strm, nakloni pa veliki, kar zelo vpliva na erozijske procese, še posebej če se temu pridružijo še obilne padavine, ki so značilne za ta predel. Lahko skratka zaključim, da bo žledolom imel velike posledice zaradi skupka dejavnikov.

Četudi lahko zaplavni les vpliva na zmanjšanje količine plavin, je z njim v zvezi možen tudi drug pojav, kot sta mi ga opisala Magajne (2015) med ogledom posledic takega dogodka na terenu v Žireh in Rojšek (2016) med ogledom doline Tolminke. In sicer, prav podrtje drevje je vzrok za določene pojave, ki tudi lahko znatno vplivajo na količine plavin v omenjenem porečju. Prav take zajeze, ki so posledica večje količine lesnega plavja zaradi žledoloma, namreč povzročajo, da se začne drobir zadrževati in ustvarjati stopnje. Ko ena izmed teh stopenj popusti, se zgodi, da zaradi hipne sprostitve velike količine drobirja in vode, ki skupaj tvorita drobirski tok, s svojo energijo porušijo tudi nižje ležeče stopnje in pregrade, kar potem povzroči še večjo količino drobirskega gradiva. Tako potem vse sproščeno gradivo potuje po strugi in kot domine ruši naslednje stopnje in s tem še povečuje količino in svojo moč. Energija, ki se

ob tem ustvari, za mnogokratnik preseže tisto, ki je običajna ob hudourniških dogodkih. Pri tem potujoče gradivo zaradi bistveno večje sile in višje ravni vode še dodatno spirava vse, kar se je dolga leta nabiralo ob strugi. Taki dogodki velikokrat presenetijo s svojimi posledicami, saj se v večino časa suhi strugi v takih trenutkih pojavijo nepredstavljljive količine vode in grušč. Ko popustitev take pregrade povzroči bistveno povečan pretok, ki je posledica tako imenovanega odtrganja oblaka, za ta del Slovenije zaradi klimatsko-reliefnih lastnosti pogostega lokalnega pojava, so posledice še večje. Če ta tok doseže strugo Tolminke, lahko znatno vpliva na količine plavin, med drugim tudi zato, ker je največ takih grap prav na območju pred koriti in je tu premestitvena zmogljivost reke velika.



Hudourniška grapa, kjer je potencialno mogoč zgoraj opisani pojav (Daniel Rojšek)

Kako žled preoblikuje površje, je strnil Rojšek (2016), in piše, da žled sam po sebi prav malo vpliva na preoblikovanje površja, mogoče le malo bolj kot suha zmrzal. Pomembno preoblikovanje se začne s puljenjem dreves. Takrat namreč korenine potegnejo na površje tudi grušč in skale, kar se začne takoj valiti po pobočju, in tudi takrat, ko korenine preperijo. Po izruvanju dreves v pobočjih zazijajo različno velike luknje, odvisno od koreninskih grud. V povprečju gre za luknje s prostornino okoli petih do desetih kubičnih metrov, kar pomeni ravno toliko sproščene preperine. Korenine lahko iz podlage izrujejo ali kako drugače sprostijo skale



s prostornino več kubičnih metrov. V luknjah ostane le manjši del, večina se zaradi strmine skotali po pobočjih. Ustavijo se na manj strmi polici, če je tam, sicer pa ob vznožju. Velikokrat so to struge potokov in rek.

Prav to je primer na spodnji sliki, ko je v strugo Pščaka skupaj z lesom zdrsnila velika količina drobirja in grušča in ob tem ustvarila stopnjo, ki ima potencial za sprožitev prej opisanega dogodka.



Slika 3: Stopnje v strugi potoka Pščak zaradi izruvanega drevja leta 2016

Ker je pri omenjenem žledolomu prišlo do izruvanja večjega števila dreves, kar je tudi posledica velikih naklonov v dolini Tolminke, je bila s tem eroziji izpostavljena velika količina prsti in zemljine. Pri tem se je zaradi polomljenih vej, ki bi sicer razbile vodne kaplje in s tem zmanjšale vodno kinetično energijo, povečala tudi stopnja pljuskovne erozije, s čimer je, spet kot s posledico žledoloma, povezano še bolj povečano odnašanje zemljin.

Pomembno je tudi omeniti, da ob poplavnih dogodkih ravno veliko leseno plavje vpliva na dodatno škodo s tem, da zmanjša ali zamaši prepuste in odprtine v mostovih. V te se nato zatakne manjše plavje in lahko popolnoma zamaši prerez, nastane zajezitev. Pride do preliivanja in obtekanja objekta ali pa celo do hipne porušitve premostitve. Zato je možna tudi dodatna erozija na določenih območjih in odlaganje plavja in plavin na drugih. Glede na to, da proti planini Polog vodi cesta, ki prečka mnogo hudourniških grap, je smiselno preverjati tudi, kako so vzdrževane. Prav tako bi bilo treba biti pozoren na to, kaj se sedaj, po čiščenju gozda zaradi žledoloma, dogaja z ostanki lesa.

Brilly, Mikoš in Šraj (1999) med dolžnosti lastnikov zemljišč na hudourniških območjih pri gospodarjenju na ogroženih območjih dodajajo, da morajo gospodariti tako, da se pri tem ne slabšajo ravnovesne in odtočne razmere ali zmanjšuje plast rodovitne prsti; ogolele in druge

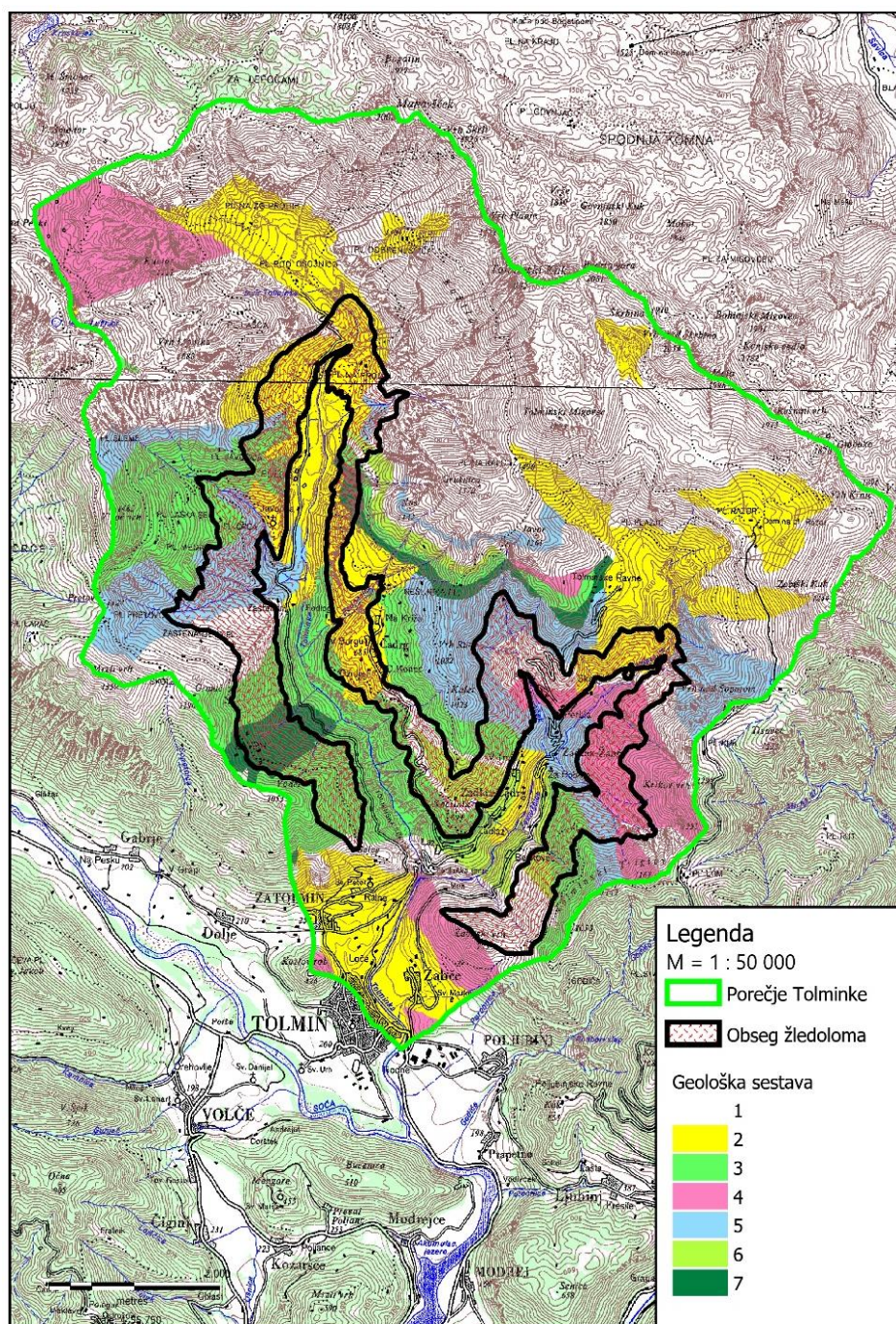
eroziji izpostavljene površine morajo zavarovati, po možnosti z rastlinsko odejo, da vode ne začnejo z njih spirati in odplavljati zemljin. Med glavne omejitve na teh območjih spadata prav ogolitev površin in krčenje gozdnih sestojev, ki preprečujejo plazenje zemljišč in uravnavajo odtočne razmere ter varujejo nižje ležeče površine pred škodljivimi vplivi erozijskih zaledij. Ena izmed omejitev, ki velja za območja hudournikov, je tudi vlačenje lesa po zemeljskih drčah in neutrjenih poteh. A tega se sedaj zaradi velike količine lesa ne držijo prav vsi, ki gospodarijo z gozdom, in s tem še dodatno povečujejo erozijske procese, ki nastanejo ob dogodkih, kot je žledolom. Ne preseneča torej dejstvo, da sta bili v preteklosti vodarska in gozdarska stroka tesno povezani, saj zelo vplivata druga na drugo in sta nerazdružljivi. V novejših časih žal ni veliko posluha za interdisciplinarnost in prav zato prihaja, poleg razlogov zaradi nepoznavanja naravnih procesov in zakonov narave, do pogostih neljubih dogodkov, ki imajo za posledico drago odpravljanje škode, namesto cenejših kurativnih ukrepov.



Slika 4: Golosek v dolini Tolminke leta 2016

Na Zavodu za gozdove na območni enoti Tolmin sem dobil podatke o površini žledoloma in izdelal karto, kjer je vidno, v kolikšni meri je žledolom prizadel gozdove v porečju Tolminke. Ugotovil sem, da prizadeta površina znaša 1072 ha od vsega skupaj 3642 ha gozda v porečju. To pomeni, da je bilo poškodovanih 30 odstotkov vsega gozda, vendar se ne ve točno, v kolikšni meri in na kakšen način. Celotna površina porečja je 73 km<sup>2</sup>, torej je žledolom zajel kar 8 odstotkov celotne površine, kar je ob upoštevanju, da je velik del površja neporaščen z gozdom, znatno.





Številka	Opis - Legenda kartiranih enot	Površina [ha]	Starost
1	Beli mikritni ploščasti apnenec z roženci	2140,28	J,K
2	Prod, pobočni grušč, konglomerat in breča	1247,72	pr
3	Ploščasti mikritni in kalkarenitni volčanski apnenec z roženci	842,93	K2/3
4	Ploščasti in skladoviti baški dolomit z roženci	469,43	T3/2+3
5	Glinasti skrilavec s polami roženca	434,27	J2,3
6	Fliš	152,41	4K2/3
7	Menjavanje rdečkastega ploščastega apnenca in laporja, pole in gomolji apnenca	126,52	K2/1+2

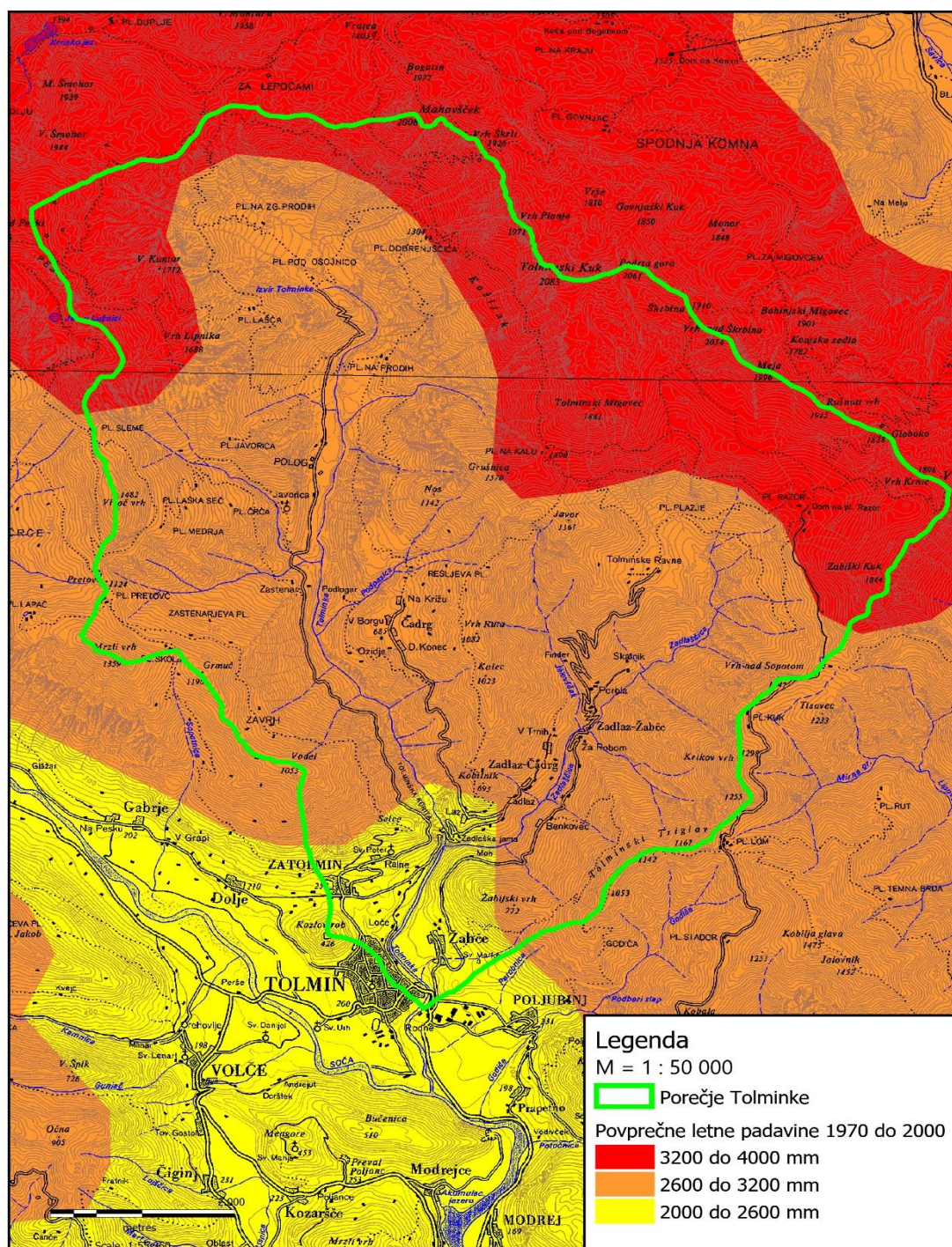
Slika 5: Območje žledoloma in geološka podlaga (vir: Zavod za gozdove Slovenija, območna enota Tolmin in Buser, 1986b)

Za zaključek lahko torej zapišem, da je nastanek rodnih tal v osnovi rezultat izvornega gradiva in načinov njegovega preperevanja, hitrost in način preperevanja pa vplivata na lastnosti, zaradi katerih se na tleh razvijejo določene vrste ekosistemov. Gozd je skupek več takih organizmov in ima na določeni podlagi svojstvene lastnosti. Prav geološka podlaga je torej eden izmed odločilnih dejavnikov, ki vplivajo na njegov razvoj in nastanek. Ob pogledu na geološko karto je razvidno, da je večina gozda, ki ga je prizadel žledolom, prav na območju proda, pobočnega grušča ter na ploščastem volčanskem apnencu in slojih, kjer se menjata rdečkast ploščasti apnenec in lapor. Te kamnine so v primerjavi z belim mikritnim apnencem in dolomitom dokaj neodporne proti preperevanju, kar je tudi vzrok za dobro rodovitna tla, kjer raste bukov gozd. Taista neodpornost pa ima ob dogodkih, kot je žledolom, za posledico izruvanje dreves in kasnejše pospešeno razpadanje matične podlage in zemljine, ki je ob tem v še večji meri izpostavljena atmosferskim vplivom. To nedvomno vodi v hitrejše spiranje zemljine in rodnih tal, posledično pa v povečane količine v prvi vrsti lebdečih, ne nazadnje pa tudi rinjenih plavin. Težko je točno napovedati, v kolikšni meri bo omenjeni pojav vplival na premeščanje plavin reke Tolminke, nedvomno pa ni neznamenit in se bo odražal še dolgo po dogodku, še posebej če upoštevamo dodatne morebitne vplive, ki jih ima plavje na dogajanje v strugi hudournikov.

## **2.5 Podnebje**

Še en zelo pomemben dejavnik, ki vpliva na erozijske procese, ki so neposredno povezani s količino premeščenih plavin, je podnebje. Med njegovimi parametri so verjetno najpomembnejše padavine, predvsem njihova prostorska in časovna razporeditev. Na splošno velja pravilo, da so za erozijske pojave predvsem pomembne ekstremne vrednosti, tako lahko za padavine rečemo, da je pomembnejše poznati intenzitete kratkotrajnih nalivov kot pa letna ali mesečna povprečja padavin. Prav intenziteta padavin poljubne povratne dobe in trajanja, ki ustreza kritičnemu času stekanja nekega povirja, je pomemben parameter določanja površinskega odtoka iz tega povirja oziroma tako imenovane visoke vode. Pri analizi podnebja je zelo pomembno poznati mikroklimatske značilnosti posameznega območja, ki se kažejo v osončenosti, prevladujočih temperaturnih nihanjih ali prevladujočih smereh vetra. Vpliven parameter podnebja je tudi snežnost (Mikoš, 1995).





Slika 6: Povprečne letne padavine od 1970 do 2000 v porečju Tolminke (vir: Atlas okolja)

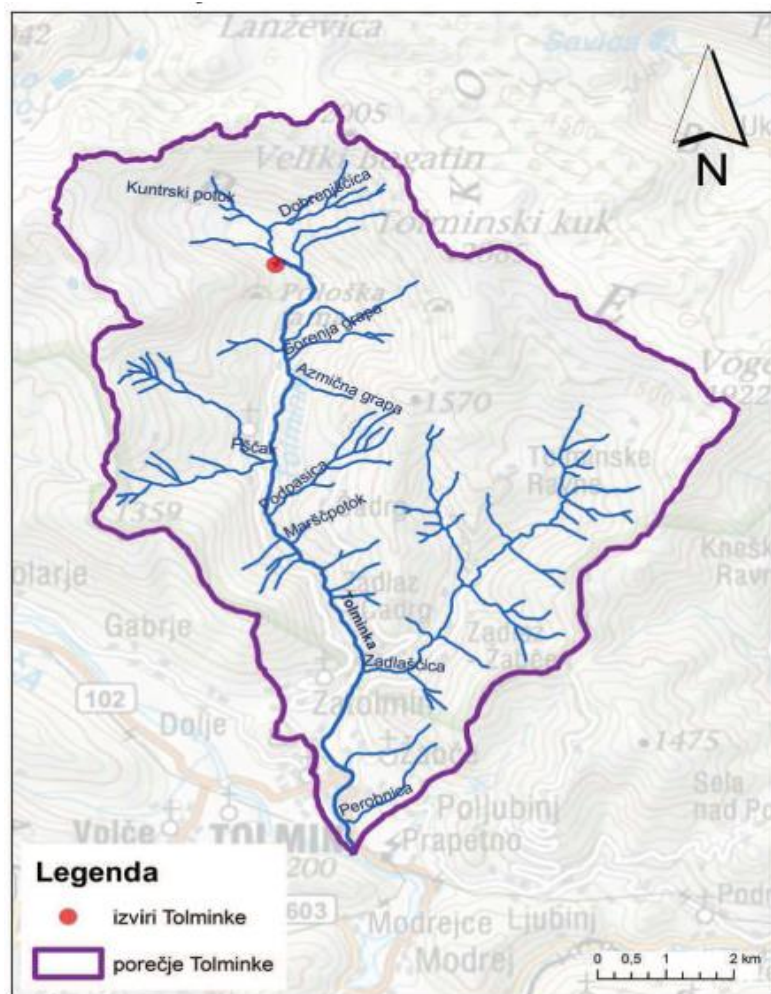
## 2.6 Hidrologija Tolminke

Hidrologija je ena najstarejših znanosti in jo zasledimo že pri prvih znanih civilizacijah. Med drugim se ukvarja tudi z rečno hidrometrijo, katere osnovno delo so Jovanović in sodelavci (1980) razdelili na: izbor mesta in položaja merjenja, postavljanje in oprema postaje za merjenje raznih karakteristik v zvezi z vodo, merjenje globine in oblike dna struge, merjenje nihanja gladine vode, merjenje in proučevanje padca gladine vode ter merjenje njene temperature, opazovanje barve in prosojnosti, merjenje in proučevanje hitrosti in smeri toka. Med drugim pa se ukvarja tudi z merjenjem in s proučevanjem rinjenih in lebdečih plavin ter s proučevanjem sestave plavin in dna struge, ki so predmet obravnave v tej diplomski nalogi.

Podgornik (2011) po različnih avtorjih povzema, da se Tolminka od glavnih izvirov do izliva na dolžini približno 12 kilometrov spusti za okoli 525 metrov, s čimer znaša njen povprečni vzdolžni padec 5 odstotkov, kar je relativno visoka vrednost. Zaledje njenega porečja je veliko 73,08 kvadratnega kilometra, izračun vodne bilance pa je pokazal, da razvodnica ter posledično površina nista pravilno določeni. Odraz geološke zgradbe in stopnje vodoprepustnosti kamnin je gostota njene rečne mreže, ki znaša 1,08 kilometra na kvadratni kilometer, s čimer velja za eno bolj vodnatih slovenskih porečij.

Razvejano hudourniško območje se razprostira pod vrhovi Tolminskega Kuka, Mahavščka, Šmohorja, Vrha nad Peski in Rdečega roba, s katerih se proti dolini spuščajo številni prodni tokovi, ki so ob normalnih hidroloških razmerah suhi (Fazarinc in Pintar, 1998). Porečje je zelo razgibano, saj ima reka vsega skupaj 19 pritokov, katerih večina ima hudourniški značaj. Prva dva sta Kuntarski potok in Dobrenjščica, ki se tik pred prodno pregrado pred izviri Tolminke združita v eno, sledi pritok pri Železju ter nekoliko nižje še en levi pritok, ki teče mimo planine Prodi. Z desnega brega se nato pridruži hudournik, za njim spet z leve Gorenja grapa ter nasproti planini Polog Azmiška (tudi Azmična) grapa. Prvi stalni pritok je z desne pritekajoči Pščak, drugi pa Podpasica, ki se reki pridruži pod Čadrgom. Pri Ozidju teče Maršpotok, nasproti njemu še trije hudourniki ter pred koriti, kjer se Tolminki z leve pridruži njen največji pritok Zadlaščica, še naslednji trije. Pred izlivom sta še dva leva pritoka (povzeto po Podgornik, 2011).





Porečje Tolminke (Podgornik, 2011, str. 52)

Na kroženje vode vplivajo najrazličnejši dejavniki, tako naravni kot družbeni, sistem pa je vedno v gibanju, součinkovanju in odvisnosti. Zaradi vpliva, ki ga ima relief na podnebje in neposredno na hidrološke razmere, je pomembna tudi lega doline Tolminke. Leži v Alpah, kjer je v tesni povezavi z nadmorsko višino tudi naklon površja, ki je praviloma z njo premo sorazmeren. Za alpski svet so značilne visoke količine padavin zaradi izpostavljenosti jugozahodnim vetrovom, orografskih dviganj, hitri odtoki zaradi velikih naklonov in majhno izhlapevanje zaradi temperaturnega vpliva višine (Frantar, Nadbah in Ulaga, 2008).

Velika spremenljivost padavin določa še večjo spremenljivost odtoka. Razmerje med najmanjšim in največjim izračunanim odtokom po hidrometričnih zaledjih je tako za Tolminko med največjimi v Sloveniji in ocena znaša 18 : 1. Ob tem je v Sloveniji največji povprečni specifični odtok prav v porečju Tolminke, in sicer 105.2 l/s/km<sup>2</sup>. Kot zanimivost bi lahko rekli, da je to območje Julijskih Alp hidrološko središče. Specifične odtoke lahko izrazimo tudi kot

odtok, izražen v milimetrih. Geografska razporeditev seveda ostaja enaka. Izraženo v teh enotah, imamo pri Tolminki preko 3000 mm odtoka Slovenije (Dolinar, 2008).

Podatek o pretoku, ki je osnovni podatek za izračun ocene plavin, lahko ocenimo na podlagi ravni vode ter oblike struge. V ta namen so postavljene vodomerne postaje. S samimi hidrološkimi podatki za Tolminko pa je kljub temu nekoliko težav, saj kot mi je sporočila Mira Kobold (2015) z ARSO, v zadnjih letih ni rednih urnih podatkov za Tolminko. Limnigraf je namreč nehal delati leta 2004, pred tem pa je bilo veliko okvar in enkratdnevni opazovanj. Nekaj let, do 2009, opazovanj sploh ni bilo, od leta 2009 so bila opazovanja enkratdnevna. Avtomatska postaja je bila vzpostavljena v letošnjem letu. Profil na vodomerni postaji Tolmin je bil zelo spremenljiv in ga je zasipavalo, tako da so bili z izdelavo pretočne krivulje veliki problemi.

To je potrdil tudi Bat (2009) in pojasnil, da se je leta 2005 profil med letom tako spreminjal, da je bil merilnik limnigrafa večkrat na suhem in so bila opazovanja pomanjkljiva. Tako pogostim spremembam hidravličnih lastnosti merilnega mesta ni bilo mogoče slediti z zanesljivimi pretočnimi krivuljami, zato podatkov v tem letu niso objavili. Edina vodomerna postaja na Tolminki, kjer vrednosti beleži limnigraf, je v Tolminu. Leta 2015 je bila postavljena nova postaja, ki avtomatsko beleži gladino vode vsake pol ure.

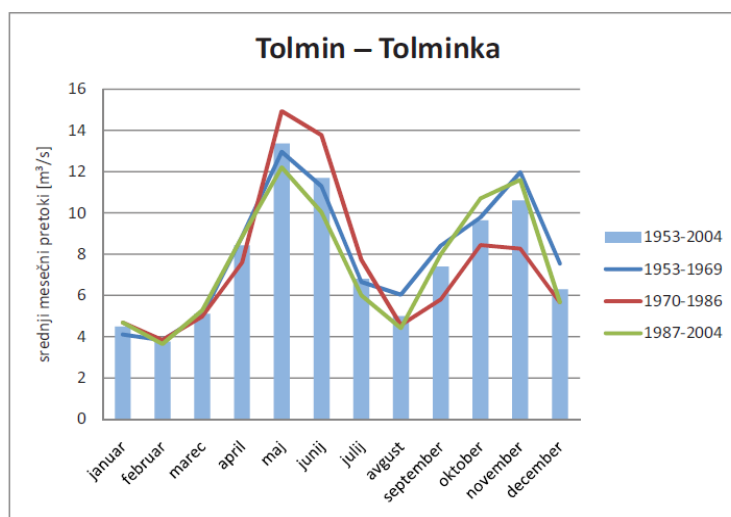


Slika 7: Vodomerna postaja Tolmin

Zakaj v porečju Tolminke pade toliko padavin, lahko pojasnimo s tem, da je njihova količina v veliki meri odvisna od nadmorske višine, poleg tega pa nanjo vpliva tudi bližina gorskih pregrad v smeri proti severovzhodu, saj največ padavin v Sloveniji pade ob vlažnih jugozahodnih vetrovih, ko z jugozahodnim vetrom pritekajo vlažne in relativno tople zračne mase. Smer

premikanja zračnih mas je pravokotna na grebene orografske pregrade, zato se ob njih zračne mase dvigajo, zrak se ohlaja in tedaj se iz njega izločajo padavine. To je vzrok, da leži maksimum letnih padavin v Julijcih, kjer pade letno nad 3200 mm padavin. To območje spada tudi med najbolj namočene v Alpah in v Evropi. Padavinski cikel je pogojen s podnebnim tipom, ki ima v obravnavani regiji največji vpliv. Za alpsko podnebje je značilno, da je največ padavin jeseni, nekoliko manj izrazit maksimum pa je značilen ob koncu pomladi in v začetku poletja. Za vse podnebne regije v Sloveniji velja, da se količina padavin iz leta v leto lahko močno spreminja. Posamezna desetletja znotraj obdobja se v namočenosti med seboj le malo razlikujejo. Čeprav se ob globalnih podnebnih spremembah predvidevajo tudi spremembe v količini padavin, te na letni ravni niso tako očitne, se pa v vsej zahodni Sloveniji zmanjšuje in se ob tem spreminja padavinski režim: izrazitejši postaja jesenski maksimum, medtem ko se v drugih mesecih količina padavin zmanjšuje. Najizrazitejše padavine so povezane z genovskim ciklonom (Dolinar, 2008).

Omenjene lastnosti se odražajo tudi v pretočnem režimu Tolminke, ki ustreza alpskemu snežno-dežnemu, ki je značilen za vodotoke s porečjem v visokogorskem svetu. To je sestavljen tip, ki ima dva nižka in dva viška. Snežna retinca ima za posledico nižji pretok v zimskih mesecih, poletni pa je manj izrazit in je pomaknjen proti koncu poletja. Ob spomladanskem taljenju snega se pojavi prvi višek, ki je izrazitejši kot jesenski, ki je posledica obilnih padavin (Frantar in Hrvatin, 2008).



Srednje mesečne vrednosti pretoka v obdobju 1953–2004 na vodomerni postaji Tolmin (Podgornik, 2011, str. 62)

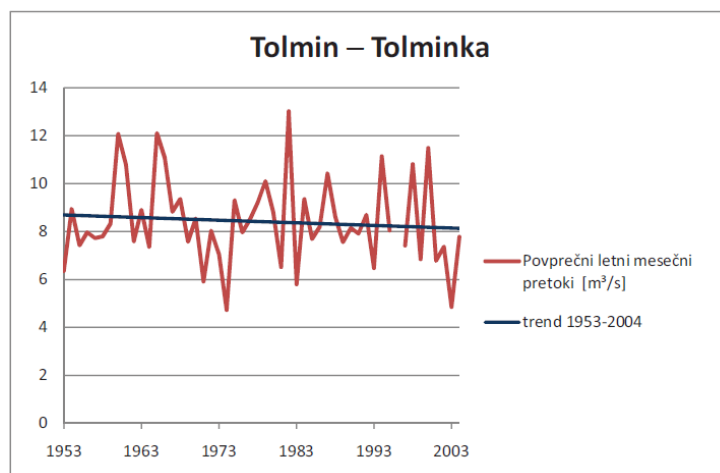
Iz grafa je razvidno, da Tolminka popolnoma ustreza snežno-dežnemu pretočnemu režimu, kar ima za posledico tudi procese premeščanja v časih, ko so pretoki najvišji. Izkaže se, da se največji prodni premiki zgodijo v jesenskem času ali pa ob posebnih padavinskih dogodkih, ki nimajo nujno povezave z njenim režimom.

Tak dogodek je bil decembra 2009, ko je skupek padavin, taljenja snega v začetnem obdobju in vremenskih razmer na morju v dneh od 23. 12. 2009 do 27. 12. 2009 povzročil eno večjih povodnji v zadnjih letih. Na zahodu države je v petih dneh padlo 500 mm padavin. Po besedah Fazarinca (2016) je bila količina premeščenega proda ob tem dogodku med 30.000 in 40.000 m<sup>3</sup>.

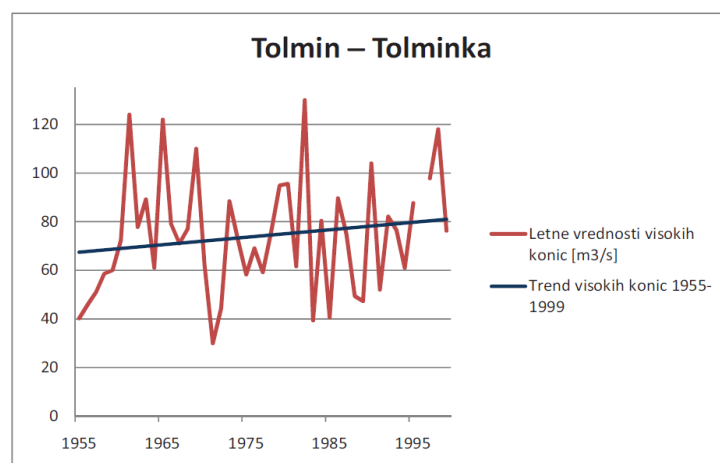


Slika 8: Tolminka ob povodnji leta 2009 na zgornjem delu lovilnih jam (levo) in polne lovilne jame po dogodku (desno)

Ker so za procese premeščanja zelo pomembne visoke vode, je smiselno pogledati, kaj se dogaja na tem področju. Ulaga (2002) je opazovala trende spreminjanja pretokov slovenskih rek in za Tolminko ugotovila naslednje. Za obdobje od 1955 do 1999 je ugotovila trend upadanja srednjih pretokov, kar opozarja na vpliv podnebnih oziroma spremembe rabe tal in širjenja gozdnih površin in opozarja, da je splošno upadanje srednjih pretokov vredno večje pozornosti. Kar ob tem vzbuja dodatno skrb, so trendi visokih in nizkih voda. Opaža, da je trend nizkih povprečij pretokov  $Q_{np}$  padajoč, kar pomeni, da so nizke vode vedno nižje, trendi visokih konic  $Q_{vk}$  pa postajajo vedno večji, kar se odraža v vedno višjem maksimalnem pretoku. Prav ob visoki vodi pa pride do prodnega premika, kar pomeni, da bo tak trend vplival tudi na povečano količino prodonosnosti.



Trend spreminjanja srednjih letnih pretokov na reki Tolminki (Podgornik, 2011, str. 66)



Trend spreminjanja pretoka letnih visokih konic  $Q_{vk}$  (Podgornik, 2011, str. 68)

Premestitveno zmogljivost se običajno računa tudi za visoke vode različnih povratnih dob, saj v takih razmerah prihaja do premeščanja plavin. Spodaj so v preglednici prikazane značilne vrednosti pretokov s sto-, petdeset-, dvajset- in dvoletno povratno dobo (ARSO, 2013).

$Q_{100}$ [m <sup>3</sup> /s]	$Q_{50}$ [m <sup>3</sup> /s]	$Q_{20}$ [m <sup>3</sup> /s]	$Q_2$ [m <sup>3</sup> /s]
140	131	118	72,3

### 3 SPLOŠNO O PLAVINAH IN NJIHOVEM PREMEŠČANJU

#### 3.1 Definicije in splošni pojmi

Sediment oziroma plavina je delec gradiva, ki ga voda prenaša, odlaga ali pa v suspendirani obliki premika. Delci se razlikujejo po velikosti od velikih balvanov do koloidnih delcev in so lahko različnih oblik. Različni sta tudi njihova kemijska sestava in specifična teža (Edwards in Douglas, 1999). Dno vodotoka je običajno sestavljeno iz zrnatega gradiva, ti sedimenti pa se prenašajo, če so hitrosti toka dovolj velike. Premeščanje sedimentov bodo povzročila nihanja in spremembe teh hitrosti, bodisi zaradi naravnih ali človekovih vplivov. Torej bo na enem mestu prišlo do erozije oziroma odnašanja gradiva, drugod pa do njegovega odlaganja (Boiten, 2008).

V hidrološkem slovarju (Mikoš in sod., 2003) najdemo naslednje definicije izrazov.

Erozija – odnašanje in premeščanje prsti s tekočo vodo, z ledeniki, vetrom ali valovi.

Sedimentacija (tudi usedanje) – težnostno usedanje in odlaganje v vodi lebdečega gradiva.

Prvi korak v erozijskem krogu nižanja zemeljskega površja je premeščanje v glavnem drobnozrnatih zemljin z zemeljske površine in v glavnem bolj grobozrnatega erozijskega drobirja iz izvorov plavin v hudourniških območjih po erozijskih jarkih in hudournikih v rečno mrežo. Erozijska in sedimentacija se prepletata na poti rečnih sedimentov skozi celotno porečje od mest nastanka do mest končne sedimentacije. Posledica premeščanja plavin je kalnost in prodonosnost rek. V slovenščini imata ta dva izraza dvojni pomen, in sicer na eni strani izražata masni ali prostorninski tok na časovno enoto, na drugi pa označujeta rečno gradivo, ki se premešča in povzroča kalnost in prodonosnost kot dve vrsti med seboj tesno povezanih naravnih pojavov (Mikoš, 2012a).

Če povzamem po Boitenu (2008), je razlika med rinjenimi in lebdečimi plavinami težko določljiva, saj ni definirana le z velikostjo delcev, ampak tudi z lastnostmi toka. V nekaterih primerih prosta izmenjava med dnom in plavinami niti ni možna in je premeščanje manjše od kapacitete in torej odvisno od razpoložljivosti teh sedimentov. Rečna voda premešča tudi raztopljene snovi, ki pa niso predmet obravnave v tej diplomski nalogi.

V spodnji preglednici so zrnastostni razredi, ki bodo v obravnavi pri določanju količine premeščenih plavin reke Tolminke.



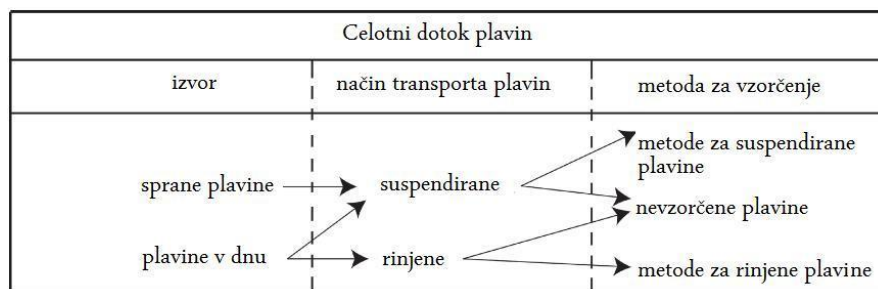
Zrnavostni razredi v uporabi v hidrotehnični in hudourniški praksi v Sloveniji (Mikoš, 2000, str. 17)

oznaka	zrnavostni razred	premer zrn [mm]	premer zrn [µm]
<b>P</b>	<b>šota, humus</b>	<b>nedoločljiv</b>	<b>nedoločljiv</b>
<b>O</b>	<b>organski melj</b>	<b>težko določljiv</b>	<b>težko določljiv</b>
<b>C</b>	<b>glina</b>	<b>&lt; 0.002</b>	<b>&lt; 2</b>
<b>M</b>	<b>melj</b>	<b>0.002 - 0.06</b>	<b>2 - 60</b>
M1	drobni melj	0.002 - 0.006	2 - 6
M2	srednji melj	0.006 - 0.02	6 - 20
M3	debeli melj	0.02 - 0.06	20 - 60
<b>S</b>	<b>pesek</b>	<b>0.06 - 2</b>	<b>60 - 2000</b>
S1	drobni pesek	0.06 - 0.2	60 - 200
S2	srednji pesek	0.2 - 0.6	200 - 600
S3	debeli pesek	0.6 - 2.0	600 - 2000
<b>G</b>	<b>prod</b>	<b>2 - 60</b>	
G1	drobni prod	2 - 6	
G2	srednji prod	6 - 20	
G3	debeli prod	20 - 60	
<b>K</b>	<b>grušč</b>	<b>60 - 120</b>	
<b>R</b>	<b>groblja</b>	<b>&gt; 120</b>	

Ob tem je dobro poznati tudi slovensko ljudsko poimenovanje, kjer se uporabljajo naslednji izrazi:

- glina in melj = mulj,
- drobni in srednji pesek = mivka,
- mulj in mivka skupaj = ilovica ter
- prod in pesek = gramoz.

Površino, po kateri teče vodotok, običajno sestavlja mešanica rečnih sedimentov. Edwards in Glysson (1999) plavine v dnu definirata kot gradivo, ki je mešanica sedimentov, ki sestavljajo dno struge. Premiki teh sedimentov v rečnih vodotokih se lahko dogajajo ves čas ali pa le v določenih pretočnih razmerah. O vzorčenju dna pišeta, da so podatki o velikosti in lastnostih gradiva, ki ga sestavljajo, bistveni za poznavanje dolgoročnih sprememb stanja struge in izračun skupnih plavin, zato nam podatek o sestavi dna struge veliko pove o plavinah. Na tem mestu je torej smiselno prikazati sliko, ki loči izvor plavin in metode njihovega vzorčenja.



Slika 9: Komponente celotnega dotoka plavin v odvisnosti od izvora, načina premeščanja in metode vzorčenja (prirejeno po Gray, Laronne in Marr, 2010)

Ko je govora o plavinah, je dobro poznati splošne pojme. V hidrološkem slovarju (Mikoš in sod., 2003) se v slovenščini uporablja sledeče definicije.

Plavine v dnu – mešanica rečnih sedimentov (rinjenih plavin), ki sestavljajo dno struge vodotoka.

Spranost oz. stalna kalnost – razmeroma drobno gradivo, skoraj stalno lebdeče v sistemu vodotoka, ki se skozi celotni sistem vodotoka premešča brez usedanja.

Rinjene plavine – pesek, melj, prod in drug erozijski kamninski drobir, največkrat ne v lebdečem stanju, ki ga vodni tok premešča po dnu struge vodotoka.

Lebdeče plavine oz. kalnost – plavine, ki daljše obdobje lebdijo v vodnem toku in se ne dotaknejo dna oz. se ne usedejo na dno.

Dotok plavin – celotni odtok plavin s prispevne površine ali določenega mesta v določenem obdobju. Obsega lebdeče in rinjene plavine (kalnost in prodonosnost). Navadno je izražen v teži ali volumnu na enoto časa.

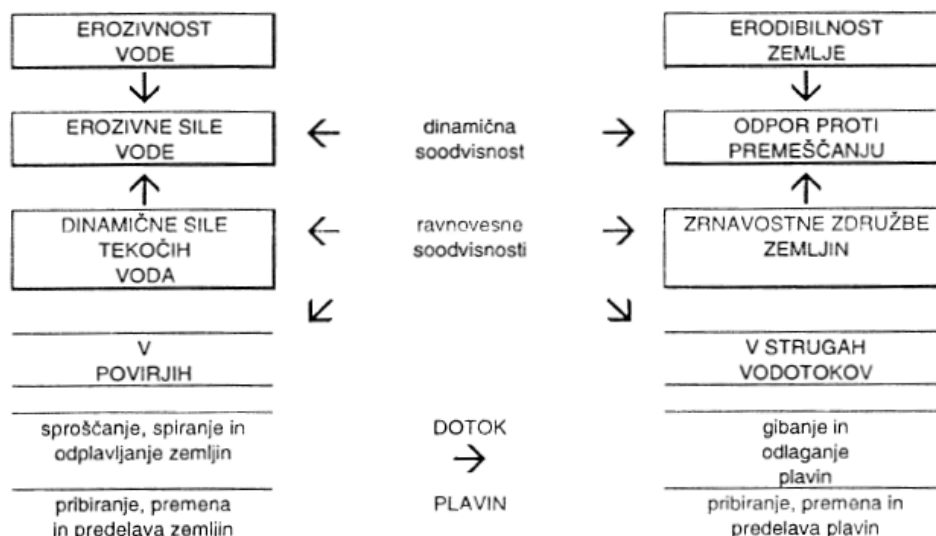
Stopnji prodonosnosti in kalnosti sta odvisni od toka vode, ta pa je spremenljiv in ni odvisen le od lokalnega terena, temveč tudi od vodostaja, ki pa je odvisen od količine padavin. Največji vpliv na vodostaj ima običajno dež oziroma tajanje snega, ki z večanjem pretoka poveča pritisk na dno, s tem pa tudi poveča verjetnost začetka gibanja delcev. Večja hitrost poveča tudi stopnjo erozije. Ob tem kažejo vremenske spremembe tudi vpliv na moč in pogostost poplav in drugih vremenskih pojavov. Obilne padavine bodo tam, kjer je malo vegetacije, povzročile povečan odtok, s tem pa v vodotok odnesle tudi delce. Prav tako bo povišan vodostaj z obrežja odnesel sedimente. Značilno je, da se večina pretoka plavin zgodi v času visokih voda. Ob tem tudi človek s svojim antropogenim vplivom v določenih primerih vpliva na erozijske procese, kot

na primer z izdelavo jezov, kanalov in raznih melioracijskih objektov, s čimer vpliva na tok sedimentov, s tem pa posledično tudi na rečne habitate (Kemker, 2014).

Kompleksnost hidrološkega okolja in večanje potreb po podatkih ustvarjata tudi potrebo po razvoju naprav in metod za pridobivanje reprezentativnih vzorcev za namen boljšega poznavanja procesov erozije, premeščanja in odlaganja gradiva v vodotokih. Potreba po jasnem poznavanju hidrogeomorfoloških procesov, povezanih s sedimenti, zahteva meritve lebdečih in rinjenih plavin za veliko različnih hidroloških okolij. Kompleksnost pojava sedimentacije v vodotokih povzroča precej zahtevne in drage meritve v primerjavi s pridobivanjem drugih hidroloških podatkov. Edwards in Douglas (1999) sta potrebe po teh podatkih razdelila v sledeče kategorije:

1. ocena premeščanja plavin z ozirom na različne dejavnike okolja – geologijo, zemljino, klimo, odtok, topografijo in prispevno površino,
2. ocena premeščanja plavin z upoštevanjem različne uporabe prispevne površine,
3. časovna razdelitev koncentracij sedimentov in delež transporta v rekah,
4. ocena erozije in odlaganja v strugah,
5. količina in velikost sedimentov,
6. lastnosti odloženih sedimentov v povezavi z njihovo velikostjo in lastnostmi toka,
7. povezava med kemično sestavo sedimentov, kakovostjo vode in rastlinstvom.

Kakor koli, Boiten (2008) razlaga, da so podatki o količini premeščenih plavin netočni iz dveh razlogov. Prvi je ta, da je odvisnost med premikanjem vode in enačbo za izračun premeščanja plavin zelo kompleksna in zato težko matematično določljiva. Drugi razlog pa je, da so meritve netočne in zato formule za izračun premeščanja ni mogoče preveriti. Spodnja slika prikazuje soodvisnost erozijskih pojavov in nakazuje, zakaj je določitev količine plavin tako zahtevna.



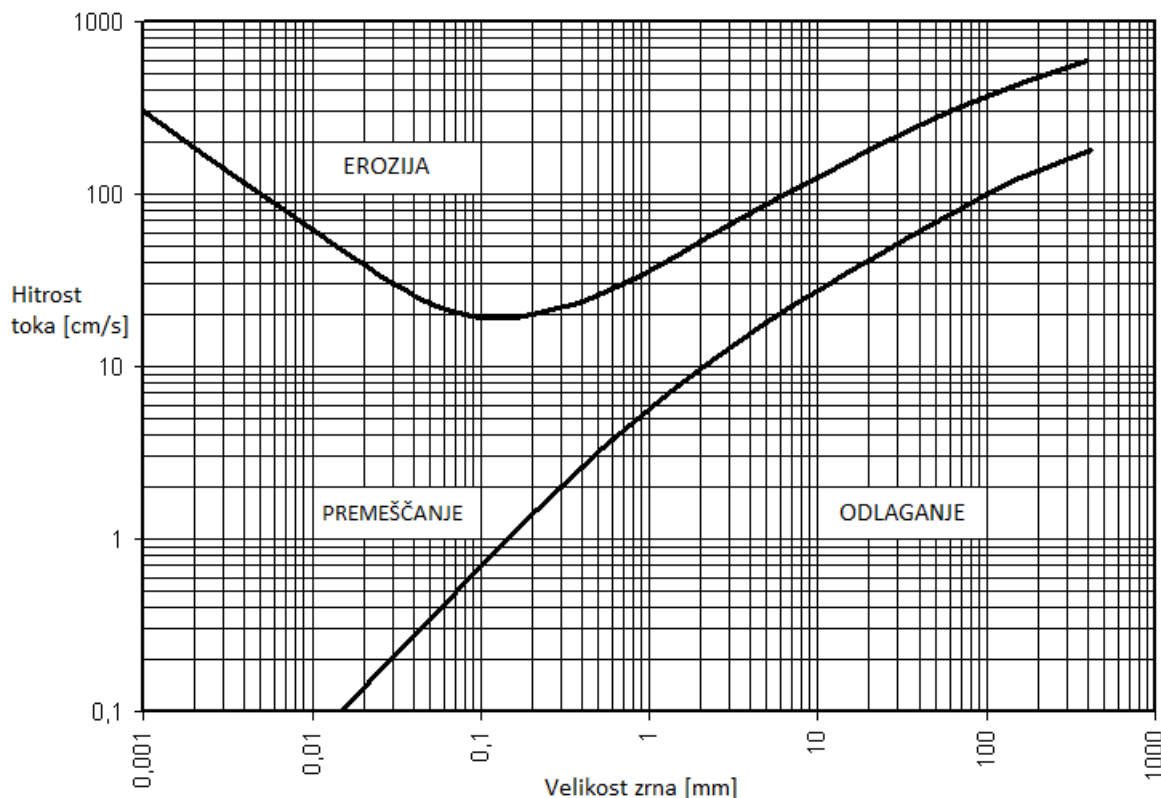
Dinamika vodne erozije (Mikoš, 1995, str. 350)

Slovenija ima zelo razvejano hidrografsko mrežo, saj jo prepreda več kot 25.000 kilometrov strug vodotokov in 8000 km hudournikov, ob tem pa je za to državo značilna relativno zmerna intenziteta erozijskih pojav, saj se letno sprosti okoli 5 milijonov kubičnih metrov erozijskega drobirja. Pri tem je pomembno poudariti, da prihaja do velikih odklonov od povprečja, saj se večina teh količin sprošča in odplavlja iz posameznih hudourniških območij, kjer se v nekaterih letno sprosti tudi  $2000 \text{ m}^3/\text{km}^2$ , kar za nekajkrat presega povprečno specifično sproščanje v hudourniških območjih, ki znaša  $500 \text{ m}^3/\text{km}^2$  (Mikoš, 1995).

### 3.2 Osnove prodnega premika

Zapleteni proces prodnega premika je povzet po Mikošu (2000). Ker so lokalne pretočne hitrosti  $v$  odvisne od svoje razporeditve, ta razporeditev pa je običajno odvisna od strižnih napetosti na dnu struge  $\tau_0$ , se mejno stanje stabilnosti zrn plavin na dnu vodotoka največkrat izraža v odvisnosti od strižnih napetosti  $\tau_0$ . Znani računski izrazi za določitev začetka prodnega premika so bili določeni v laboratorijskih pogojih ob uporabi plavin z relativno enovito velikostjo zrn. Definicija začetka prodnega premika predpostavlja konstantno potisno silo vodnega toka na zrno plavin, kakor tudi konstantno povprečno izpostavljenost tega zrna. Torej gre za razliko med hidravlično obtežbo vodnega toka na zrno, izraženo kot povprečna strižna napetost, in odporom zrna proti premiku, ki pa je odvisen od potopljene teže zrna. Pogosto se v rečni hidravliki uporablja logaritmčni zakon upora toku vode, ki sloni na predpostavki, da je

vertikalni hitrostni profil logaritmično razporejen. Odvisnost erozije, premeščanja in odlaganja od hitrosti toka in velikosti delcev je lepo prikazana s Hjulströmovim diagramom.



Hjulströmov diagram (vir: Wikipedia)

Iz skoraj nešteti laboratorijskih poizkusov, ki so potekali na omenjeni način, so se v preteklosti izpeljale številne v praksi uporabljane enačbe za premestitveno zmogljivost za rinjene plavine, iz njih pa je mogoče ob poznani krivulji trajanja pretokov dobiti oceno prodonosnosti. Na osnovi takega računa je možno oceniti mejne prostornine odvzemov plavin ali pa prostornine plavin, ki jih bo treba odstraniti iz prodnih zadrževalnikov. V vsakem primeru je vredno izvesti primerjalne račune prodonosnosti, na primer ko dimenzioniramo pretočne prereze vodotoka. Če rinjenim plavinam dodamo še lebdeče, dobimo skupno premestitveno zmogljivost vodotoka. Groba zrna plavin se v toku pri manjših hidravličnih obtežbah najprej premeščajo po dnu kot rinjene plavine, koncentracija lebdečih plavin blizu dna pa je pri tem odvisna od pretoka rinjenih plavin.

Poraja se vprašanje, zakaj je sploh treba poznati parametre v zvezi s plavinami. Odgovor tiči v tem, da ima premeščanje sedimentov globok vpliv na potoke, reke, jezera in zaježitve. Zaradi zmanjšane kapacitete in spremenjene kakovosti vode vpliva na morfologijo vodotokov in

življenjske prostore rek in zajezev, saj se številna hranila in onesnaževala, kot so na primer težke kovine in določene kemijske spojine, vežejo prav na delce, ki jih premešča voda. Ne glede na vpliv pa sta njihova količina in spremenljivost med najslabše merjenimi in poznanimi parametri, in sicer v prvi vrsti zaradi zahtevnosti meritev (Duttneel in sod., 2011). Drugi vpliv je, da visoke koncentracije teh snovi onemogočajo prodor svetlobe in s tem posledično zavirajo fotosintezo. Ob tem posedene plavine lahko zaradi spreminjanja oblike in ravni dna struge ovirajo promet na vodotoku (Gartner, 2002). Prav tako škodujejo razvoju rečnih habitatov; ko se prod uporablja tudi kot agregat, je njegova kakovost bistveni parameter pri končni kakovosti iz njega izdelanega proizvoda.

Za Tolminko velja, da prodonosnost vpliva na varnost ob reki ležečih objektov, predvsem pa se izvaja praznjenje lovilnih jam zaradi ohranjanja kapacitete akumulacijskega bazena HE Doblar, kjer bi se ta prod odlagal in zmanjšal njegovo efektivno prostornino. Ob tem se jezero uporablja tudi za turistično plovbo, preveliko zastajanje proda in posledično nižja gladina bi lahko onemogočala to dejavnost. Med drugim je na tem področju zelo razširjen tudi ribolov. Na drugi strani pa so sedimenti nujni za grajenje habitatov in dajejo hranila podvodni vegetaciji, tako da njihov dotok ne sme biti povsem prekinjen, pač pa skrbno načrtovan. Ob tem se je treba zavedati, da so reke življenjski prostor za določene organizme. Spremembe v vodi rezultirajo tudi v spremenjenih ekosistemih in njihovi pestrosti. Prav s tem namenom so Šumer, Povž in Jesenšek (2003) izvedli raziskavo o vplivu mehanskega onesnaženja zaradi plazu na ribe, talne nevretenčarje in perifiton v reki Soči od Čezsoče do Tolmina. Plaz izpod Mangarta leta 2000 je imel daljnosežne in obširne posledice tudi na žive organizme v vodotokih. Zaključki raziskave kažejo, da ima premeščanje drobnozrnatih sedimentnih kamnin vpliv na ribjo populacijo, saj so bile na mestu, kjer je prihajalo do največjega usedanja in posledično zamuljevanja, zabeležene tudi največje spremembe pri ribji populaciji na račun zmanjšanja njihovega števila. Zamuljenost ima največji vpliv na ribe v času drsti, saj je za iker in zarod uničujoče predvsem usedanje lebdečih delcev, ki se lepijo na površino iker in zapolnjujejo življenjske prostore ter jih tako zadušijo. Rast rib je odvisna od hrane, talnih nevretenčarjev, na katere ima visoka vsebnost kalnih delcev prav tako negativen vpliv, obenem pa ostrorobi delci poškodujejo ribam škrge, kar vodi v dovzetnost za različne okužbe.

Prav tako so Crosa in sodelavci (2010) prišli do zaključka, da spuščanje sedimentov iz akumulacij hidroelektrarn zaradi visokih konic skupnih lebdečih plavin nima zanemarljivega vpliva na ekosistem in bi zato bilo potrebno regulirano spuščanje teh snovi v vodotoke; tej temi

bi bilo torej treba posvetiti več pozornosti in uvesti strožje omejitve. Pri pregradah je to mogoče, v primeru Tolminke pa so količine plavin odvisne predvsem od dogodkov na erozijskih žariščih.

Vprašljiva seveda ni samo količina, ampak tudi kvalitativni parametri, saj se z njimi prenašajo določene težke kovine in kemijske spojine. Vendar v dolini Tolminke ni moč najti izvora težkih kovin ali drugih onesnaževal, ki bi se prenašali z lebdečimi plavinami.

### 3.3 Lebdeče plavine

Kalnost v reki povzročajo kalni delci, načeloma drobni sedimenti velikosti glin in melja, ki v reko pritekajo zaradi površinskega spiranja zemljin in se skozi rečni sistem premeščajo v suspenziji tudi ob normalnih pretokih skoraj neovirano, to je brez posebnega odlaganja in s tem izmenjave z rečnimi sedimenti v dnu. Poleg te kalnosti, ki bi jo lahko imenovali tudi naravna, v času povišanih pretokov v rekah pomemben del h kalnosti prispevajo tudi lebdeče plavine oziroma suspendirane snovi. Gre za bolj grob sediment s pomembnim deležem peskov (0,06 do 2 mm), ki so v suspenziji le ob povišanih pretokih; lahko bi jo poimenovali tudi poplavna kalnost, saj se ob spremenjenih hidravličnih pogojih delci lahko ponovno posedejo in odložijo na dno reke. Lebdeče oz. suspendirane plavine so odvisne od dotoka erodiranih zemljin iz povirnih delov, stranskega dotoka iz hudourniških pritokov in rečnega erozijskega delovanja. Za naravno kalnost kot del erozijsko-sedimentacijskega kroga je značilna velika prostorska in časovna spremenljivost, ki jo določajo trenutne lokalne hidravlične razmere v reki. Za razumevanje procesov premeščanja rečnih sedimentov je nujno dobro poznavanje glavnih hidravličnih parametrov rečnega toka in parametrov rečnih plavin (povzeto po Mikoš, 2012a). Sprane plavine so v bistvu tiste, ki so zmožne, potem ko so enkrat prišle v vodotok, v lebdečem stanju prepotovati do konca določenega odseka.

Horowitz (1995) v svoji publikaciji zaključuje, da se količina suspendiranih delcev s časom in v prostoru spreminja ob konstantnem ali spremenljivem pretoku in zato pretok ne bi smel biti odločilni dejavnik, kje in kdaj naj bi se jemalo vzorce suspendiranih plavin. Ti podatki so lahko uporabni za proučevanje kakovosti vode in za razne geokemične raziskave, zelo pa so uporabni za opazovanje kratkoročne časovne in prostorske spremenljivosti vsebnosti kemikalij v vodnih telesih, kot tudi za izračun letnih količin teh snovi.

### Načini merjenja lebdečih plavin

Za analizo letne kalnosti v izbranem hidrološkem prerezu na reki nujno potrebujemo meritve kalnosti, pri čemer moramo upoštevati zakonitosti dinamike rečne kalnosti, to je prostorske in časovne spremenljivosti koncentracij in zrnivosti suspendiranih snovi v reki. Na voljo so različni načini terenskih meritev koncentracij in zrnivosti rečne kalnosti, vsak s svojimi prednostmi in pomanjkljivostmi (Mikoš, 2012b). Odvzemne naprave za vzorce vode segajo od povsem enostavnih zajemnih posod do posebej izoblikovanih, ribam podobnih odvzemnih naprav. Hidrodinamična oblika odvzemne naprave naj bi omogočala stabilno lego naprave v vodnem toku in pri tem na odvzemnem mestu čim manj ovirala vodni tok. Posebna vrsta naprav so izokinetske odvzemne naprave, pri katerih tekoča voda vteka v napravo na sprednji (protitočni) strani in jo na zadnji (sotočni) strani ponovno zapusti. S tem dosežemo, da je hitrost vtekajoče vode v lovilno napravo enaka hitrosti vodnega toka v okolici odvzemne naprave. V zadnjem času se uveljavljajo avtomatske odvzemne naprave, ki so posebej praktične pri hitro menjajočem se pretoku voda. Take odvzemne naprave lahko predhodno časovno programiramo ali pa jih krmili posebna dodatna naprava, ki spremlja relevantne hidravlične parametre vodnega toka (vodostaj, hitrost ...). Vzorec vode se v takih napravah odvzema s pomočjo posebne vodne črpalke, ki vodo črpa v posebne posode, ki so nameščene v odvzemni napravi (Mikoš, 2000). Poznamo tudi samodejne sonde, kot sta laserska difrakcija in račun koncentracije na podlagi motnosti.

### **3.4 Rinjene plavine**

Prodonosnost je na eni strani izraz za pojav in na drugi za dejanski pretok rinjenih plavin, ki se premeščajo po dnu ali poskakujejo v rečni tok, a ostajajo v bližini rečnega dna, običajno kot premikajoče dno v obliki din in antidin, nekaj pa se ga seveda premika tudi kot suspendirano gradivo. Izpeljanih je bilo mnogo formul, ki opisujejo mehanizem premikanja rinjenih plavin, nekatere so bile pridobljene popolnoma eksperimentalno, druge pa po modelu mehanizma premeščanja. Večini je skupno, da vsebujejo konstante, ki jih je treba prilagoditi glede na območje vodotoka (Boiten, 2008).

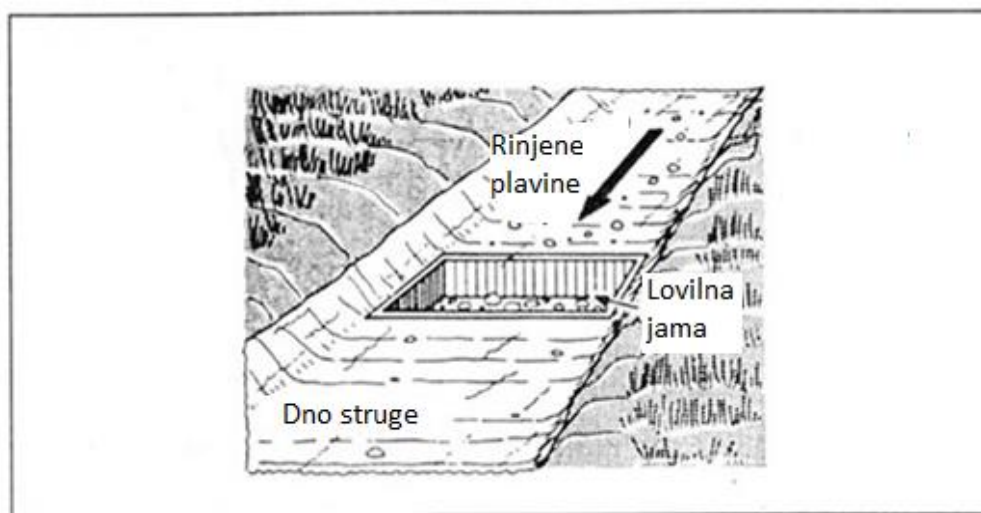
Merjenje količine rinjenih plavin je zahtevno zaradi več razlogov. Če se uporablja vzorčevalnik, ki je postavljen na dno ali blizu njega, bo vplival na tok in mero prodonosnosti. Še pomembnejše je, da se obseg prodonosnosti in hitrost ob dnu znatno spreminjata glede na čas in prostor, tako točkovno odvzet vzorec torej ni nujno reprezentativen za srednjo vrednost v nekem smiselnem



časovnem intervalu. Razlog za to je nestalno premikanje rinjenih plavin z manjšo srednjo hitrostjo od hitrosti vode (Edwards in Glysson, 1999).

### Načini merjenja rinjenih plavin

Za merjenje količine plavin se uporabljajo različni pristopi in metode. Med njimi so neposredne meritve najpreprostejši način za merjenje količine premeščanja rinjenih plavin, pri čemer se v strugi izkoplje jama in se potem izmeri teža gradiva, ki je padlo vanjo. Za ta namen se lahko uporabi tudi območje od postavljenega jezusa ali merilnega žleba gorvodno, a težko je vedeti, ali se je tam zadržalo vse gradivo ali ne. Hudson (1993) opisuje, da lahko z merjenjem celotnega dotoka plavin, ki je bil naplavljen v zbiralnikih, izključimo težavo z oceno razmerja dotoka, ampak le v primeru, ko je zbiralnik dovolj velik, da zajame ves dotok, saj bi se v nasprotnem primeru del sedimentov ne zadržal v njem. Za točne ocene in točen izračun celotnega dotoka se morajo meritve izvajati v intervalih. Najlažje je dobiti oceno v primeru, ko je zbiralnik popolnoma suh. Na voljo so tudi računalniški programi za izračun količine plavin na podlagi površine in globine vode, kjer je celotna masa izračunana na podlagi gostote in volumna plavin. Bolj običajno je ocenjevanje s posebnimi vzorčevalniki, a se v nalogi s tem ne bom ukvarjal, saj je na voljo mnogo takih naprav, pri vseh pa je težava dobiti točen in reprezentativen vzorec. Spodaj je torej shematski prikaz jame v strugi, ki je lahko uporabna za podatek o premeščanju rinjenih plavin.



Slika 10: Osnovna ideja lovilne jame za vzorčenje rinjenih plavin (prirejeno po Hudson, 1993)

V aluvialnih rekah je geometrija struge pogojena ne le s tokom vode, ampak tudi s sedimenti, ki jih voda prenaša. Ob spremembah pretoka se spremeni tudi pretok plavin in posledično tudi geometrija struge, kar spremeni raven vode in posledično premeščanje plavin.

## 4 PREMEŠČANJE PLAVIN REKE TOLMINKE

### 4.1 Dotok plavin

O dotoku plavin reke Tolminke sta Fazarinc in Pintar (1998) naredila oceno hidrodinamičnih značilnosti in reko razdelila v tri dele.

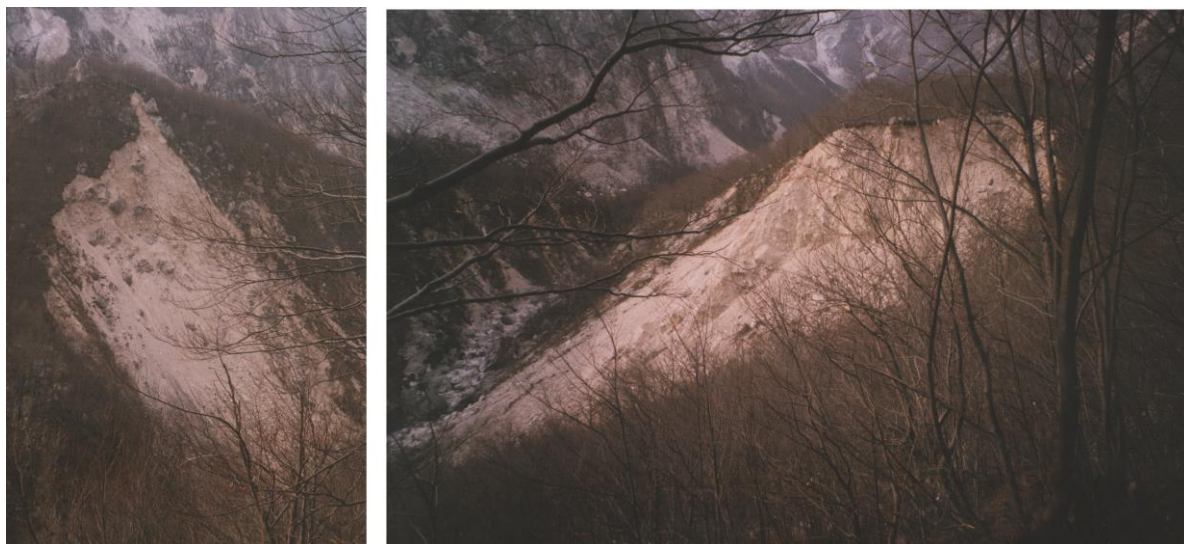
Pri del je odsek od izvira do pregrade pri planini Polog, kjer se z vzhodnih pobočij Batognice in Velikega Kuntarja proti dolini Tolminke spušča hudourniški prodni tok, imenovan Kuntarski potok, ki je ob normalnih hidroloških razmerah suh. Tik nad sotočjem s Tolminko prodne mase zajezuje večja prodna pregrada iz lomljenca v betonu, ki je bila zgrajena že leta 1952 in jo je v naslednjih letih popolnoma zapolnil prod. Visoka voda je leta 1965 z nepredvideno velikimi količinami prinesenega gradiva poškodovala podslapje, tako da je prišlo do njene porušitve in se je vse gradivo sprostilo. Leta 1966 je bila zgrajena nova pregrada, ki je bila po potresu 1998 obnovljena. Po ocenah naj bi pregrada zadrževala okoli 150.000 m<sup>3</sup> gradiva in bistveno vpliva na količino proda v strugi Tolminke.



Slika prodne pregrade (Jana Podgornik, 2011, str. 31)

Od tod teče Tolminka po ostankih ledeniške morene, kjer je kljub stalno prisotni tendenci poglobljanja odsek relativno stabilen, saj skelet balvanov in skal omogoča sprotno izničenje viškov kinetične energije. Razen dveh večjih usadov tik pod sotočjem Tolminke in Kuntarskega potoka (vzpetina Železje) je tok reke stabilen brez vidnih znakov povečane erozije, vendar so padci Tolminke dovolj veliki, da reka postopoma odnaša vse prodno gradivo, ki prispe vanjo s posameznimi pritoki.

Glavni vir plavin so hudourniški pritoki Tolminke s severovzhodnih obronkov povodja pod Tolminskim Kukom, kjer se ob visokih vodah pojavijo izraziti prodonosni tokovi. Ne glede na velikost povodja je trenutno najmanj prodonosen največji hudourniški pritok, ki se v Tolminko steka s pobočij Tolminskega Migovca. Vendar glavni potencialni vir predstavljata dva starejša usada tik pod izvirov Tolminke.



Usada na desnem in levem bregu Tolminke (Fazarinc, 1998)

Ta odsek je omejen z okoli 10 m visoko prodno pregrado pri planini Polog. Tik nad pregrado je nekaj 100 m dolg zastajajoč odsek. Sama pregrada je sorazmerno dobro ohranjena.





Pregrada pod planino Polog (Podgornik, 2011, str. 69)

Drugi del se nadaljuje od pregrade pri Pologu, kjer je korito Tolminke bolj sprano in je, čeprav strugo še vedno oblikujejo skeleti večjih skal in balvanov, na več mestih sprano do hribinske podlage. Za celoten odsek velja, da Tolminka premešča večino prodnega gradiva, ki prispe v reko. Na celotnem delu ni zastajajočih odsekov. Poleg zmernih erozijskih procesov ob sami rečni strugi so glavni vir plavin na tem območju pritoki, med katerimi sta najmočnejša Podpasica in Pščak. Dotoki plavin se pojavljajo predvsem ob neurjih, ko se aktivirajo akumulirane prodne mase. Naslednji stalni vir plavin ja star, vendar aktivni pobočni grušč na levem pobočju pod planino Polog, ki je z dodatnim podorom leta 2004 še povečal svoj doprinos k prodonosnosti in je opisan posebej, saj je njemu namenjena največja pozornost. Ta del se razteza do spodnjih korit.

Na koncu je odsek od spodnjih korit, kjer so korita skupaj z Zadlaščico dinamično dovolj aktivna, da skozi potuje vse prodno gradivo, ki ga Tolminka premešča v zgornjem toku. Pri Tolminu pa se padeč reke zmanjša. Prične se zastajajoči odsek. Akumulacije prodnih mas so najvidnejše pod mostom in na območju razširitve pri čistilni napravi za mesto Tolmin z okolico. Viški proda potujejo tudi v Sočo in s tem obremenjujejo bazen HE Doblar, ki predstavlja ključno mesto, kjer so prekinjeni naravni procesi na reki Soči.

## 4.2 Posledice potresa leta 1998 in vpliv na procese premeščanja plavin

Najpogostejši vzrok za nastanek pobočnih procesov v dolini Tolminke sta namočenost prsti in geološka zgradba, kjer te procese najbolj pospešujejo kratkotrajne intenzivne padavine, kot tudi dolgotrajne zmerne padavine, ki povzročijo visok vodostaj in hudourniške poplave, posledično pa tudi usade in plazove (Mikoš, Brilly in Ribičič, 2004).

Vsem tem procesom pa lahko zelo pripomorejo tudi drugi dejavniki, ki pospešujejo erozijo. Mednje spada potres, kakršen je bil 12. aprila 1998. O njem Mrak (1999) piše, da je bil po moči (z magnitudo 5,8) najmočnejši v 20. stoletju na slovenskem ozemlju in je poleg gmotne škode, ki jo je povzročil na Bovškem, Kobariškem in Tolminskem, v veliki meri prizadel tudi naravo. Izračunano nadžarišče je bilo na podlagi opazovalnic zahodno od Lepene, na podlagi sprememb v naravi pa je bilo določeno nekoliko južneje, pod krnskim pogorjem. Območje največjih sprememb v naravi je potekalo od Bovca prek Krna do doline Tolminke. Prav tu je prišlo do največje koncentracije sprememb, kjer je z Osojnice ogromna količina kamnine zgrmela v dolino na treh pobočjih. Komac in Zorn (2007) navajata, da je v širši okolici izvira Tolminke prišlo do več kot 50 podorov različnih velikosti, večino katerih lahko razvrstimo med zdrse po različnih sistemih razpok in zdrse v močno razpokani kamnini.



Osojnica pred (levo) in po potresu leta 1998 (desno) (Metod Kavčič)

Ti pojavi spremenijo sorazmerno kompaktno in vezano hribino v nevezano gmoto skal, grušča in proda. Slednje vrste gradiva je zaradi drobljenja največ. Prod in grušč se tudi najlaže premeščata z vodo in s snegom. V spodnji preglednici so ocene količin sproščenega gradiva po potresu.

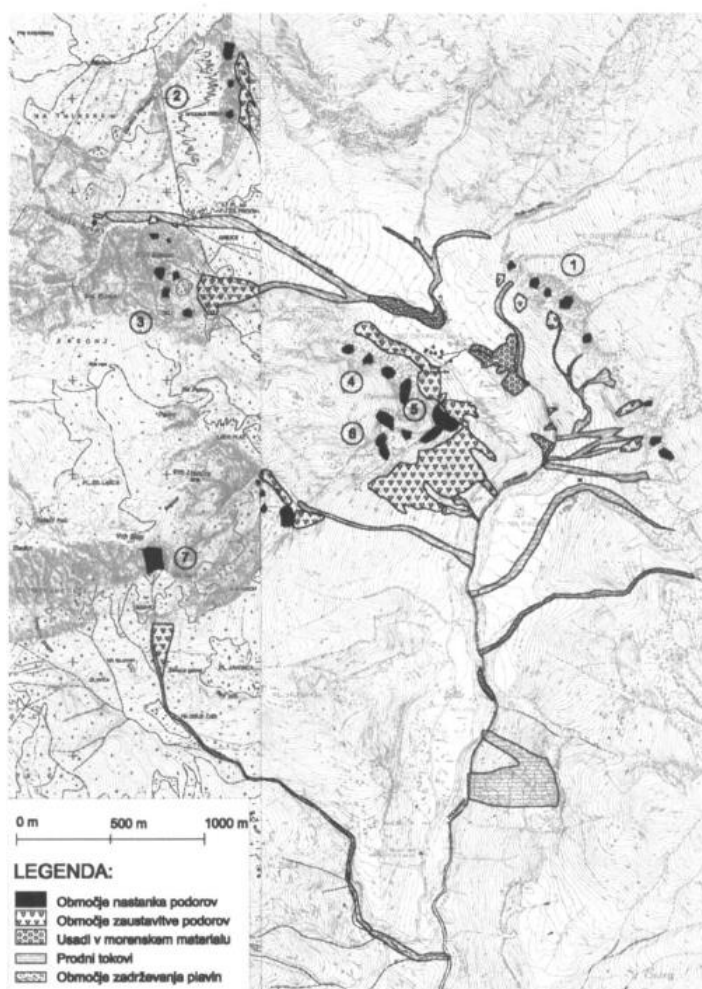
Preglednica 1: Ocene količine sproščenih hribin po potresu leta 1998 v povirju Tolminke (prirejeno po Mrak, 1999)

<b>Podor</b>	<b>Ocene količine sproščenega gradiva [m<sup>3</sup>]</b>
Večje število podorov pod dolino Dobrenjščico	Vsi podori skupaj; nekaj tisoč
Podor pod Prehodci	Nekaj tisoč
Večje število podorov v vzhodni steni pod Malim Kuntarjem	Nekaj tisoč
Podori v severovzhodni steni Osojnice	Nekaj deset tisoč
Podori v vzhodni steni Osojnice	Nekaj tisoč
Podori v južni steni Osojnice	Nekaj sto tisoč
Podor pod vrhom Slop	Nekaj deset tisoč

Nadaljujem s povzemanjem Fazarinca in Pintarja (1998) z opisom posameznih žarišč na povodju Tolminke in z oceno vpliva na prodonosnost in druge dinamične značilnosti rek po potresu leta 1998. Hudournik za Lipnikom, kjer se prodni tok aktivira le ob neurjih in so se ob potresu zaradi podorov aktivirale precejšnje prodne mase, zmerno vpliva na bogatenje toka. Skalni podor Osojnice je vplival na nastanek erozijskih žarišč na tem predelu, a ker je večina zrušenega gradiva na pobočju nad potjo proti izviru Tolminke in proti reki potekajo le trije ozki jeziki, ki jih tvorijo posamezni balvani in predvsem prodi in grušči, od tod odteka le drobnejše frakcije. Kuntarski potok je prodni tok, ki prejema vode in prodne mase s širšega vzhodnega dela območja Batognice. Ogromne prodne mase se zadržujejo za pregrado nad izviro Tolminke, zato se tu zadržuje in naprej proti Tolminki nadzorovano spušča le manjša količina proda. Do leta 2004, ko je prišlo do skalnega podora v Pologu, so bili dva večja in več manjših usadov pod Železjem glavni vir plavin v zgornjem toku Tolminke. Sproščanje je sicer postopno, vendar se lahko aktivira v takšni meri, kot je prodonosna zmogljivost Tolminke. Dolgoročno na prodonosnost vplivajo hudournik na planini Prodi, kjer je prodonosni tok najbolj izrazit, ter podori nad suhimi hudourniki nad planino, kjer se je med potresom sprožilo več manjših podorov in hribinskih zdrsov. Večina skal in balvanov je zastala na območju tik pod odlomi, drobnejše frakcije (grušči in prodi) pa se premeščajo po hudourniških strugah. Prodni tokovi so sedaj bistveno močnejši, kot so bili pred potresom, vendar se prod proti Tolminki steka počasi, torej je hitrost prodnega toka odvisna predvsem od padavin in hidroloških pogojev na območju hudournikov. Vsekakor pa ti procesi zagotavljajo povečan trajni dotok proda v korito Tolminke,

ki ga bo reka nato premeščala proti izlivu. V teh grapah ni pričakovati večjih hipnih sproščanj gradiva.

Zadnji je bil že omenjeni pobočni grušč nasproti planine Polog, ki je na prodonosnost vplival že pred skalnim podorom, saj so se zaradi preperevanja in velikih naklonov stalno aktivirale nove plasti vrhnjega sloja hribine in potovale proti Tolminki. Proces ni nastal zaradi potresa, vendar je z vidika sproščanja plavin zelo pomemben in je odvisen predvsem od stopnje preperelosti ter intenzitete padavin, ki prodne mase premeščajo proti Tolminki, torej je proces postopen in stalen.



Situacija zgornjega dela povodja Tolminke z zabeleženimi erozijskimi pojavi in njihovimi posledicami po potresu leta 1998 (Fazarinc in sod., 1999, str. 158)

Če želimo oceniti količino premeščanja plavin, lahko to storimo na različne načine. Mrak (1999) je z uporabo Gavrilovičeve enačbe prišel do zaključka, da se pri izračunu sproščanja in odplavljanja zemljin v prispevnem območju Tolminke pojavljajo vse vrste erozij. Med njimi

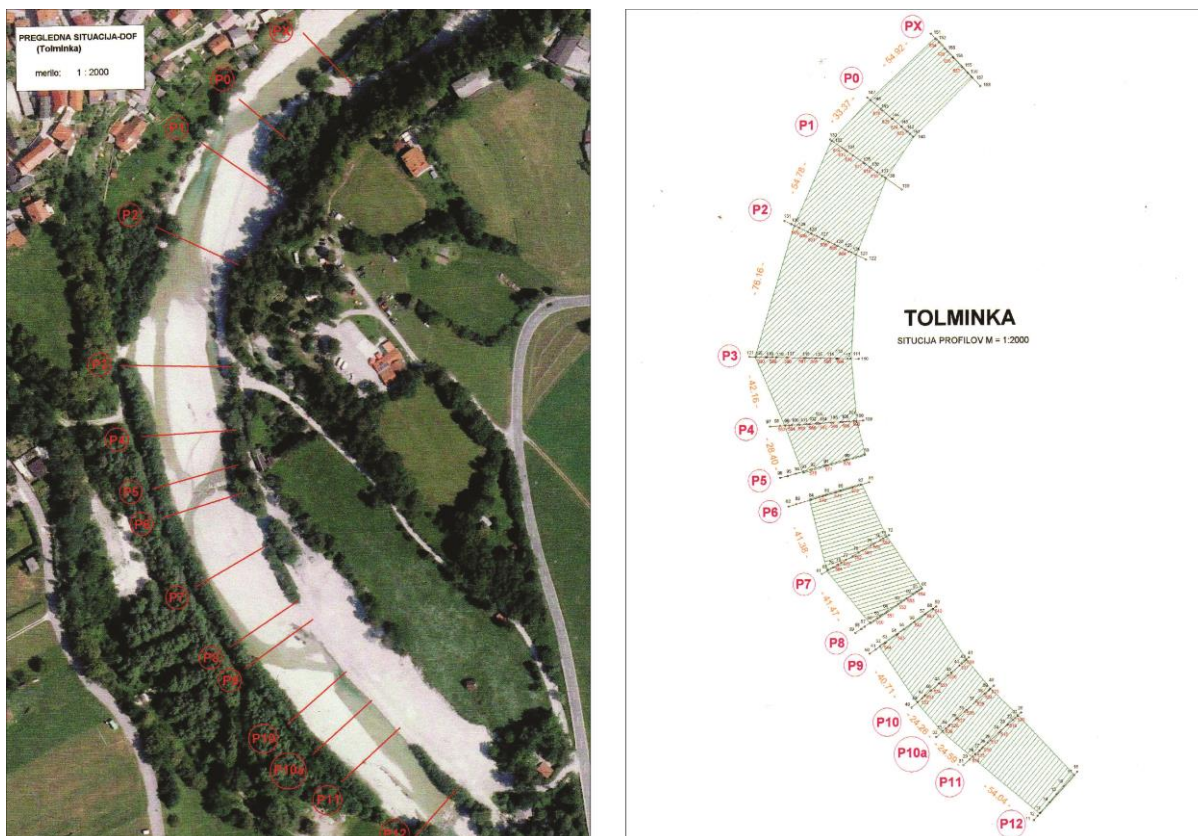
sta najpomembnejši vodna in plazna, od potresa leta 1998 pa se jima je pridružila še podorna. Snežna erozija nima vidne vloge. Ker je vrednotenje globinske in bočne erozije zahtevno, se v Sloveniji v glavnem računa z uporabo prirejene Gavrilovićeve enačbe, ki pa upošteva le površinske procese.

Določanje količine lebdečih plavin je relativno preprosto, dobiti reprezentativen vzorec rinjenih plavin pa je težavno. Kot že opisano, je najlažji način za oceno prodonosnosti ta, da se v strugi izkoplje luknja in se kasneje odstrani in stehta gradivo, ki je padlo vanjo. Na enak način se lahko uporabi tudi bazen za jezom ali pregrado, pri čemer je treba posvetiti posebno pozornost temu, ali se je tam zadržalo vse gradivo ali le del njega. Seveda pa je takšna ocena zelo draga in časovno zahtevna, če se izvaja zgolj z namenom ocene prodonosnosti.

Zaradi pričakovanih povečanih količin plavin v povodju Tolminke po potresu leta 1998 je Vodnogospodarski inštitut (Fazarinc, 1999) izdelal načrt vodnogospodarske ureditve za lovilne jame in deponije naplavin iz jezera HE Doblar na reki Tolminki. Ovrednoteno je bilo, da se bo povprečna prodonosnost reke povečala za 10–20 odstotkov, ob neurjih in dodatnih sunkih pa bistveno več. Ker bi se ob takih razmerah znižala varnost na teh območjih pa tudi ker je obveza upravljavca bazena HE Doblar, da vzdržuje stabilne razmere vodnega režima na območju bazena, so izdelali lovilne jame za zadrževanje proda. Na območju razširjenega dela Tolminke tik nad čistilno napravo so na podlagi študije (Fazarinc, 1999) izdelali lovilne jame, kjer so zastajanje proda zagotovili z vzpostavitvijo razširjenega odseka s poglobitvijo osnovnega korita.

Pri določanju količine premeščenih plavin lahko torej uporabim podatke, ki jih mora koncesionar posredovati koncendentu za obračun vodnega povračila na izkopani prod. Pri tem je bistveno poznati velikost jame, kar je v primeru, ko je ta suha, nezahtevno; meritve se izvajajo z geodetskimi metodami, kar je prikazano v geodetskem elaboratu.





Slika 11: DOF Tolminke (levo) in situacija profilov (desno) (vir: Geotmin, 2015)

Razširjeni del korita znaša od 40 m v dnu pa do 55 m na območju vode. Poglobitev znaša približno 1,5–1,8 m. Na gorvodni in dolvodni strani je prodna jama omejena s tremi pragovi-rebri, ki so jih postavili iz večjih, s piloti sidranih skal. Razdalja med zgornjima pragovoma je 100 m, med spodnjima pa 150 m. Skupna prostornina obeh jam 18.000 m<sup>3</sup>.

Na levi brežini je območje manipulativne površine, vendar sejanje in sortiranje tu nista dovoljena, ker bi se namreč s tem porušila naravna struktura površine prodišča. Zato se izvajata na separaciji Godiča. Na desnem bregu pa je bilo treba ohraniti vzdolžni tok Tolminke s čim bolj stacionarnimi razmerami v prečnem prerezu, zato je bilo treba območje nadvišati nad koto visokih voda. Na tem mestu so uredili deponijo usedlin iz akumulacije HE Dobljar in kasneje tudi neuporabnih, iz lovilnih jam leta 2005 izkopanih naplavin.

Desna brežina je v celoti obložena s skalami in sidrana z lesenimi piloti. Nad koto visokih vod pa so zasajene vrbe. Odstranjenih je bilo tudi 20.000m<sup>3</sup> m<sup>3</sup> plavin nad stalno lovilno jamo do krivine s Tolminko, kar je pomembno predvsem z vidika zagotavljanja poplavne varnosti hiš, ki ležijo tik ob Tolminki.

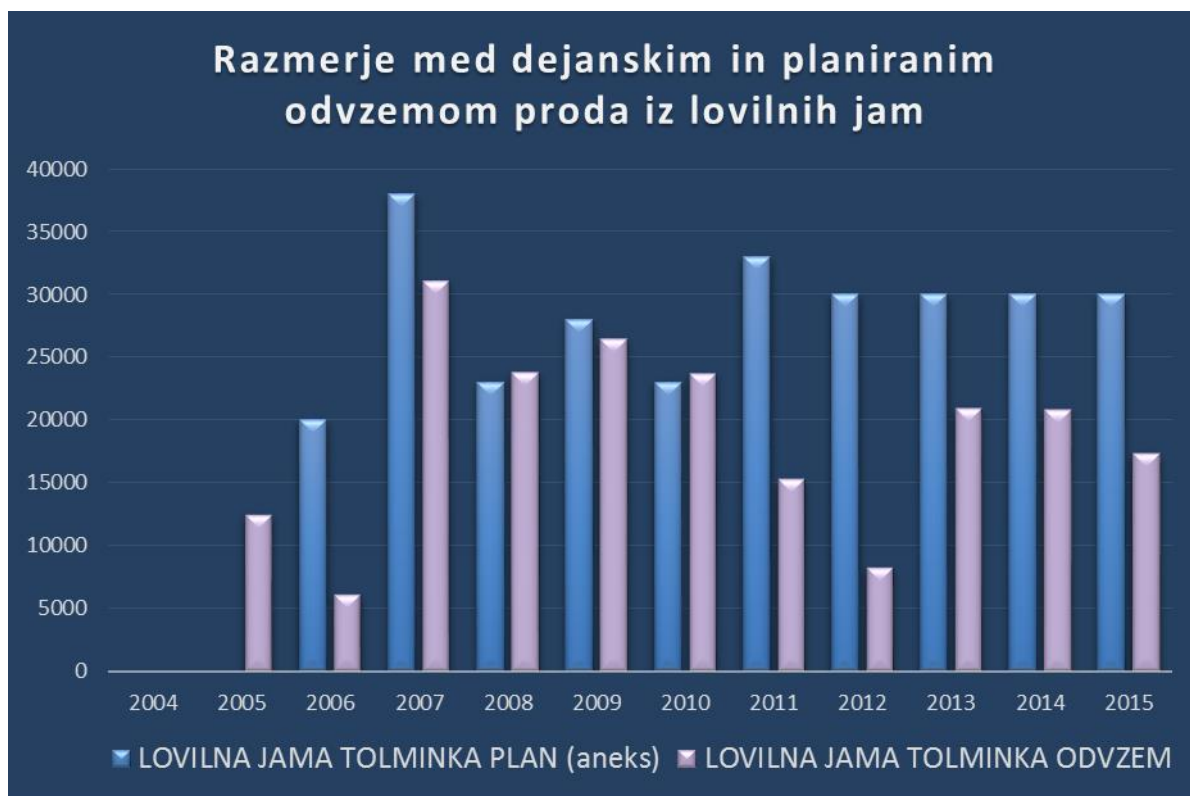
Iz rezultatov presoj o premestitveni zmogljivosti so prišli do zaključka, da bi večina prodnih mas, ki bi se sprostile na območju zgornjega toka, pripotovala do odseka pod sotočjem z Zadlaščico, tu pa bi se pričelo odlaganje proda. Od tod njihova umestitev prav na tem mestu.

Ker imata SENG in Republika Slovenije sklenjeno koncesijsko pogodbo za odzemanje naplavin iz reke Tolminke za obdobje od 1. 1. 2011 do 31. 12. 2020 (RS in SENG, 2015), je koncesionar dolžan izvajati program odzema in gospodarskega izkoriščanja naplavin reke Tolminke. Koncesionar in koncendent na podlagi vsakoletnega načrta, ki ga izda Inštitut za vode Republike Slovenije, skleneta aneks k obstoječi koncesijski pogodbi za tekoče leto. Odvzem naplavin se mora izvajati v skladu s Programom vzdrževanja vodnega režima rek Tolminke in Soče ter vodnogospodarskih objektov ter naprav na reki Tolminki, kjer so s strani MOP določena mesta odzema, količina naplavin za odvzem ter način in čas odzema, mesta začasnih odlagališč in druge obveznosti, ki jih mora izpolnjevati koncesionar.

Pri izdelavi diplomske naloge me je zanimalo tudi, koliko se ocene oziroma letni načrti skladajo z dejanskimi količinami, ki so bile odvzete iz prodnih jam. Spodaj sta preglednica in grafikon, kjer so razvidne razlike med tema dvema količinama za obdobje od leta 2004 do leta 2015. Podatke sem dobil na SENG-u.

Preglednica 2: Količine plavin za odvzem iz lovilnih jam po načrtu in dejanski odvzem (prirejeno po SENG)

	PLAN (aneks)	ODVZEM
2004		0.00
2005		12.389.00
2006	20.000.00	6.060.00
2007	38.000.00	31.017.00
2008	23.000.00	23.748.40
2009	28.000.00	26.407.00
2010	23.000.00	23.614.10
2011	33.000.00	15.241.80
2012	30.000.00	8.231.70
2013	30.000.00	20.885.70
2014	30.000.00	20.764.80
2015	30.000.00	17.374.50
<b>skupaj</b>	<b>285.000.00</b>	<b>188.359.50</b>



Grafikon 1: Razmerje med planiranim in dejanskim odvzemom proda iz lovilnih jam (prirejeno po SENG)

Do podora pri Pologu leta 2004 je bil največji dotok plavin z obeh večjih usadov. Tudi predvidevanje, da bo v prihodnosti zaradi dodatnih količin sproščenih in akumuliranih hribinskih mas dotok proda v primerjavi s stanjem pred potresom povečan, se je pokazalo za utemeljeno tudi na podlagi izkopanega proda, saj letno povprečje znaša  $20.500\text{m}^3$   $\text{m}^3$ .

V študiji o lovilnih jamah in deponiji naplavin (Fazarinc, 1999) je bilo poleg izdelave hidromorfološkega vzdolžnega profila z določitvijo dejanske premestitvene sposobnosti posameznih odsekov in ugotovitve kritičnih mest, določitve lokacije lovilnih jam, sanacije prodne pregrade, predlagano tudi stalno nekajletno spremljanje erozijskih procesov, ki pa se ni izvajalo v veliki meri. Prav tako se niso izvedla obnovitvena dela protierozijskih objektov na levih pritokih Tolminke na območju planine Na prodih in gradnja protierozijskih objektov na pobočnih gruščih pod Azmiško grapo nasproti planini Polog, kar bi bilo glede na dodatne količine sproščene zemljine še toliko bolj smiselno. Zato sledi ocena, v kolikšni meri podor prispeva k skupnemu premeščanju plavin, saj tega še niso preverjali.

### 4.3 Ocena vpliva skalnega podora v planini Polog na premeščanje plavin

Mrak (1999) in Kokalj (1999) sta v diplomskih nalogah napisala veliko o vplivu velikonočnega potresa na prodonosnost, prav tako sta bila istega leta izdelana študija in projekt lovilnih jam, ki ju je izvedel Inštitut za vode RS. Ker pa je po njem leta 2004 prišlo do še enega podora, katerega gradivo končuje svojo pot prav v strugi reke Tolminke, je smiselno, da ga podrobneje opišem, saj je njegov vpliv na procese premeščanja plavin zelo velik. Tega leta je sicer sledil še en potres, ki se je zgodil v juliju, a narave ni močno prizadel, ker je bila njegova intenziteta majhna, prav tako pa je večina razrahljanega in preperelega gradiva v obliki podorov zgrmela v nižje lege že ob velikonočnem potresu šest let prej.

Podor se je zgodil v dolini Tolminke v Pologu 1. maja 2004, na tem mestu pa je že prej prihajalo do podiranja in erozijskih pojavov, kar kaže nekdanje obsežno poraščeno melišče. Prav tako mi je domačin Bončina (2016) iz Čadrga povedal, da so v devetdesetih letih prejšnjega stoletja že bile vidne globoke napetostne razpoke, ki so segale tudi več metrov globoko. Prav zaradi dejstva, da je prihajalo do počasnega premikanja gradiva in pospešenega nastajanja večjega števila napetostnih razpok, je bil dogodek pričakovan, kar je s pridom uporabil snemalec Černigoj (2016), ki je na dan sprožitve posnel celoten dogodek. Postopno so se namreč sproščale večje količine podornega gradiva in zaradi omenjenega sproščanja torej ni prišlo do hipne sprostitve.

Za vpliv na sedanje razmere premeščanja plavin je nujno tudi zavedanje, da je bil vpliv tega melišča že prej znaten, saj so prodne mase višje ležečih erozijskih žarišč že dolga leta v dobri meri zaustavljene za prodnima pregradama nad podorom, medtem ko so vse sproščene mase s tega območja premeščene po strugi navzdol, saj je tu zaradi zožitve premestitvena zmogljivost Tolminke zelo velika. Spodnja leva slika prikazuje pobočni grušč v času prve svetovne vojne, desna pa pred sprožitvijo podora v taki meri, kot se je zgodil leta 2004. Kot je razvidno, je bil že takrat dokaj obsežen in je v precejšnji meri vplival na prodonosnost Tolminke.

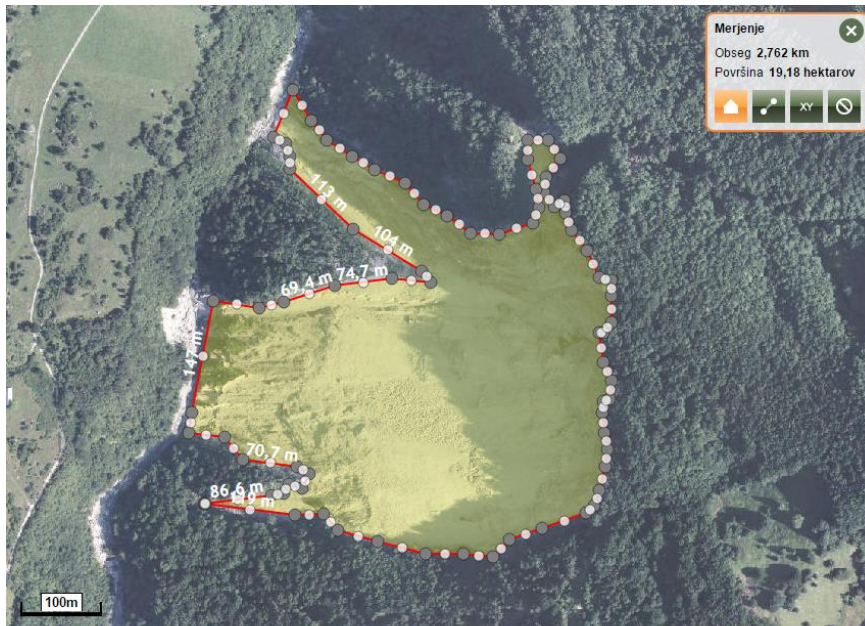


Planina Polog v času prve svetovne vojne (vir: Tolminski muzej), zadaj že viden pobočni grušč, in slika z Mrzlega vrha iz leta 2003 (avstro-ogrski bataljon 46/III)

Komac in Zorn (2009) pišeta, da je ob podoru gradivo zdrsnilo v nižjo lego in se nato na pobočju razporedilo v obliki treh jezikov, ob tem pa odneslo prst in poškodovalo gozd. Del gradiva se je v obliki melišč odložil že na pobočju, večina pa se je zaustavila šele v strugi Tolminke, pri čemer je podorno gradivo reko zajezilo in s tem ustvarilo nekaj metrov globoko in nekaj sto metrov dolgo jezero. Čez čas si je reka izdolbla strugo in stekla čezenj. Pod podorom je bila rečna struga močno spremenjena, saj je tam Tolminka odložila nekaj tisoč kubičnih metrov gradiva.

Na tem mestu je reka zelo ozka in ima zato veliko erozijsko moč, s tem pa premestitveno zmogljivost, kar ima za posledico premeščanje večine podornega gradiva, ki prispe v strugo. Danes ima podor površino okoli 19 ha. V teh letih pa je že prišlo do manjšega zaraščanja. Vegetacija v zelo veliki meri vpliva na erozijo, njeno povečanje je torej pokazatelj, da se bo v prihodnje vpliv podora na količine plavin zmanjševal, če ne bo na odlomnem robu podora prihajalo do večjih količin novonastalega podornega gradiva.



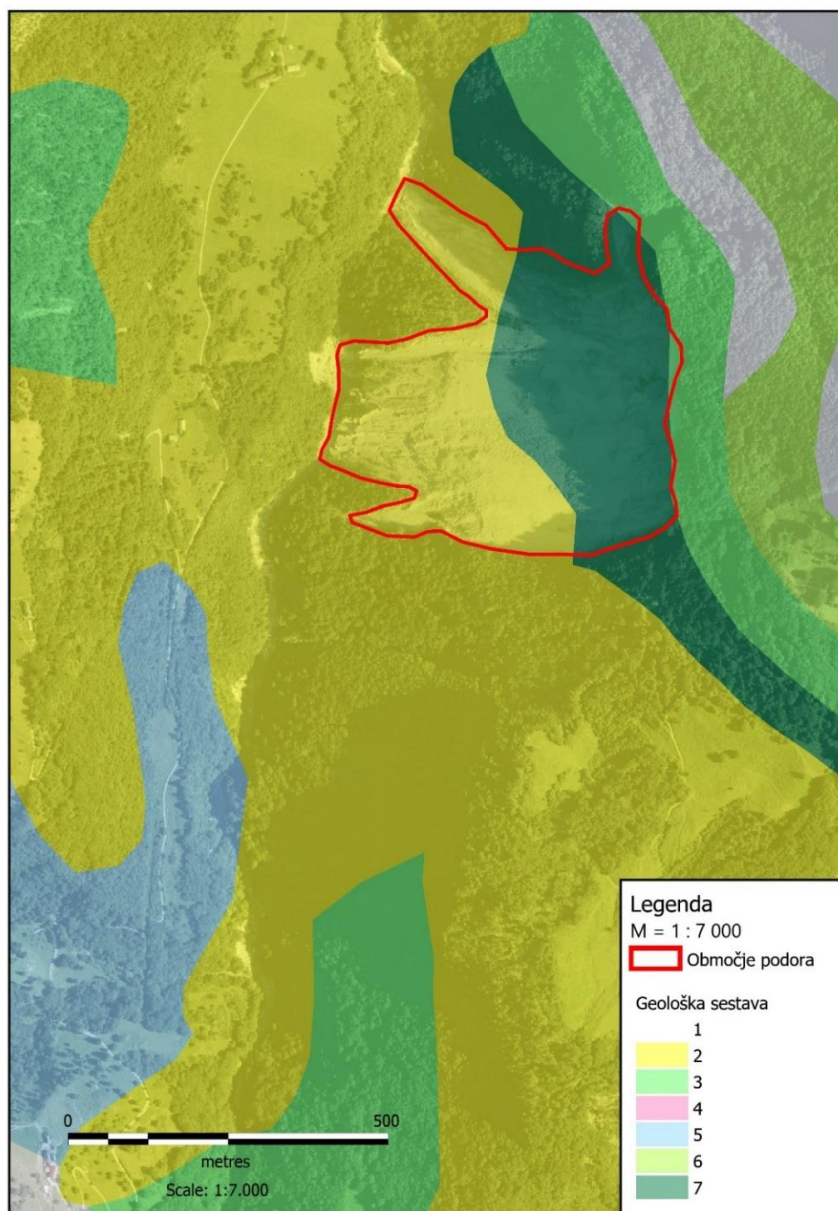


Slika 12: Površina podora, ki znaša okoli 19 ha (vir: Atlas okolja)

Da lahko ovrednotim njegov vpliv na prodonosnost, je treba poznati vzroke za njegov nastanek in pogledati geološko sestavo območja, kjer je do podora prišlo. Komac in Zorn (2009) za vzroke navajata geološko sestavo. In sicer, zgoraj ležeče kamnine so za vodo prepustnejše kot spodnje, zaradi česar se s povečanjem ravni talne vode povečata tudi porni tlak in obtežba pobočja, kar vodi v zdrs kamnin. Ob tem je možno, da je potres leta 1998 vplival na povečano število in obseg omenjenih razpok, ki so še dodatno povečale količine talne vode. Ob tem neugodno učinkuje tudi lega blizu naravnega stika med triasnimi apnenci ter omenjenimi manj prepustnimi jurskimi in krednimi plastmi. Prav tako pomembno vlogo pa ima tudi sama reka Tolminka, ki z veliko erozivno močjo pogloblja strugo, z bočno erozijo pa spodkopava pobočja, da postajajo nestabilna. Podiranje in drugi pobočni procesi tako sproti prilagajajo naklon pobočij.

Omenjeni podor se od drugih, ki so bili posledica potresa 1998, razlikuje predvsem po tem, da so drugi nastali v belem apnencu. Da torej lahko ocenimo prispevek položkega podora k premeščanju plavin, je treba raziskati geološko sestavo. Podor je nastal na stiku zgornjekrednega rdečkastega apnenca in laporovca z vmesnimi polami in gomolji roženca ter spodnjekrednega fliša, ki ga sestavljajo skrilavi glinavec, kalkarenit, roženec in apnenčeve breče (Buser, 1986a). To je zelo lepo razvidno iz geološke karte (Buser, 1986b). Glavna razlika s povirnim delom, ki ga sestavlja jursko-kredni beli mikritni ploščasti apnenec z roženci, je torej ta, da se je podor sprožil v spodnjekrednem flišu. Spodnja geološka karta prikazuje

geološko sestavo območja, kjer je prišlo do podora, obenem pa nam lahko pojasni, zakaj je v preteklosti tu že prihajalo do podobnih procesov.

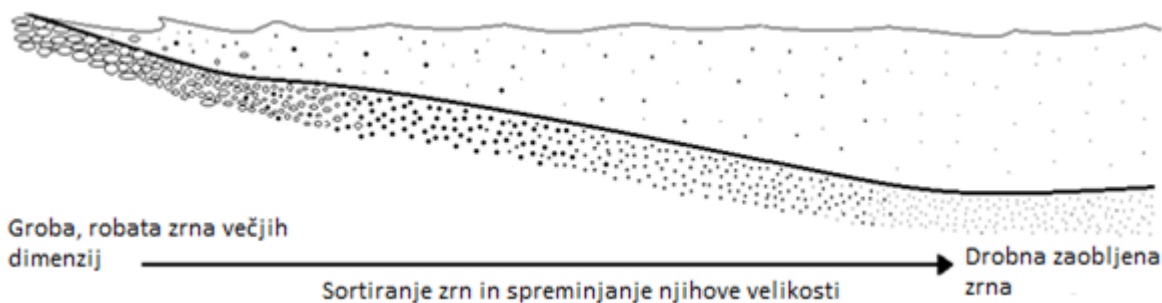


Številka	Opis - Legenda kartiranih enot
1	Beli mikritni ploščasti apnenec z roženci
2	Prod, pobočni grušč, konglomerat in breča
3	Ploščasti mikritni in kalkarenitni volčanski apnenec z roženci
4	Ploščasti in skladoviti baški dolomit z roženci
5	Glinasti skrilavec s polami roženca
6	Fliš
7	Menjavanje rdečkastega ploščastega apnenca in laporja, pole in gomolji apnenca

Slika 13: Območje podora in geološka podlaga (vir: Buser, 1986b)



Če želimo določiti vpliv podora na prodonosnost, je treba najprej poznati procese, po katerih je moč ugotoviti stopnjo njegovega vpliva. Teorija, ki za tem stoji, je sledeča. Ob kemičnem in fizikalnem preperevanju sta za proces drobnitve plavin bistvena fluvialna abrazija in selektivno premeščanje, ki je prikazano na spodnji sliki.



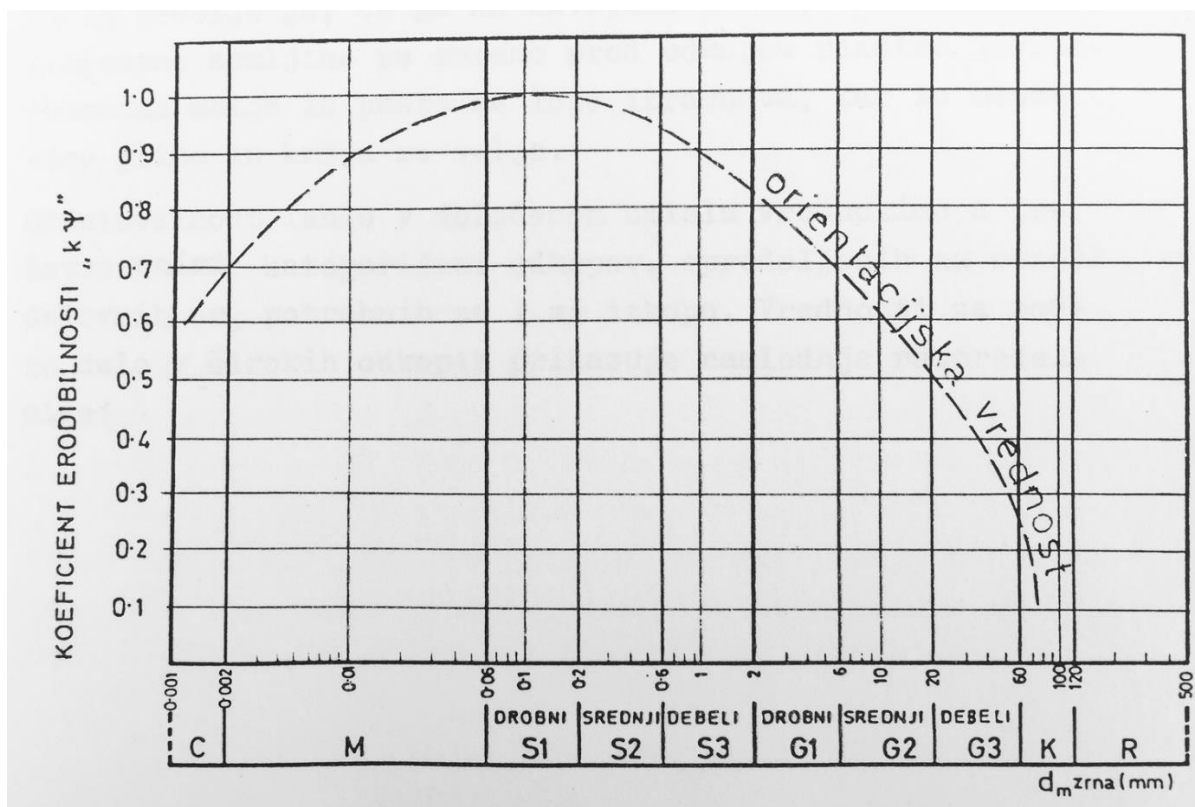
Slika 14: Sortiranje in spreminjanje velikosti zrn (vir: Sediment sorting, 2016)

Dejstvo je, da bolj groba zrna kljubujejo porivnim silam vode in zato zastajajo v zaledju, drobnejša pa odplavi v ravninski svet, kjer se odložijo. Ob tem so mehanizmi preoblikovanja in premeščanja zrnastih sprememb zemljin v strugah, daleč odmaknjenih od povirij, kjer so zrna drobnejša, odpornejša in v glavnem občutljiva le še na obrus, bolj poznani, medtem ko moramo v strugi bliže povirjem upoštevati poleg obrusa še veliko bolj vplivne procese topljenja, razpadanja, drobljenja in krhanja. Zato so spremembe blizu izvorov velike, s tokom pa ostajajo jedra zrn občutljiva le še na obrus (Pintar, 1983).

Med premeščanjem zrna neprestano trkajo in drsajo med seboj in se zaradi tega krušijo, brusijo in drobijo, kar ima za posledico zaobljen rečni prod, medtem ko so pri izvoru plavin zrna bolj robata in nezaobljena, zaradi česar je tu stopnja abrazije še večja. Posledica tega je, da se količina rinjenih plavin vzdolž vodotoka zmanjšuje na račun obrusne meli, ki prehaja v lebdeče stanje in tako predstavlja izgubo za rinjene plavine (Mikoš, 2000).

Zemeljsko površje sestavljajo kamnine, te s preperevanjem razpadajo v zemljine, ki so najbolj podvržene erozijskim pojavom, te pa preperevajo v rodna tla. Najpomembnejša lastnost, ko gre za erozijske pojave, je njihova erodibilnost, to je podvrženost erodiranju, in pomeni odpor posameznega zrna zemljin dinamičnim silam vode, snega, ledu, vetra in težnosti. Večja erodibilnost pomeni manjši odpor. Zemljine oblikuje cela vrsta pomembnih lastnosti, pri večini katerih je skupni imenovalec odvisnost posamezne lastnosti od vsebnosti ali nasploh prisotnosti vode v povezavi z zrnastostjo zemljine. Običajno se govori o zrnastostnih združbah zemljin, saj

kadar gre za določanje podvrženosti erozijskim silam narave, je temeljna lastnost zemljin prav zrnavost. Ker imajo ob določenih prevladujočih dinamičnih pogojih plavine ustrezno zrnavostno sestavo, ki nato v veliki meri določa njihove druge lastnosti, pa se govori o združbah (Mikoš, 1995).



Koeficient erodibilnosti za različne velikosti zrn zemljin (Pintar, 1983)

VGI je leta 1983 izdelal študijo o zrnavosti hribin v povirjih Zgornje Soče in Zgornje Save, katere osnovna naloga je bila prikazati lastnosti raznih tipov hribin in zemljin na teh dveh območjih ter ugotoviti spreminjanje zrnavostne sestave glede na geološko sestavo izvornih kamnin ob podobnih pogojih premeščanja in odlaganja. Ugotovili so, da določeni vrsti odkladnin ne glede na različno sestavo izvornih kamnin ustreza določen delež zrnavostne združbe. V svoji nalogi sem se ukvarjal s tremi tipi preloženih odkladnin, in sicer z vzorcem podornine, sestavljenim iz še nepredelane in nerazvrščene hribinske preperine, in z vzorcem pobočnega grušča, kjer so kamnine že podvržene preperevanju in spodmlevanju. Ta dva vzorca sta rezultat gravitacijske sile, ostalih pet pa je rezultat erozije vodnih sil in spadajo med gibljive rečne naplavine.

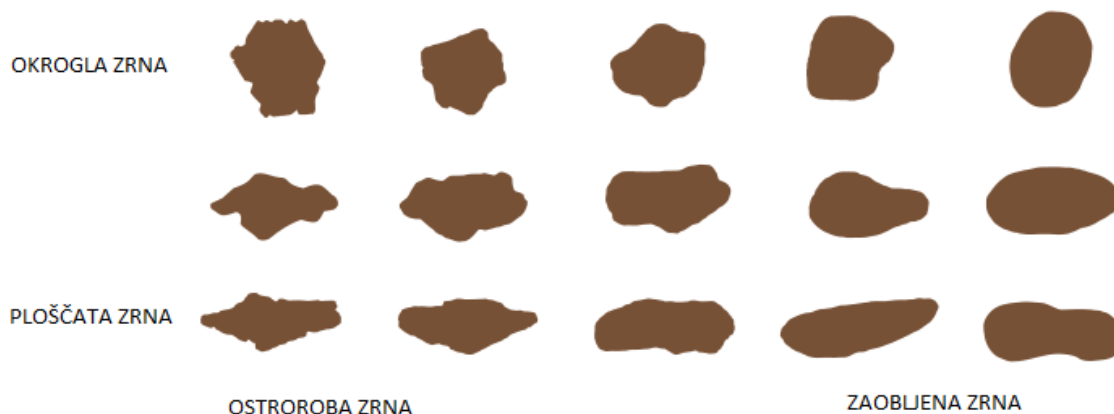
Hribine ločimo v osnovnem na kamnine, zemljine in rodna tla. Razvrščene pa so glede na:

- poreklo – starost, izvor in način nastanka,

- mineralno in kemično sestavo,
- debelino slojev in njihovo medsebojno lego ter
- zlog in zrnavost.

Zaradi različnega izvora in nastanka kamnin je njihovo pestro mineraloško in kemično sestavo ter pripadajoče lastnosti mogoče med njimi ločiti. Poznavanje kamnine je pomembno, ker je prav s tem določeno tudi poreklo zemljin. Prva obravnavana skupina so vezane mehanske oziroma klastične kamnine sedimentnega izvora. Nastale so na zemeljski površini iz prejšnje kamnine, ki je preperela, njena preperina pa se je prenesla in odložila. Mednje spadajo breča, konglomerat, peščenjak, meljevec, glinavi skrilavec, lapor in druge. Naslednjo skupino sestavljajo organsko kemične kamnine, nastale iz rudninskih ostankov živali in rastlin, ki so se z razkrajanjem hribin posredno ali neposredno vgradili v njihovo gradbo. Sem spadajo apnenec, lehnjak, dolomit, roženec in druge. Mineralna in kemična sestava določata trdnost in obstojnost hribin pa tudi njihovo sestavo po zlogu, zrnavosti, odpornosti, podvrženosti preperevanju in spiranju ter druge lastnosti.

Po zlogu se kamnine ločijo na masivne, razpokane, plastovite in skrilave. To dejstvo nam pomaga določiti izvor zemljin, saj jih po hidrološki predelavi ločimo tudi na podlagi razlik v obliki, ki je posledica razlik v zlogu. Spodnja slika prikazuje različen način obrusa in preoblikovanja zaradi razlike v osnovni teksturi zrna po hidrološki predelavi.



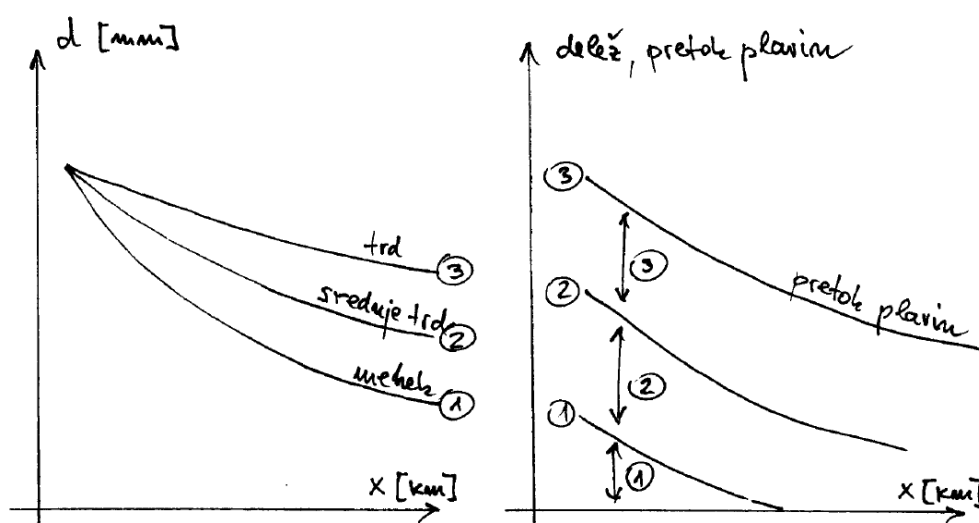
Slika 25: Oblika zrn po hidrološki predelavi v odvisnosti od teksture zrna (vir: Schematic representation of difference in grain shape, 2016)

Naprej se razlikujejo po tem, da je roženec zelo odporen, apnenci se raztapljajo, glinenci pa hitro preperevajo. Logična posledica je, da bolj kot so matične kamnine neobstoje in dlje kot

so izpostavljene vremenskim vplivom, hitreje se bodo odvijali erozijski procesi, in čim drobnejši je erozijski drobir, laže ga bodo erozivne sile premeščale, in kolikor večje so sile, ki pri premeščanju delujejo, tem večja zrna jim bodo podlegla in toliko večje morajo biti tudi sile, ki bi jih mogle znova premakniti iz ravnovesja. Prav od tega so odvisne zrnavost in zlog hribinskih gradiv ter njihove lastnosti.

Zato ločimo zemljine glede na poreklo, ki ga lahko določimo upoštevajoč matično kamnino, in glede na sile, ki so delovale pri njihovem nastajanju in jih s tem prelagale, razvrščale in odlagale. Obstojnost hribin proti kemičnemu, termičnemu in mehanskemu razpadanju-preperevanju je odvisna od mineralne sestave, geološke pregnetenosti ter preperelosti gradiva in njegove podvrženosti silam, ki razpadanje pogojujejo. Pomemben kazalec obstojnosti je odpor proti hidrološki predelavi, to je spremembi zrnavosti zemljin med gibanjem v vodotoku. Ker se torej kamnine in posledično zemljine razlikujejo po svoji sestavi, je torej tudi na podlagi zrnavosti in drugih razlik mogoče sklepati o izvoru plavin in njihovem deležu.

Spodnja slika prikazuje vpliv trdote na abrazijo.



Sprememba srednjega zrnja plavin treh različnih trdot (levo) in delež plavin treh različnih trdot v skupni premestitveni zmogljivosti (desno) (Mikoš, 2000)

Tako se lahko na podlagi razlike med prostorninskim ali masnim deležem plavin na izvoru od določenega kraja dolvodno določi koeficient obrusa. Spodaj v preglednici so podatki o koeficientu obrusa po Schoklitschu (Mikoš, 2000).

hribina	zaobljene plavine	oglati kosi hribine
peščenjak	0.13	-
dolomit - Graz	0.081	0.171
gnajs	0.052	0.058
kraški apnenec - Istra	0.005 - 0.028	0.160
marmor	0.020 - 0.026	0.030
apnenec	0.0156	-
dolomit - Karavanke	0.0125	0.0185
granitni gnajs	0.0400	-
bazalt	0.0032	-
kremen	0.0002	0.0091
granit	0.0033 - 0.0071	0.027

Ob poznavanju teh zakonov je mogoče poiskati povezavo med količino, obliko in obrusom določenih plavin v vzorcu in njihovim izvorom. S to predpostavko sem ocenil vpliv skalnega podora pri planini Polog na skupno prodonosnost Tolminke.

Postopek je potekal na sledeči način. Za analizo je potreben vzorec, pri čemer je dobiti reprezentativen vzorec zelo zahtevno, še posebno na terenu, kjer so transportne zmožnosti omejene. Zato je masni delež velikih zrn težko določljiv in jih zaradi težkega dostopa nisem vključil v vzorec, kar pomeni, da rezultati odstopajo od dejanskega stanja, lahko pa so vseeno uporabni za oceno.

#### 4.3.1 Sejanje vzorcev

Sejanje je potekalo po standardu SIST EN 933-1 za določitev granulometrijske sestave, z namenom poznavanja porazdelitve velikosti delcev hribine. Z uporabo serije sit se s tem poskusom deli in separira gradivo v določene velikostne skupine z manjšajočimi se velikostmi.

V osnovi je postopek potekal na sledeči način. Vsa oprema je ustrezala standardu SIST-EN 932-5 in jo je sestavljal stavek preskusnih sit z odprtinami (glej Preglednico 4). V laboratoriju za mehaniko tal na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani sem uporabljal nekoliko drugačen stavek sit kot v laboratoriju Zuza. Spodaj je tabela, ki prikazuje odprtine sit.

Preglednica 3: Velikost odprtín v stavku sit

Laboratorij katedre za mehaniko tal FGG	Laboratorij Zuza
Velikost odprtín [mm]	Velikost odprtín [mm]
63	120
45	80
31,5	63
22,4	45
16	31,5
8	22,4
4	16
2	11,2
1	8
0,5	5,6
0,25	4
0,125	2
0,063	1
	0,25
	0,125
	0,063

Potrebni so bili še sušilnik z nadzorovano temperaturo  $T = 110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ , oprema za pranje, tehničar z natančnostjo  $\pm 0,1 \text{ } \%$  mase preskušanca, lopatke, krtačke in po potrebi sejalni stroj. Nato se je skladno z zahtevami pripravilo vzorec, katerega masa mora glede na velikost maksimalnega zrna ustrezati vrednostim v Preglednici 5.

Preglednica 4: Masa vzorca glede na velikost zrn

Maksimalno zrno [mm]	Minimalna masa vzorca [kg]
63	40
32	10
16	2,6
8	0,6
$\leq 4$	0,2

Pri prostorskih vzorcih so bili preskusni vzorci najprej sušeni pri  $T = 105 \text{ }^\circ\text{C}$  do konstantne mase, nato ohlajeni in stehtani. Temu je sledilo pranje, tako da se je vzorec dalo v posodo, se ga zalilo z vodo in v njej pustilo 24 ur, da so se odlepili drobni delci. Vzorec se je zatem dovolj močno mešalo, da so se odlepili drobni delci in ostali suspendirani v vodi. Sledilo je sejanje skozi sito z odprtínami 0,063 mm, nad katerim je bilo še razbremenilno sito, ki je preprečilo poškodbe, in sicer toliko časa, da je bila voda pod sitom čista. Suspenzijo drobnih delcev se je potem zbralo v primerno posodo, iz katere se je kasneje izločilo delce, katerih zrnovitost je bila določena z areometrijo. Kar je ostalo na situ, se je posušilo in stehtalo.



Slika 15: Areometrija za določitev deleža zrn pod 0,063 mm

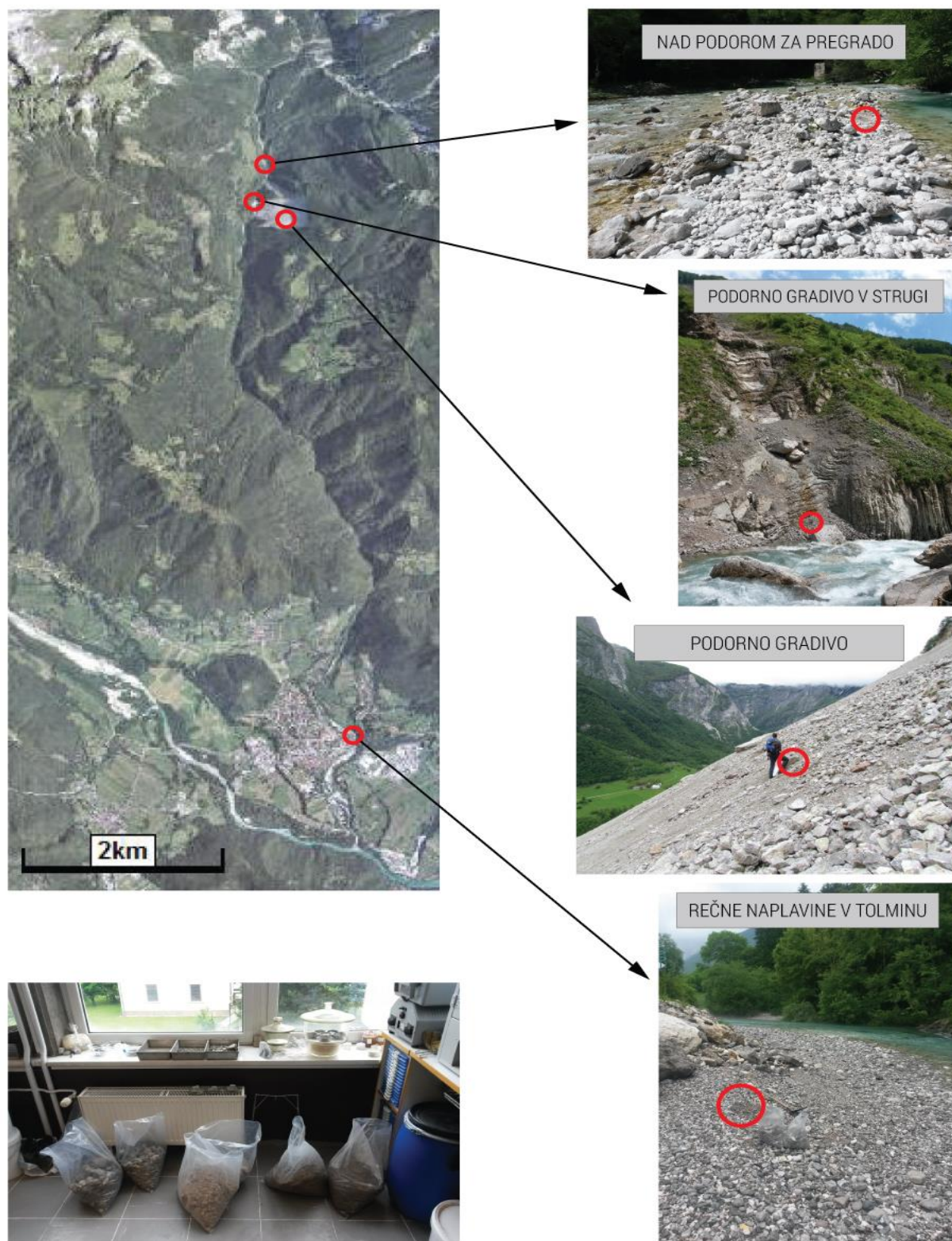
Naslednja faza je bilo sejanje, ko se je osušeno gradivo nasulo na stavek sit, ki so bila staknjena skupaj in urejena od sita z največjimi odprtini zgoraj do sita z najmanjšimi odprtini spodaj. Po tresenju stavka sit se je po določenem času odstranilo eno sito za drugim, stehtalo ostanek na vsakem od njih in zabeležilo maso ostanka. Ko so bile poznane in zapisane mase ostankov na vseh sitih, se jih je preračunalo v njihove utežne odstotke izhodne mase suhega vzorca. Iz tega pa se je lahko izdelalo zrnavostno krivuljo, kjer so grafično prikazana razmerja med določenimi frakcijami.

#### 4.3.2 Vzorci

Najprej sem vzel vzorce na štirih različnih mestih. Prvo je bilo nad podorom za pregrado na planini Polog. Naslednja dva vzorca sta s podora, in sicer prvi z njegovega zgornjega dela pod odlomnim robom in drugi podorno gradivo, ko je to že prispelo v strugo reke. Zadnji je bil odvzet pri mostu čez Tolminko v Tolminu. Na Sliki 28 so prikazana mesta odvzema.

Časovni vzorci pa so bili sušeni na zraku. Analiza zrnivosti finih delcev ni bila izdelana, saj za tovrstne vzorce za potrebe naloge ni bila smiselna. Prikaz njihovih odvzemnih mest je na Sliki 29.





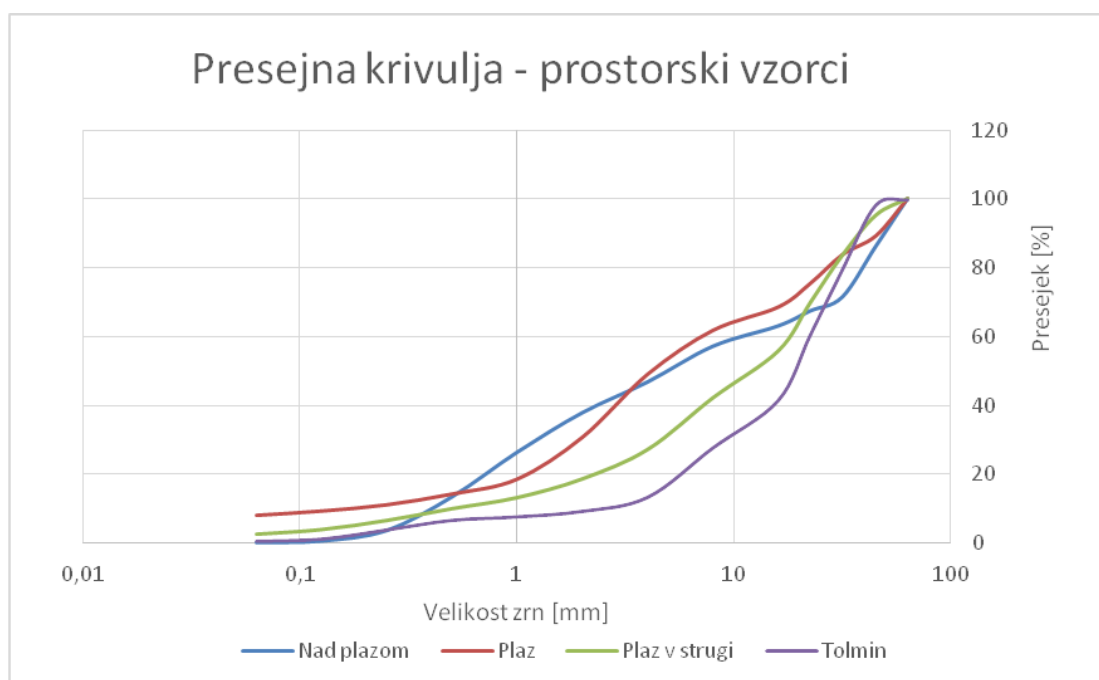
Slika 16: Prikaz mest vzorčenja prostorskih vzorcev



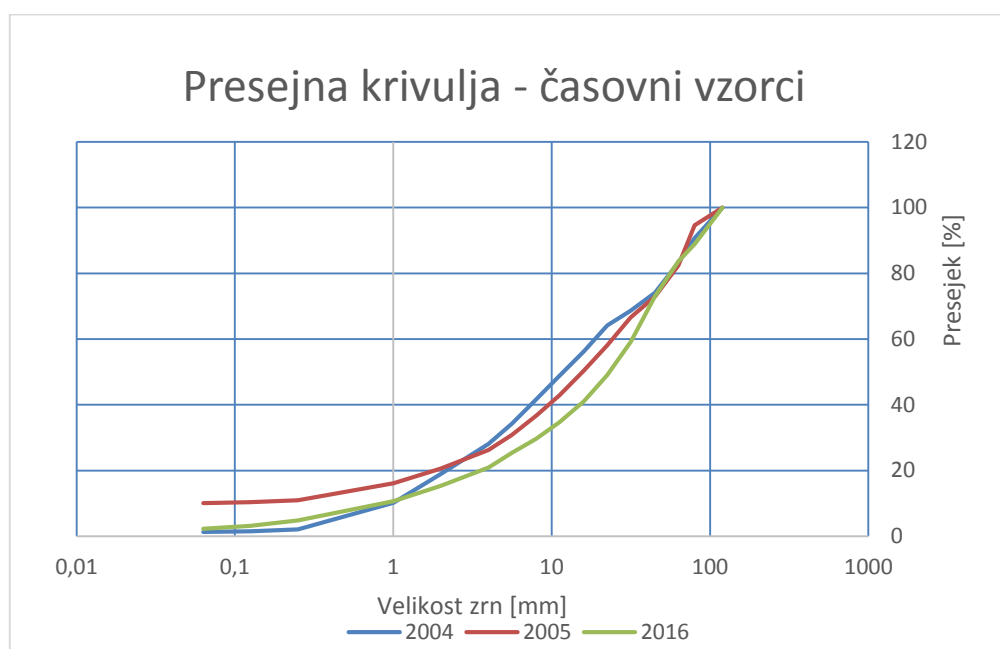
Slika 17: Mesta vzorčenja časovnih vzorcev



Na spodnjih dveh grafikonih so prikazane vse granulometrijske presejne krivulje.



Grafikon 2: Presejne krivulje prostorskih vzorcev



Grafikon 3: Presejne krivulje časovnih vzorcev

#### 4.3.3 Interpretacija rezultatov

Trije časovni vzorci so bili deponirani ob treh različnih časih. Na podlagi dobljenih podatkov je mogoče sklepati o vplivu podora na zrnavost v času od njegove sprožitve. Razlike med njimi je mogoče razložiti na podlagi dogodkov, ki so se v tem času dogajali na povodju Tolminke. Že omenjeni potres leta 1998 je pustil posledice na količinah in lastnostih premeščenih plavin. Ker večina tovrstnih dogodkov v naravi ne povzroči hipnih sprememb, je nujno njihovo dolgoročno opazovanje in spremljanje parametrov v zvezi s plavinami in z erozijskimi procesi, ki se odvijajo na vplivnih območjih. Po pričakovanjih je potres vplival na povečanje prodonosnosti predvsem s podori in povečanimi donosi prodonosnih tokov s prej omenjenih izvorov plavin.

31. 1. 2003 so pričeli izkopavanje proda iz lovilnih jam, ki so bile izdelane prav z namenom zadržati prod pred vstopom v akumulacijo HE Dobljar. Na mestu lovilnih jam se prod lahko nato preprosto črpa in se meri njegovo količino. Sicer so bile jame predvidene že pred potresom in tudi odvzem proda iz Tolminke se je izvajalo že pred njim, a ne v taki meri. Potres je izvedbo objektov, ki bi zadržali prihajajoči povečan dotok plavin, naredil še nujnejšo in bolj smiselno.

Vsekakor je treba dobljene rezultate jemati kritično, saj bi bilo za točnejšo analizo treba vzeti večje vzorce na več različnih mestih iz kar se da reprezentativnih mest na deponiji, kar pa je ob nepoznavanju načina jemanja in kasnejšega skladiščenja proda težko izvedljivo. Ne glede na to nam dajejo rezultati dobre ocene o vplivih podora na določene parametre v zvezi s premeščanjem plavin reke Tolminke.

Po vzoru študije o zrnavosti hribin (Pintar, 1983) sem izdelal razpredelnico na podlagi zrnavostnih združb za vseh sedem vzorcev. V analizi niso vključena zrna groblje, saj je bilo zaradi mest vzorčenja to neizvedljivo, sama metodologija vzorčenja pa je precej zahtevna in dolgotrajna. Zato sem vzel nekoliko manjše vzorce, jih kasneje prilagodil tipičnim zemljinam in na tej podlagi upošteval delež grušča in groblje.

V spodnjih dveh tabelah so prikazani deleži zrn v določeni zrnavostni združbi. Z velikimi tiskanimi črkami je označena združba, indeks pa pomeni njen odstotni težnostni delež. Te združbe so:

- CM – gline in melji (zrna pod 0,063 mm)
- S – pesek (zrna med 0,063 mm in 2 mm)
- G – drobir – prod (zrna med 2 mm in 63,5 mm)

- K – grušč (zrna med 60 in 120 mm)
- R – groblja (zrna, večja od 120 mm)

Nad podorom	Podor	Podor v strugi	Tolmin	2004	2005	2016
$CM_0S_{38}G_{48}K_{14}$	$CM_7S_{24}G_{58}K_{11}$	$CM_2S_{17}G_{77}K_5$	$CM_1S_9G_{89}K_2$	$CM_1S_{27}G_{55}K_{17}$	$CM_{10}S_{16}G_{56}K_{18}$	$CM_2S_{19}G_{63}K_{16}$

Za obravnavo mojih vzorcev so možni naslednji tipi zemljin.

Preperinski zruški	Pobočni grušči	Pobočni nanosi	Plazni narivi pobočnih nanosov	Gibljive potočne naplavine
$CM_3S_{11}G_{67}K_{12}R_7$	$CM_3S_3G_{67}K_{16}R_{11}$	$CM_5S_{13}G_{70}K_7R_5$	$CM_9S_{26}G_{54}K_8R_3$	$CM_2S_{15}G_{68}K_{10}R_5$

Vzorec s podora po opisu in zrnivosti ustreza zdrselemu plaznemu narivu pobočnih nanosov. Te vrste odkladnin sestavljajo gmote hidrološko neprebranih zemljin, ki so pogosto zelo raznolike zrnavostne sestave, od najdrobnejših humusnih in glinenih delcev do kršja in zajetnih balvanov. Njihova zrnavostna sestava je odvisna predvsem od zrnavostne sestave izvornih hribin, iz katerih so bile iztrgane, njihova stabilnost pa od položaja, starosti, uležanosti, medsebojne strnjenosti in napojenosti gradiva (Pintar, 1983).

Trije časovni vzorci spadajo med rečne naplavine in jih sestavlja hidrološko bolj predelana in razvrščena mešanica zrn, katere zrnavost se s tokom bolj ali manj pravilno zmanjšuje od proda preko prodca do drobnega peska z drobnozrnatimi polnilnimi frakcijami. Na podlagi tega se zdi vzorec proda nad podorom za pregrado nereprezentativen, saj vsebuje mnogo peska. Najverjetneje je, da je bilo mesto odvzema tako, da so se tam zaradi lokalnih hidravličnih razmer nabrale peščene frakcije v nekoliko večjem deležu, kot bi se sicer. Večji vzorec bi gotovo pokazal drugačno sliko zrnivosti, ne glede na to pa je zelo verjetno, da se v tem delu zadržuje več peščenih frakcij, kot bi se jih brez ukrepov gorvodno, saj se namreč večja zrna zadržujejo više, za zgornjo pregrado, pri samem izviru. Morebiti to pojasnjuje višji delež peskov v vzorcu iz leta 2004 glede na kasnejši leti, saj je bil delež plavin iz tega območja pred podorom večji od trenutnega. Po podoru v Pologu je delež peskov padel tudi na račun večjih zrn, sedaj pa njihov delež spet narašča. Ne glede na to je vzorec nad podorom za pregrado vseeno dobro uporaben za petrografsko analizo, saj ga sestavljajo izključno beli apnenci. Prav tako vzorec iz Tolmina po zrnivosti izstopa glede na druge vzorce iz lovilnih jam in bržkone ne kaže dejanske slike. To pa zato, ker je vzorec na konveksni strani zožitve, na odseku, kjer je premostitvena zmogljivost zelo velika in se zato nabirajo le večje frakcije, manjše pa reka premesti po reki dolvodno. Pri vzorcih iz deponiranega kupa teh težav ni, saj so zaradi postopnega načina kopanja proda iz lovilnih jam in njegovega deponiranja mnogo bolje premešani.

Prvi vzorec časovne spremembe zrnivosti je star kup proda na separaciji, ki so ga iz lovilnih jam izkopali prvo leto, še pred podorom v dolini Tolminke leta 2004. Ta vzorec je uporaben kot primer zrnavostne in petrografske sestave proda pred samim podorom v planini Polog pet let po potresu. Iz analize je razvidno, da vsebuje malo finih delcev ter da je njegova zrnavost tipična za tako dolžino poti in geološko sestavo območja, ki prispeva velik del plavin, ki sestavljajo vzorec. Ker se po potresu meritve lebdečih plavin niso izvajale, lahko o njih sklepam po besedah o kalnosti po potresu, ki jih je z menoj delil Jesenšek (2016), in po tem, kar je zapisano v načrtu vodnogospodarske ureditve o sanaciji razmer na povodju Tolminke (Fazarinc in sod., 1999a). Pričakovano je bilo, da obsežni podori na pobočjih Osojnice ne bodo bistveno vplivali na prodonosnost, pač pa se bodo postopoma sprali le najdrobnejši delci. To je potrdil Jesenšek (2016), saj je po njegovih besedah bila večina finih frakcij dejansko sprana v prvih dveh letih, ki sta sledili potresu, kar se je ob večji količini padavin videlo v motnosti Tolminke v njenem povirju in ob njenih visokih vodah. Lebdeče plavine so bile v večini kredi podobna kamena moka, ki reko obarva v sivih tonih in ne vsebuje veliko organskih snovi, običajno pa tudi njihova koncentracija ni posebno visoka. To potrjuje tudi analiza vzorca naplavin iz leta 2004, ki vsebuje le okoli 1,4 odstotka finih delcev. Tako nizka vrednost je sicer morebiti lahko posledica spranosti vzorca, ki je bil vzet iz dvanajst let stare deponije, a po besedah upravljavca separacije, kjer je deponija, je bila večina proda, ki so ga vzeli pred podorom, na videz in otip taka, kot je ta vzorec. Na podlagi tega lahko sklepam, da rezultat daje dejansko oceno, kar lahko potrdi leto dni mlajši vzorec, ki vsebuje mnogo več finih delcev, kljub njegovi morebitni spranosti, in prav tako vzorec iz leta 2016, ki ima le malo povečano vrednost v primerjavi z najstarejšim vzorcem.

Drugi vzorec je vzet iz deponije ob desnem bregu Tolminke, ki so ga zaradi previsoke vsebnosti organskih delcev in plavja ter finih delcev zavrgli kot neuporabnega za separiranje in uporabo za agregate za tampone in betone. Iz lovilnih jam je bil izkopen leta 2005, kar pomeni, da je na njegove lastnosti že bistveno vplival podor. Del obsežnih 20 hektarjev gozda in zemljine, ki se je ob podoru sprostila in našla pot v strugo, kar kaže spodnja slika, je končal prav v lovilnih jamah v obliki manjših drobcev lesnega plavja in mulja.



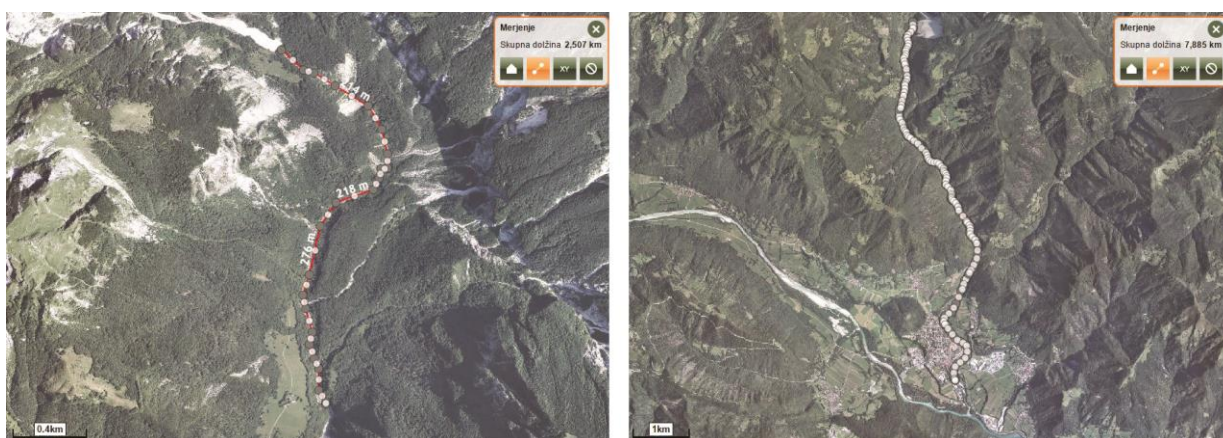
Ogromne količine drevja in rodnih tal so prišle do struge in s tem povečale delež organskih snovi in finih delcev (Gorazd Kutin)

Predelava takega proda bi bila zahtevna in draga ter nerentabilna, zato so se odločili, da to gradivo odložijo na deponijo ob Tolminki in ga ne predelujejo dalje. Iz analize je razvidno, da je delež finih delcev mnogo večji kot pri vzorcu pred podorom, in sicer znaša 9 odstotkov. Po besedah Jesenška (2016) je reka po podoru ob visokih vodah zaradi sproščene zemljine dobila rjavo barvo in višjo vsebnost lebdečih plavin, kar ima ob vremenskih spremembah za verjetno posledico tudi zamuljevanje dna in ne nazadnje tudi višja nihanja konic pretokov. Iz geološke karte je razvidno, da podor sestavljajo tudi laporji in meljevci, ki so na obrus in drobljenje manj odporni. Večja vsebnost njihovih delcev in energija, ki se sprošča ob premikanju podornega gradiva v nižje ležeče dele, rezultirata v večji količini finih delcev, ki so torej lahko vzrok za večji delež zrn velikosti pod 0,063 mm tudi v reki. Na drugi strani pa na podlagi sklepanja iz zakonov selektivnega premeščanja in sortiranja sledita manjši odstotek peskov zaradi krajše poti od izvora novega deleža plavin in povečanje deleža nekoliko večjih zrn, ki se nagiba v smeri zrnastostne krivulje podornega gradiva v strugi in gradiva na samem podoru.



Na zrnavost in oblikovanost zrn torej v veliki meri vplivajo udarna trdnost ter odpornost proti obrusu in drobljenju. Iz krivulj je razvidno, da se deleži različnih zrnavostnih skupin med seboj precej razlikujejo v odvisnosti od mesta odvzema vzorca. Dokaj podobna zrnavost zemljine nad podorom in zrnavost podornega gradiva je verjetno posledica kratkih poti premeščanja obeh, pri čemer se drobni in srednji prod v večji meri še ni predrobil v manjša zrna, hidrološka predelava višje ležeče zemljine pa se še ni odrazila v večji meri, saj je pot od prve do druge pregrade le okoli 2,5 km. Nekoliko večji delež manjših zrn proda nad podorom je tudi znak, da se med premeščanjem deloma spremeni sestava, predvsem pa se ta zrna od podornega gradiva razlikujejo v zaobljenosti. Beli apnenec in morenski nasip, ki sestavljata prod nad podorom, sta precej odporna proti drobljenju, zato se dolvodno krivulja počasneje spreminja.

Zrnavostne krivulje med drugim nazorno nakazujejo, da se razmerje med frakcijami spreminja v smeri krivulje zrnavosti podornega gradiva v strugi, iz česar je moč sklepati, da potem ko enkrat prispe v strugo, gradivo nadaljuje pot po njej in bistveno ne spreminja svoje oblike in razmerij med velikostmi zrn, ampak se na tej razdalji le zaobli. Razliko v deležih določenih zrn med obema vzorcema, ki sta bila vzeta v letu 2016, bi lahko razložil z različnima mestoma vzorčenja. Eden izmed njiju je bil namreč vzet iz deponiranega kupa, ki je bil izkopan iz lovilnih jam, kjer je premostitvena zmogljivost majhna, drugi pa iz struge, nekoliko gorvodno, na notranji, torej konveksni strani zožene struge, kjer se ob prodnem premiku zaradi oddaljitve od matice toka in s tem zmanjšanjem njegove moči in premestitvene zmogljivosti običajno odloži določen odstotek nekoliko večjih zrn.



Slika 18: Dolžina poti od prve do druge pregrade (leva slika) in dolžina od podora do lovilnih jam (desna slika) (vir: Atlas okolja)

Ko podorno gradivo prispe do struge, se že precej obrusi in predrobi, kar se kaže v povečanem deležu drobirja; proces se dolvodno nadaljuje, zaradi česar se delež grušča konstantno zmanjšuje na račun večjega deleža drobirja. Proces se nazadnje konča v lovilnih jamah, saj je proces obrusa prekinjen, ker prod tam izkopljejo. Pot od tod namreč lahko nadaljujejo le peski in droben prod, in sicer v primeru, če so jame prenapolnjene.

Na tej osnovi sem lahko sklepal o tipični zrnastosti sestavi proda reke Tolminke. Dolžina poti vpliva na deleže zrnastosti, a samo na podlagi razlik v njihovih deležih pred in po sprožitvi podora bi še vedno težko določil njegov vpliv na količine premeščenih plavin. Zato sem ob predlogu in pomoči profesorice Petkovšek (2016) vse vzorce ločil po frakcijah še glede na petrografijo; iz geološke karte je namreč lepo razvidno, da se območje, kjer je prišlo do sprožitve podora, razlikuje od gorvodnega, kar je bila dobra osnova za ločitev izvora in posledično določitev količine določenih plavin. Najprej sem v vsakem od vzorcev ločil svetlejše bele in svetlo sive apnenice od temnejših sivih apnencev. Sledilo je iskanje lapornatih in drugih vrst zrn; v ločeno skupino sem združil nezaobljena zrna, nato pa tehtal vsakega izmed razredov v sledečih frakcijah in določil njihov delež. Razredi so bili razdeljeni na:

- 8 mm – 16 mm,
- 16 mm – 22,4 mm,
- 22,4 mm – 35,5 mm,
- 35,5 mm – 45 mm,
- 45 mm – 63 mm in
- nad 63 mm, ki pa je zaradi premajhnega števila kamnov v vzorcih nerealen.

Na spodnji sliki je nekaj primerov različnih skupin glede na velikost, oblikovanost in petrografsko sestavo.



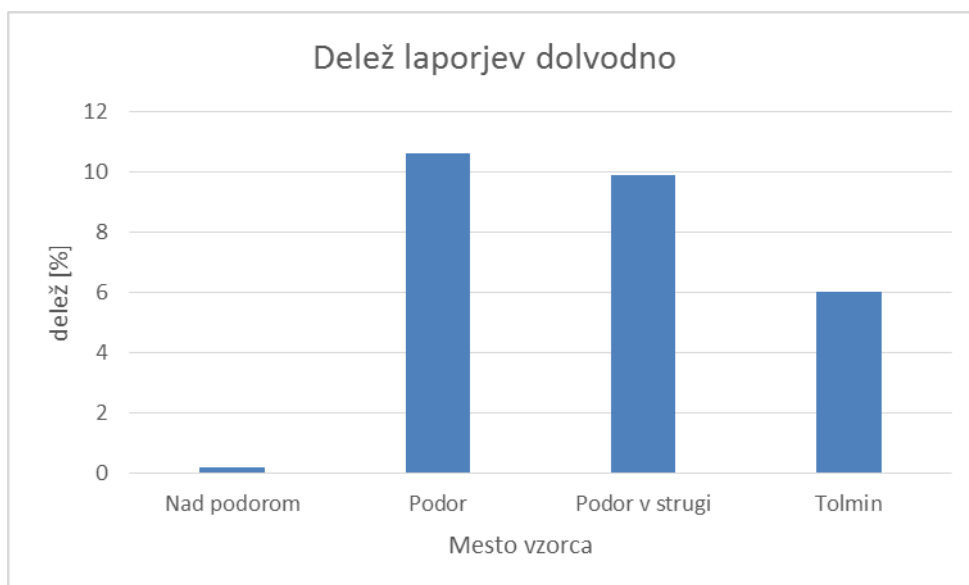
Slika 19: Različna zrna glede na velikost, obrušenost in petrografsko sestavo

Na podlagi dobljenih vrednosti sem v sosledju štirih mest vzorčenja glede na stanje v naravi zapisal deleže vsake skupine v razredu in prišel do naslednjih grafikonov, ki ob pravi interpretaciji povedo veliko o izvoru in vsebnosti plavin s podora.

Vzorec, vzet nad podorom za pregrado v Pologu, ima skoraj izključno bele apnence, ki so lepo zaobljeni. To kaže, da vse gradivo izvira z območja, ki ga sestavljajo beli apnenci in dolomiti, kar je moč razbrati iz geološke karte. V opisu o skalnem podoru nad planino Polog je tudi razložen razlog za njegov nastanek, kar potrjujeta oba vzorca: prvi, ki ga sestavlja pobočni grušč s podora, in drugi, ki sem ga vzel v strugi reke. Oba namreč v večini sestavljajo sivi do

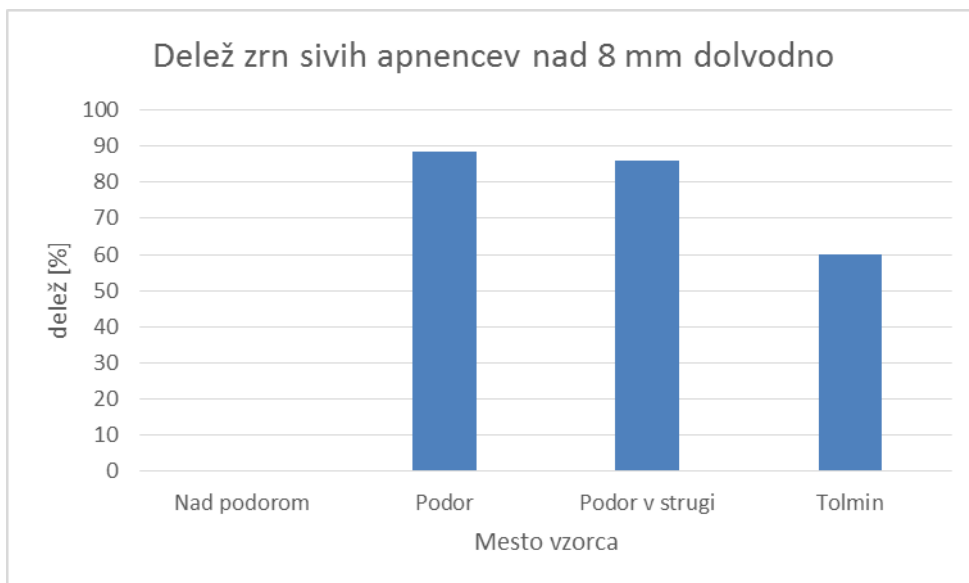
temno sivi apnenci in okoli 10 odstotkov trdih laporjev, katerim v večini pripadata skrilavi glinavec in kalkarenit.

Razlika v deležih določenih kamnin med vzorcema podornega gradiva je majhna, vidna pa je razlika v obrusu teh delcev, kar kaže na obrus že na poti do struge. S tem prispeva h količini finih delcev v Tolminki in obrusna mel se potemtakem lahko sprošča tudi ob manjših padavinah, kar ima za posledico veliko kalnost Tolminke tudi ob pretokih, ko še ne pride do prodnega premika in prodonosnosti.

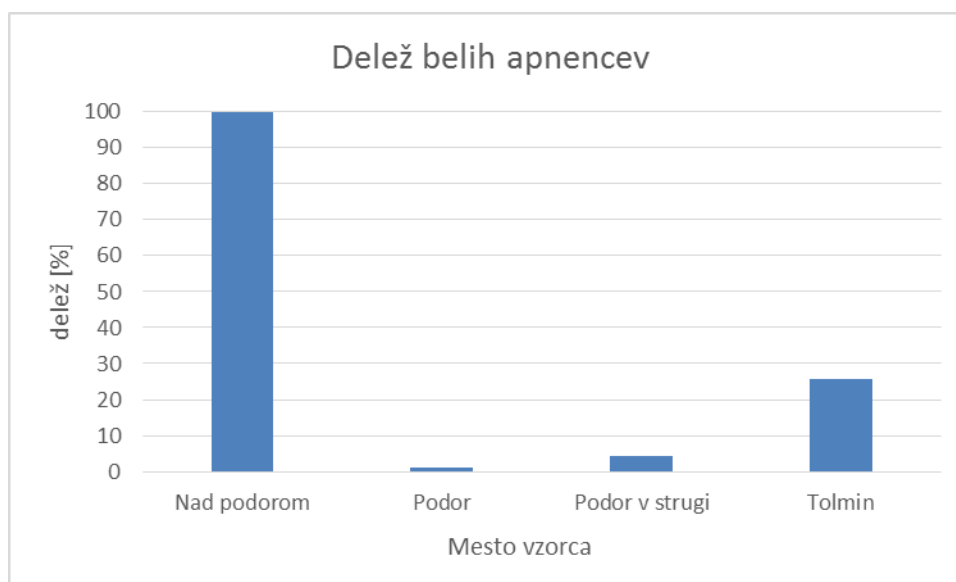


Grafikon 4: Deleži laporjev glede na mesto vzorčenja

Zadnji v vrsti je vzorec iz Tolmina, ki po pričakovanjih vsebuje vse omenjene kamnine, ampak v drugačnih razmerjih. Spodaj sta grafikona, ki ponazarjata razmerja med njimi v odvisnosti od mesta vzorčenja.



Grafikon 5: Delež zrn sivih apencev nad 8 mm glede na mesto vzorčenja

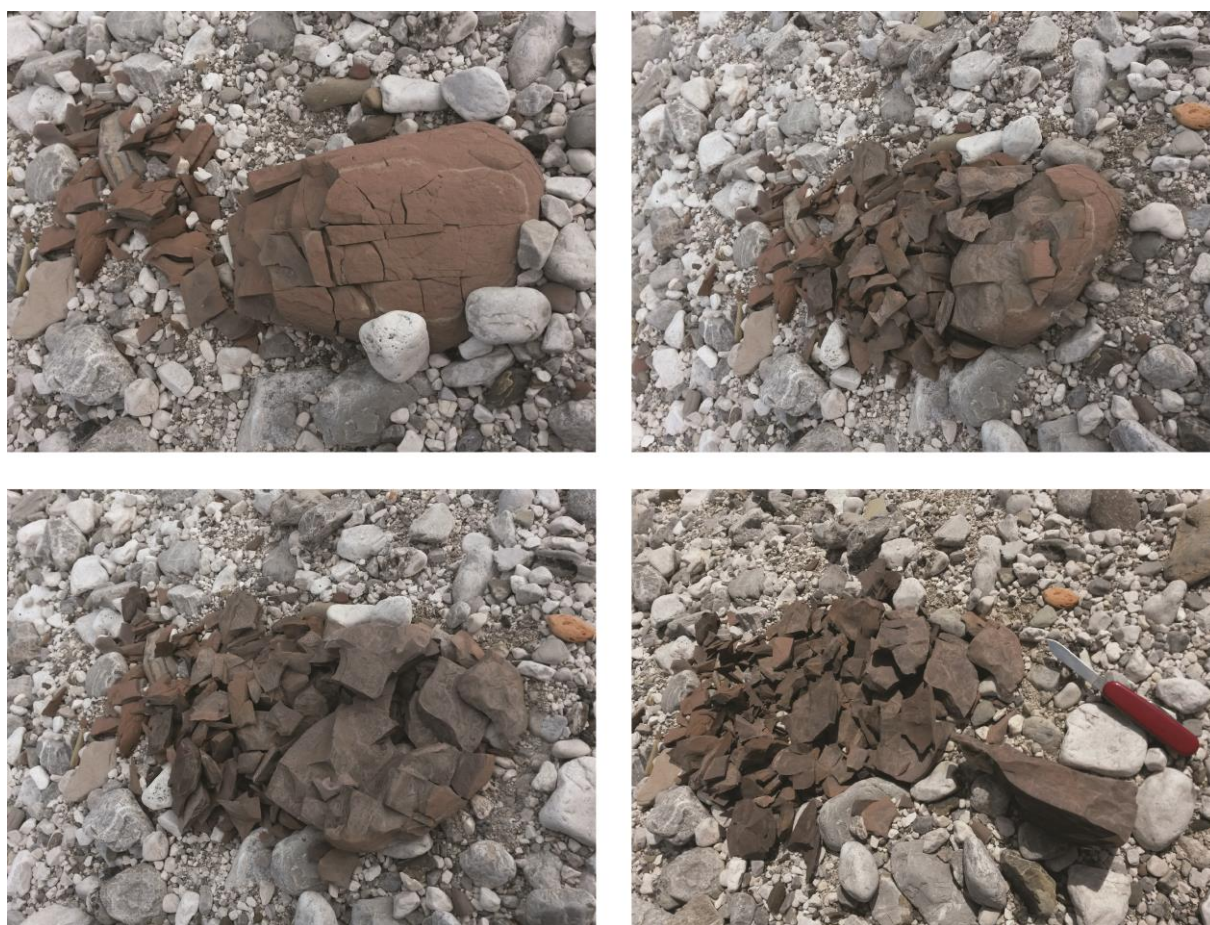


Grafikon 6: Delež belih apencev glede na mesto vzorčenja

Ker se zrna torej zaradi obrusa preoblikujejo, lahko iz tega sklepam tudi o dolžini poti, ki jo opravijo. V tem primeru lahko z na gotovost meječo verjetnostjo privzamem, da so ostroroba zrna v vzorcu iz Tolmina iz spodnjega dela Tolminke prispela v strugo niže kot zaobljena, pri čemer njihov delež znaša 8 odstotkov. Ker se svetlejšim apnencem pridružijo temnejši šele na območju obravnavanega podora, lahko nadalje sklepam, da je stopnja obrusa plavin zaradi opravljene poti največja prav na zrnu, ki izvira od tod. Torej je pri ugotavljanju vpliva podora na prodonosnost smiselno izključiti ostrorobe kamne ter jih obravnavati posebej, ne glede na petrografsko sestavo.



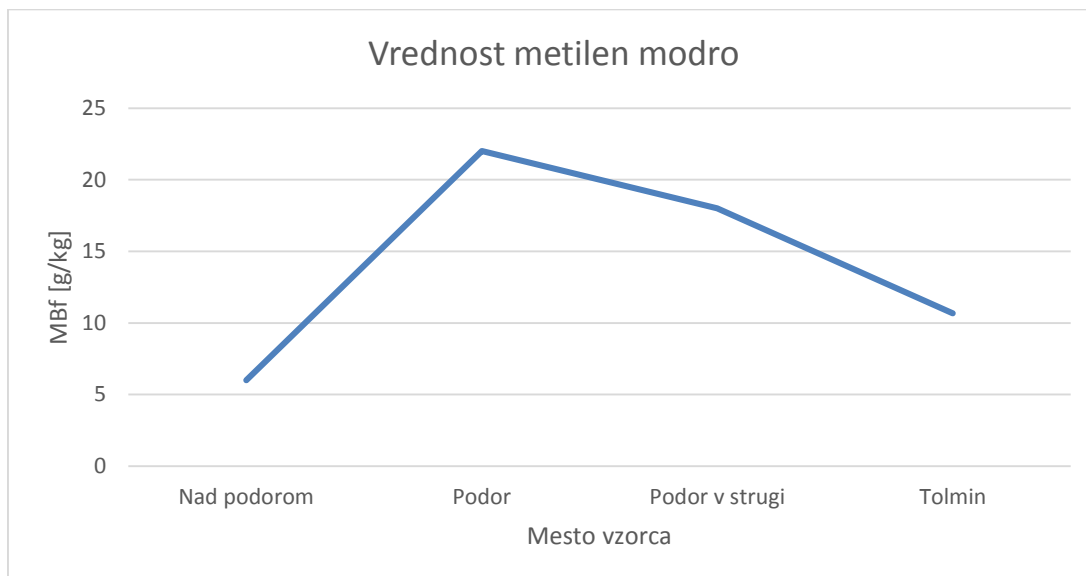
Nadalje lahko razliko v vsebnostih finih delcev v odvisnosti od mesta vzorca razložim z njihovim nastankom. Petkovšek (2008) pri ločevanju kamnin po trdnosti uvršča apnence, dolomite in goste konglomerate med trdne kamnine, ki so odpornejše na obrus, glinavce in laporovce pa med srednje trdne, na obrus manj odporne. In sicer, beli masivni apnenci, ki v glavnem sestavljajo zgornji del reke Tolminke, med drobljenjem in brušenjem ustvarjajo kameno moko, ki jo voda nato spere. Podor pa sestavljajo plastoviti apnenci in na obrus veliko manj odporni skrilavi meljevci, glinavci in laporovci. Prav te kamnine se drobnijo v melj in glino, ki se potem v obliki lebdečih plavin premeščajo dolvodno. Med drugim so na teh kamninah pogosti zdrsi preperinskega pokrova in srednje do srednje močno preperevanje, kar nakazuje na zelo verjeten vpliv podora na premeščanje plavin v primeru ponovnega sproščanja podornega gradiva tudi v prihodnje. Na spodnji sliki je viden razpad takega laporja, ki je ležal na vrhu deponiranega kupa odvzetih naplavin iz leta 2004, kjer je bil vzet tudi eden izmed vzorcev. Za predrobitev ni bilo potrebno veliko sile.



Slika 20: Razpad laporovca na zraku

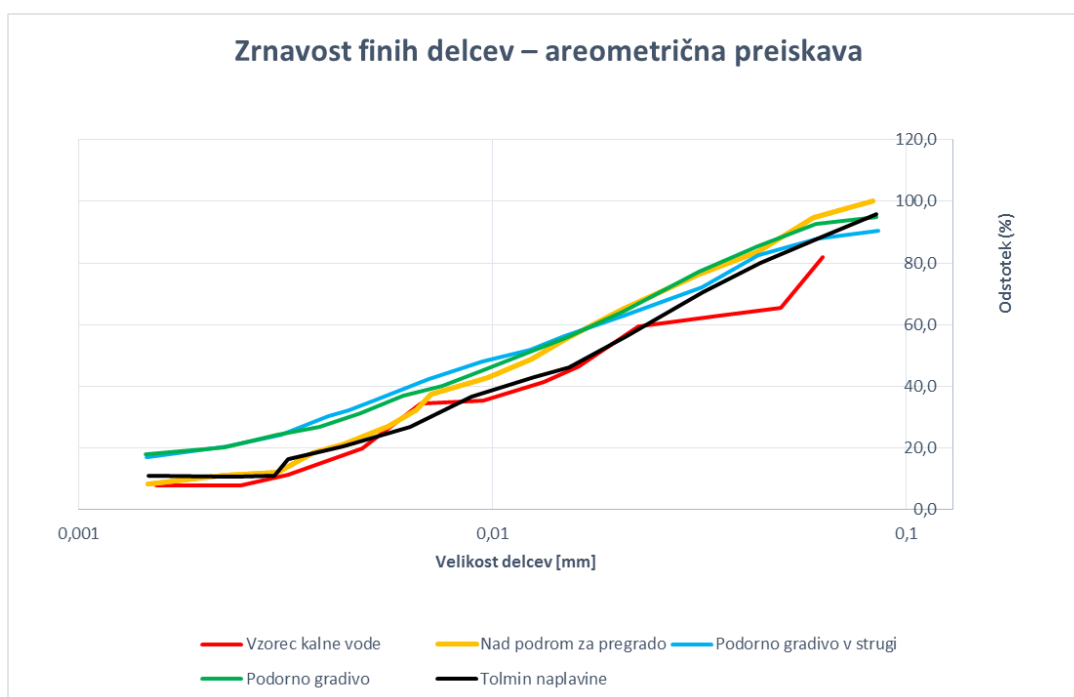


S poskusom metilen modro je mogoče nakazati, da večina glinenih delcev izvira prav iz omenjenega podora. S to metodo se namreč na podlagi količine vpite organske tekočine določa vsebnost glinenih delcev. To je razvidno iz spodnjega grafikona.



Grafikon 7: Vrednost vpite količine po metodi metilen modro

Maček (2016) je ob interpretaciji rezultatov preskusa dodal, da je večina glinenih delcev odnesenih sproti. To potrjuje tudi areometrija petih vzorcev, kjer je vsebnost glinenih delcev pri vseh nizka.

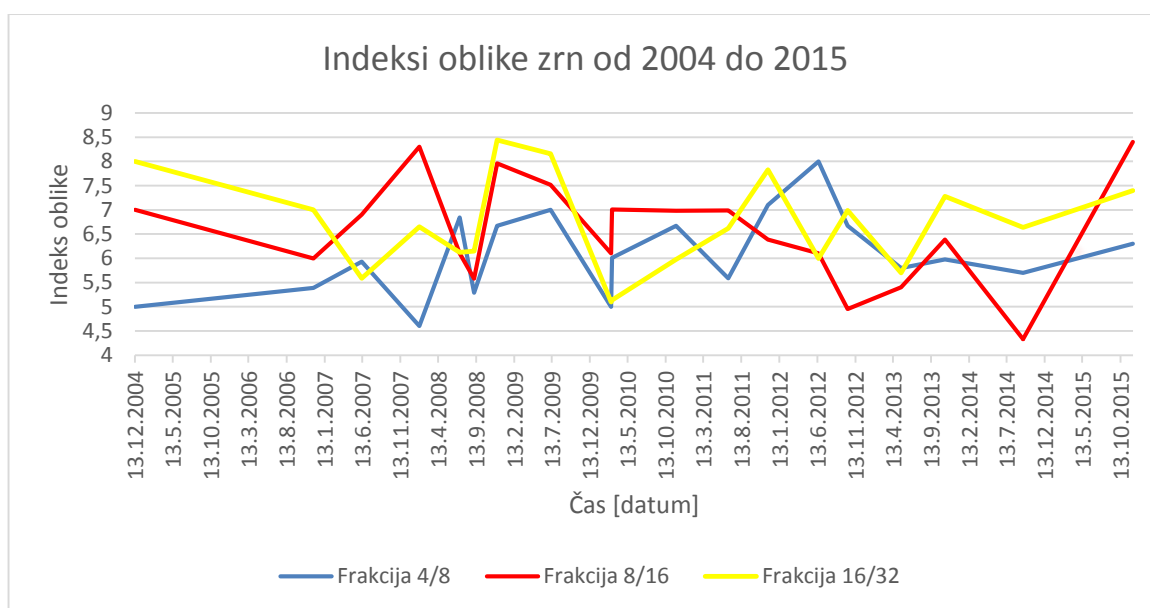


Grafikon 8: Zrnavost finih delcev, dobljena z areometrično preiskavo

Razlog za razliko v deležu sivih apnencev med vzorcem iz Tolmina in drugimi iz lovilnih jam je mogoče najti v naravi premeščanja plavin, ki je zelo kompleksna in nanjo vpliva mnogo dejavnikov. Da deleži enih in drugih apnencev in laporjev nihajo, je jasno razvidno tudi iz raziskave v nihanju indeksov oblike zrn, ki jo je za potrebe separacije izvedel Zuza (2016). Tudi sam je potrdil, da lastnosti izkopanega proda niti na istem mestu niti v različnih letih niso enake.

Preskus geometrijskih lastnosti po standardu SIST EN 933-4 namreč določa obliko zrn – modul oblike. Pri tem se posamezna zrna vzorca klasificirajo na osnovi razmerja njihove dolžine  $L$  in debeline  $E$  z uporabo kljunastega merila, kjer je to nujno. Indeks oblike se izračuna kot masa zrn, ki imajo razmerje  $L/E$  več kot 3, in je izražena kot masni odstotek na maso popolnoma suhega vzorca. Pri postopku določanja se zeleno frakcijo s sejanjem izloči iz preskušanca, nato pa se zrna razvrsti v skupini nekubičnih oz. neugodnih in kubičnih oz. ugodnih zrn in se jih nato stehta ter določi njihov odstotek. Na podlagi teh podatkov se po enačbi določi modul oblike zrn.

Prav modul oblike je spet pogojen z izvorom plavin in njihovo različno plastovitostjo ter načinom predrobitve in oblike po obrusu. Medtem ko se beli apnenci in dolomiti iz povirja zaradi višje trdnosti in daljše poti oblikujejo v zaokrožene prodnike, so na drugi strani plastoviti apnenci in laporji veliko bolj nagnjeni k ploščatosti. To nakazuje spodnji grafikon, kjer sta rast deleža ploščatih zrn in z njim povezani višji indeksi oblike posledica večjega deleža podornega gradiva, ki ga sestavljajo omenjeni ploščasti apnenci in laporji.

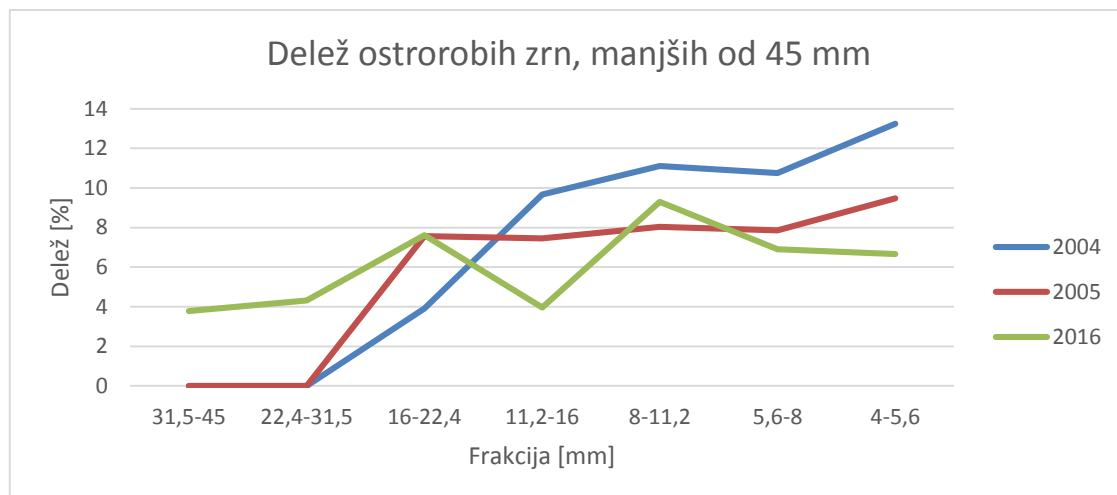


Grafikon 9: Spreminjanje indeksov oblike zrn v času (vir: Zuza)

Predvidevanje, da bo zaradi podora sprememba vidna tudi v indeksu oblike, se je torej izkazalo za pravilno. Prav korelacija med nihanjem indeksa oblike in s časom in z vremenskimi dogodki povezanim prodnim premikom bo v nadaljevanju ena izmed osnov za določitev prispevka podora k skupni količini premeščenih plavin.

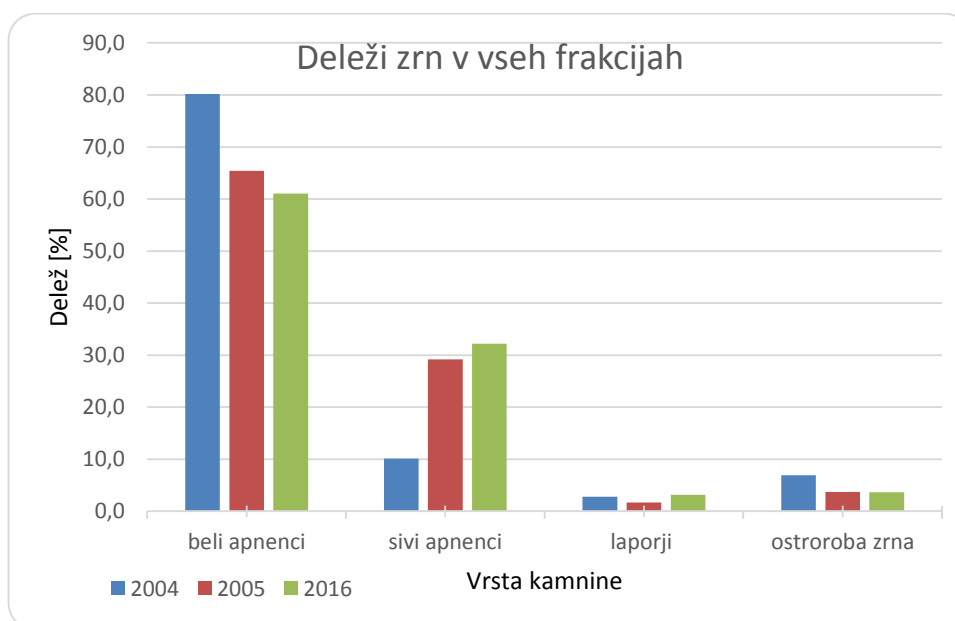
Ob omenjenih rezultatih pa navkljub vsemu ne izvemo natančno, v kolikšni meri podor vpliva na količine in lastnosti premeščenih plavin v teku časa. Zato je pregled na podoben način, kot sem to storil za različna mesta vzorčenja, za omenjene tri vzorce iz deponij iz treh različnih časov nazornejši pokazatelj.

Primerjava razlike v vsebnosti belih in sivih apnencev ter trdih laporjev v produ, ki je posledica različne geološke sestave izvora plavin, in to na enak način kot za različna mesta vzorčenja, kaže bolj jasno sliko spreminjanja njihove količine in ob tem omogoči tudi napoved bodočih trendov. V prvi vrsti je tudi tu treba posebej obravnavati nezaobljena oziroma ostroroba zrna, saj jih ne moremo obravnavati skupaj z zrnji oddaljenejših izvorov, ker v strugo prispejo, malo preden se odložijo v lovilnih jamah. Njihova nezaobljenost je namreč pokazatelj krajše poti, med katero se še niso obrusili, dolžina poti pa je eden bistvenih parametrov, ki vplivajo na obrus. Njihova petrografska sestava je enaka drugim zrnom, prav tako njihova odpornost na obrus, v strugo pa prispejo iz od lovilnih jam manj oddaljenih erozijskih žarišč. Leta 2004 je njihov delež znašal skoraj 7 odstotkov celotne mase vzorca. Glede na povečan dotok plavin iz oddaljenejših žarišč je bilo – ravno zaradi večje količine bolj obrušeni zrn iz oddaljenih žarišč – pričakovati znižanje njihovega deleža v teku let, kar potrjuje spodnji grafik. Povečanje deleža nekoliko bolj grobih frakcij med nezaobljenimi zrnji bi lahko razložil pojav prej opisanega obsežnega žledoloma izpred dveh let, saj je veliko hudourniških grap prav v bližini Tolminskih korit, kjer je premestitvena zmogljivost zelo velika in je potemtakem v teh dveh letih reka že lahko premestila zrna, ki so posledica izruvanja dreves. Omenjene velikosti ostrorobnih zrn se v prejšnjih letih namreč niso pojavljale. Sklepam, da je izvor ostrorobnih zrn sicer v večjem delu verjetno grušč na levi strani pred koriti.



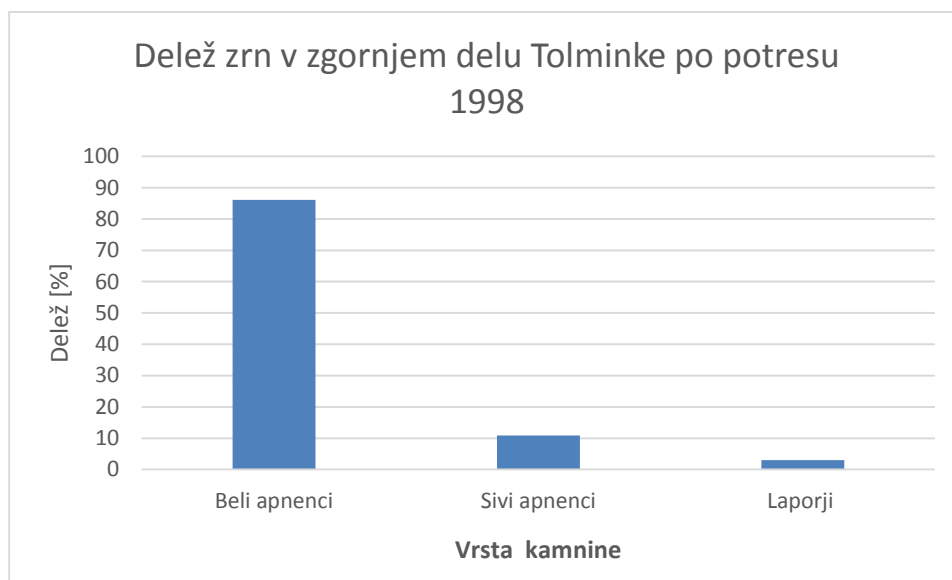
Grafikon 10: Delež ostrorobih zrn, manjših od 45 mm

Kar se tiče vpliva podora, je najbolj nazoren spodnji grafikon s prikazom spreminjanja deleža belih in sivih zrn apnenca, trdih laporjev ter ostrorobih zrn v letih po podoru.



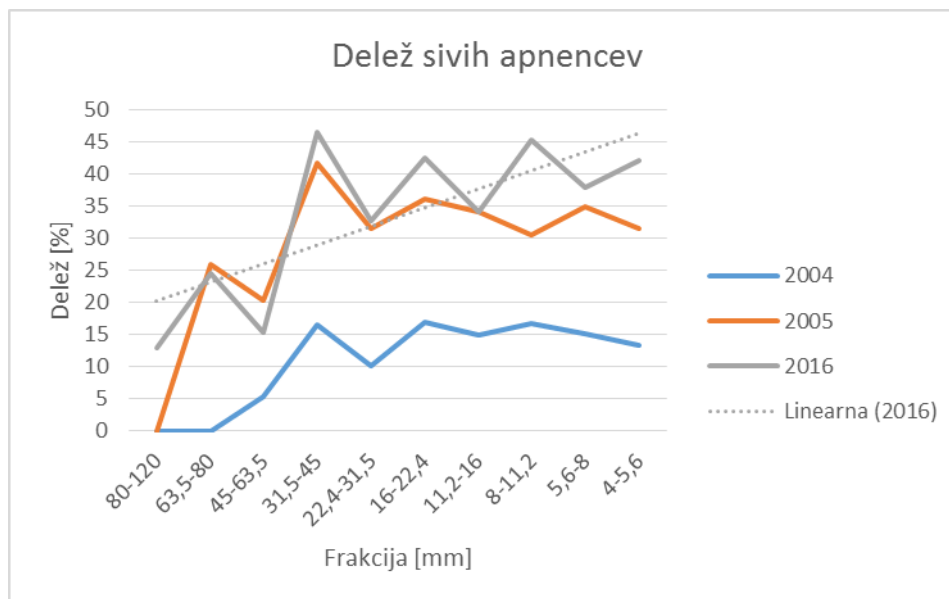
Grafikon 11: Delež določenih zrn v vseh frakcijah

Razvidno je, da so prod, izkopen v Tolminu v času pred podorom, v 80 odstotkih sestavljali beli apneneci. Če ne upoštevam ostrorobih zrn, so plavine z izvorom v zgornjem delu doline Tolminke vsebovale kar 86 odstotkov belih apnencev, a le 11 odstotkov sivih apnencev in 3 odstotke laporjev, ki izvirajo pod Lipnikom in prispejo v strugo Tolminke po Pščaku, v katerega gravitira obsežen, še vedno aktiven podor iz časa po potresu, kot tudi star pobočni grušč, ki je bil na mestu analiziranega podora že pred njegovo sprožitvijo.



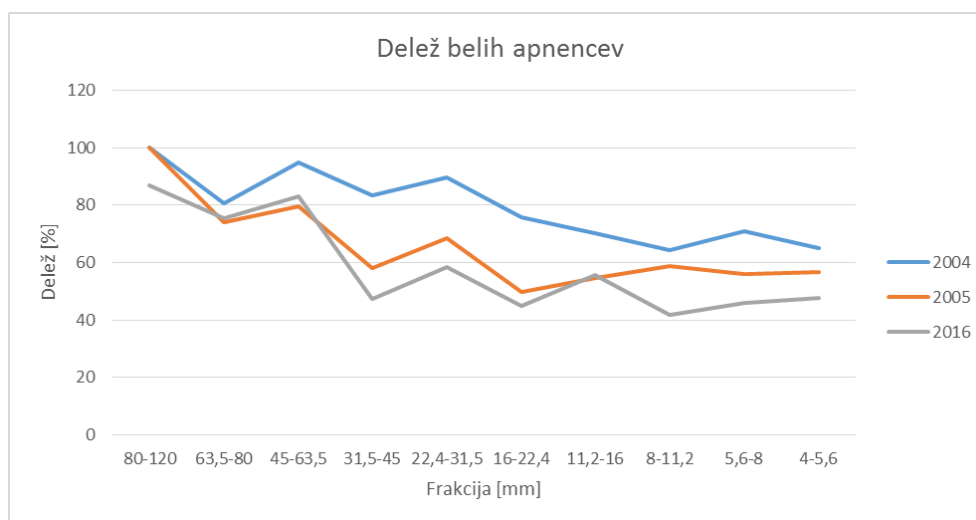
Grafikon 12: Delež določenih zrn v zgornjem delu Tolminke

Za vsako premestitev proda je potreben čas, dolžina premestitve pa je odvisna tudi od velikosti zrn. Prav tako je iz spodnjega grafikona razvidno, da se delež sivih apnencev povečuje, in sicer še posebej v odvisnosti od velikosti zrn. Z manjšanjem zrn se povečuje njihov delež. To bi lahko pojasnil s tem, da je po podoru v strugo prišla velika količina gradiva z določeno zrnastostjo, ki se sprošča v odvisnosti od velikosti zrn in posledično s tem narašča delež sivih apnencev. Erodibilnost je pojem odpornosti proti spiranju tekočih voda in je odvisna od obstojnosti kamnin in zrnastostne sestave zemljin. Pri tem je treba upoštevati, da hudournne vode lahko sperejo le toliko hribinskega drobirja, kolikor se ga sprosti, in le tista zrna, ki jih erozivno-porivne sile voda lahko premeščajo. Zato so erozijski pojavi v enakomerno preperevajočih kamninah umirjeni, v zemljinah pa občasni in sunkoviti (Pintar, 1983). Očitno je, da je podorno gradivo v strugo in nato do Tolmina prispelo že naslednje leto po podoru in v tem času v sunkih in nihajoče vplivalo na deleže med belimi in sivimi apnenci ter laporji, kar jasno ponazarja grafikon spreminjanja indeksa oblike, ki je neposredno povezan s količino sivih apnencev. Ob tem je zaradi premajhnega števila zrn v frakcijah nad 63,5 mm smiselno upoštevati le presevek skozi sito z odprtini 63,5 mm.



Grafikon 13: Delež sivih apnencev v različnih letih

Vse gradivo s podora se sedaj meša s starim, ki je že pred tem sestavljalo strugo reke in je bilo v večinskem deležu sestavljeno iz belih apnencev. Na spodnjem grafu je vidno znižanje njegovega deleža v obravnavanem obdobju, ki znaša približno 20 odstotkov.

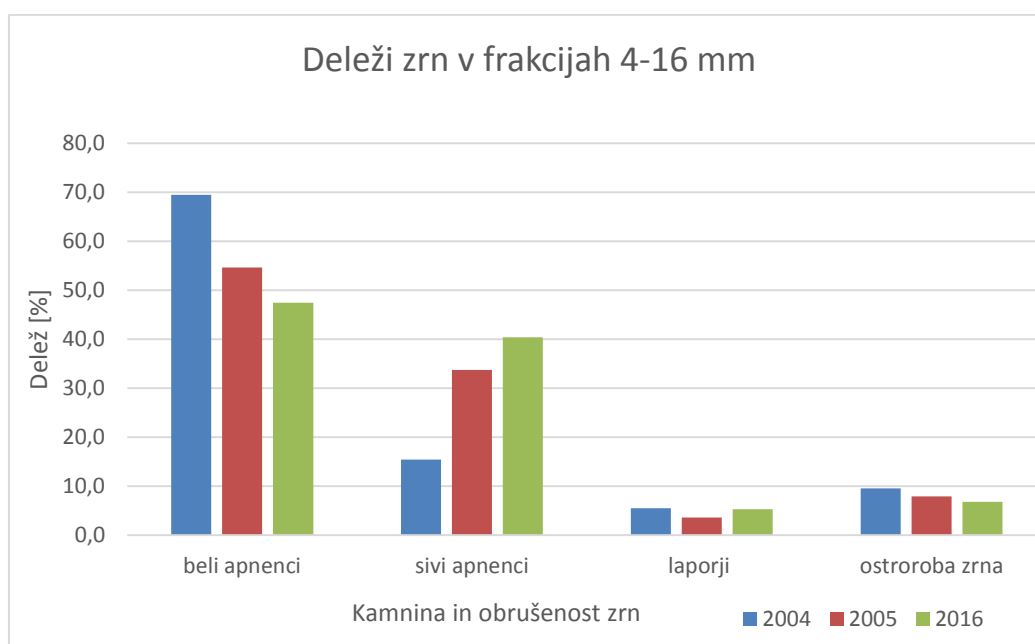


Grafikon 14: Delež belih apnencev v različnih letih

V prodonosnih vodotokih se plavine v dnu premikajo samo kot rinjene plavine. Pri grobih plavinah se gibljejo le posamezna zrna ali pa samo zrna le enega aktivnega sloja plavin v dnu vodotoka. Pri drobnih plavinah pa lahko premeščanje rinjenih plavin ne upoštevajoč premeščanja lebdečih plavin zajame več plasti v dnu vodotoka. Pride do neke vrste valjastega gibanja plavin v dnu vodotoka, kar povzroči izmenjavo med plavinami v podlagi dna in zgornjimi aktivnimi sloji (Mikoš, 2000). To razloži, da je sprememba še opaznejša v manjših



frakcijah, saj bo za premešanje zrn vseh velikosti od podora do lovilnih jam v Tolminu potrebnega še nekaj časa. Vidi se, da je delež sivih apnencev v frakciji 4–16 mm od sprva 15 odstotkov prešel na okoli 33 odstotkov, nato pa na 40 odstotkov. Tako hipna sprememba že v prvem letu po podoru je najverjetneje rezultat hipne sprožitve velike količine podornega gradiva, ki je zajezilo reko in potem, še ne premešano s starejšim prodom, nadaljevalo pot proti lovilnim jamam in se tam odložilo. Po tem dogodku je bila tudi struga reke zaradi velike količine novega proda v njej močno spremenjena.

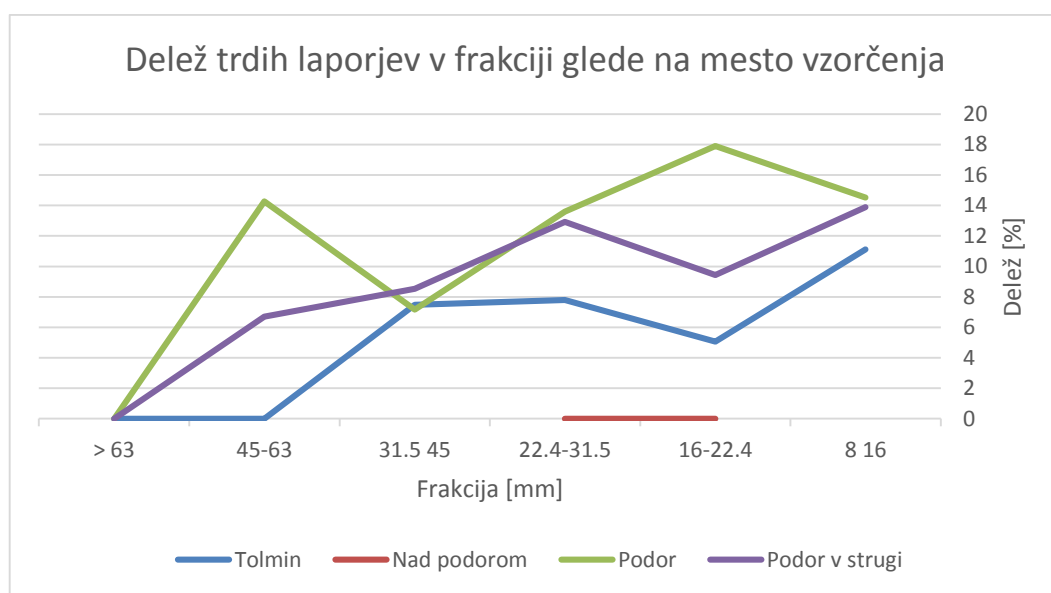


Grafikon 15: Delež različnih zrn v frakciji 4–16 mm

Kako se bo razmerje spreminjalo v prihodnje, je težko točno napovedati, ker je premik plavin odvisen od časovnega in krajevnega nihanja turbulence, a se bo glede na nihanja indeksa oblike najverjetneje še naprej počasi umirjalo in iz sunkovitih nihanj prehajalo v blažja.

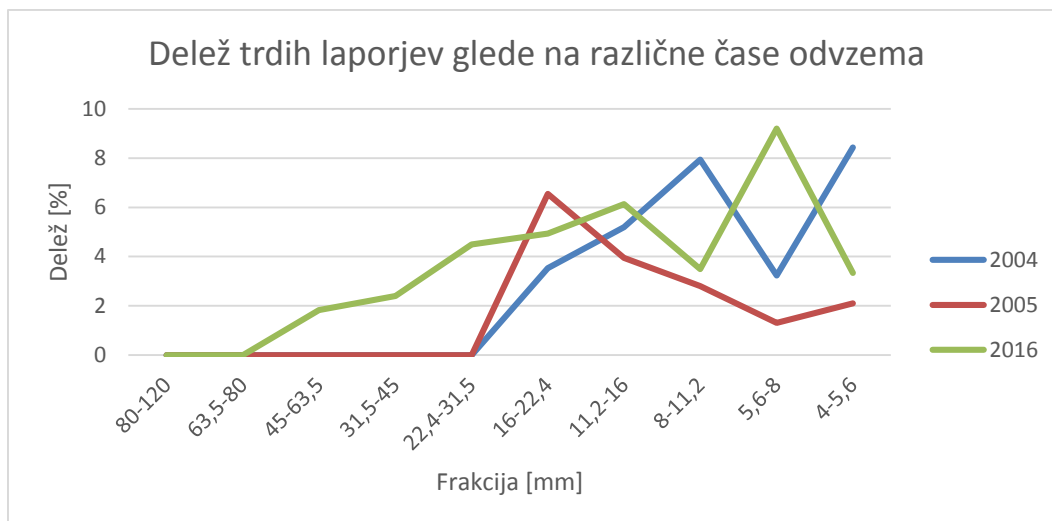
Laporji so lahko dobro uporabni kot indikator prispevka podora h količini proda, vendar je njihova povezava bolj zapletena prav zaradi njihove drugačne odpornosti na obrus. Pri drobljenju namreč nastajajo večje količine meljev in gline, ki se potem kot lebdeče plavine premeščajo dalje, ta razlika pa gre na račun zmanjšanja količine rinjenih plavin. Delež laporjev je bil takoj po podoru najmanjši, največ je bilo finih delcev, ki so verjetno posledica omenjenega procesa, ki je bil zaradi oglatosti drugih zrn še bolj pospešen in se kaže v odsotnosti manjših frakcij laporjev, saj so bila v večji meri predrobljena v fine delce. V letu 2016 pa se spet pojavljajo v podobnem skupnem deležu s spremenjenimi deleži med frakcijami, ki sovpada s sestavo podornega gradiva v strugi. To gradivo se namreč na poti s podora proti strugi predrobi

v zrna določene velikosti, katerih delež se v podobnih razmerjih potem z obrusom počasi zmanjšuje. Največji delež laporjev v vzorcu naplavin iz prvega leta po sprožitvi podora in v vzorcu podornega gradiva je v obeh primerih v frakciji 16–22,4 mm. Razlog za to mogoče tiči tudi v tem, da laporji zaradi atmosferilij hitreje razpadajo, v tem primeru pa so v kratkem času prispeli v strugo in so bili izpostavljeni le mehanskim obremenitvam in hidrološki predelavi, ne pa tudi preperevanju, ki drugače vpliva na njihovo drobnitev, kar prikazuje tudi slika laporja s kupa deponiranega proda (Slika 20).



Grafikon 16: Delež laporjev v določeni frakciji na različnih mestih vzorčenja

Visok delež trdih laporjev v času pred sprožitvijo podora lahko pojasnimo z vplivom potresa, ki je v določeni meri vplival na premikanje pobočnega grušča na mestu kasnejšega podora, in z dodatnim dotokom prodonosnih hudournikov z desne strani, ki pripadajo isti geološki sestavi kot obravnavani podor. Razlog za višji delež večjih zrn laporjev v vzorcu iz leta 2016 je morda prav v nihanju njihove količine zaradi postopnega premeščanja naplavin in kaže na trenutno nekoliko povečano vsebnost, kar sovpada tudi s trendom indeksov oblike zrn. Ob tem se deleži v različnih frakcijah spreminjajo tudi glede na to, ali je zemljina pod vplivom preperevanja zaradi atmosferilij ali hidrološke predelave, ki imajo za posledico različen razpad in predrobitev.



Grafikon 17: Delež trdih laporjev glede na različne čase odvzema

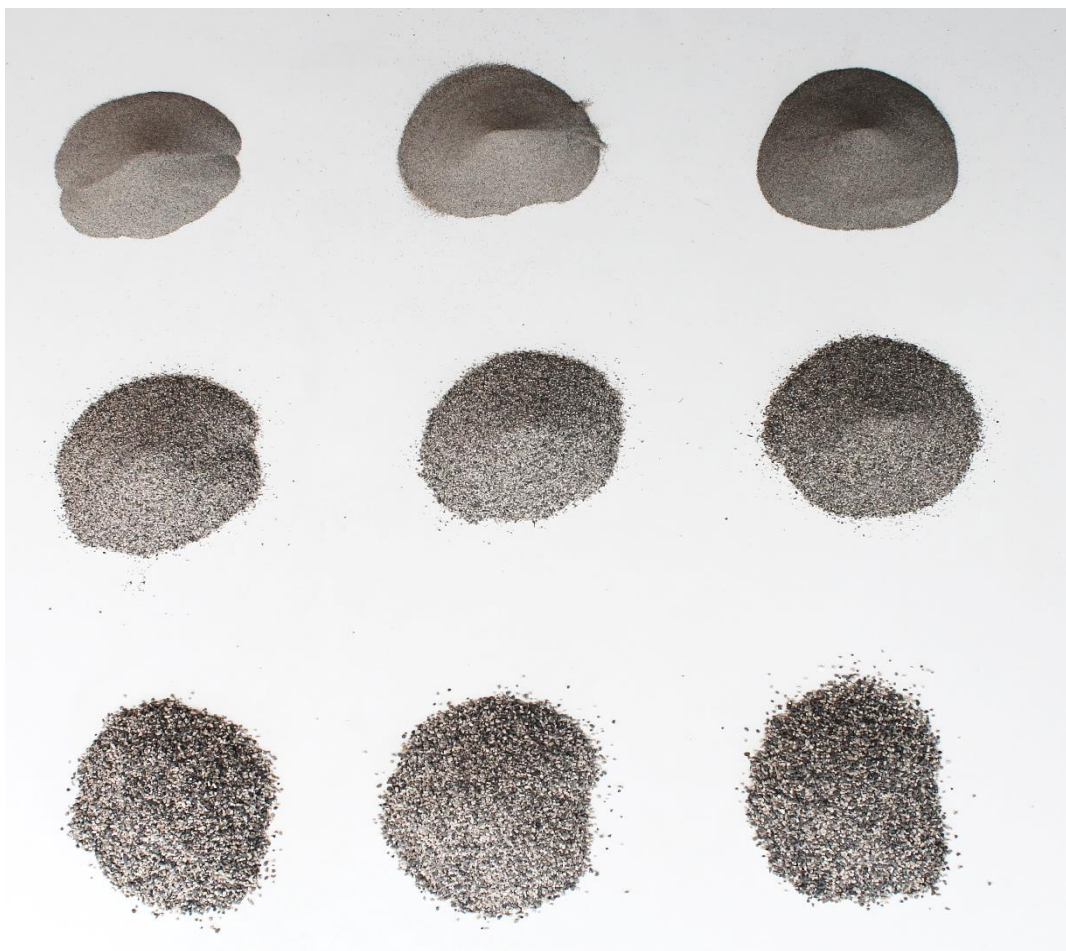
Prav ta razlika v predrobitvi zrn glede na izpostavljenost različnim vrstam zunanjih vplivov in visok delež sproščene zemljine ob podoru kažeta na razlog za visok delež finih delcev v vzorcu iz leta 2005.

Frakcij pod 4 mm nisem ločil glede na petrografsko sestavo z določanjem težnostnih razmerij, ampak njihove deleže nakazujeta spodnji sliki.



Slika 21: Frakcija peska velikosti zrn 1–2 mm. Na levi je vzorec iz leta 2004, v sredini iz leta 2005, na desni iz leta 2016.

Še bolj očitna je razlika v finejših frakcijah.



Slika 22: Ostanke na sitih z odprtini 0,125 mm (zgoraj), 0,25 mm (na sredini) in 1 mm (spodaj) za vzorce iz let 2004 (levo), 2005 (na sredini) in 2016 (desno)

Vidno je, da delež sivih apnencev v teh frakcijah takoj po podoru ni bistveno drugačen, medtem ko je v letu 2016 že precej več sivih apnencev peščenih frakcij. To je mogoče pojasniti s tem, da se med preperevanjem in predrobitvijo na samem podoru ustvarjajo peščene frakcije, kar potrjuje tudi zrnastostna krivulja. Če uvrstim vzorec podornega gradiva v strugi glede na zrnastost po študiji VGI (Pintar, 1983) med pobočne grušče in pobočne nanose, je ta rezultat pričakovan. Pobočni grušči namreč nastajajo kot posledica počasnih in trajnih procesov preperevanja in spodmlevanja, iz katerih deli preperele kamnine padajo ali se kotalijo navzdol, pri čemer se dodatno drobijo in razbijajo. Na podoru se ustvarjajo sipine, kjer je gradivo že nekoliko razvrščeno, tako da drobnejša zrna zastajajo zgoraj, debelejša pa se zaradi vztrajnosti kotalijo k strugi, kjer zato manjka peščenih frakcij. Med drugim pa za pobočne nanose velja, da so podobni pobočnim gruščem, le zapolnjeni so z naplavljenim drobnozrnatim erozijskim drobirjem, zaradi česar so manj prepustni za vodo. V takem primeru so pobočne odkladnine



tudi manj stabilne, posebej če ležijo na nagnjeni in težko prepustni podlagi drobnozrnatih glinomeljastih hribin.



Slika 23: Nastajanje sipinam podobnih oblik sortiranega gruščja na podoru

Na podlagi omenjenega se lahko sklepa, da delež finih zrn ob stabilnih razmerah na podoru ne bo v večji meri dodatno vplival na rinjene plavine. Vsaj ne toliko, kot je vplival takoj po dogodku; lahko pa vseeno bistveno prispeva h kalnosti Tolminke in količinam lebdečih plavin. To potrjuje tudi zrnavost vzorca iz leta pred podorom, ko je bil delež finih zrn 2 odstotka, in vzorca iz leta 2005, ko je ta znašal 10 odstotkov.

#### 4.3.4 Količina lebdečih plavin

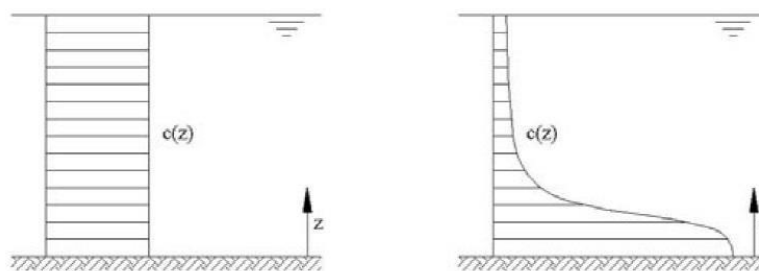
Določiti količino lebdečih plavin je brez stalnih meritev zahtevno, čeprav so za to na voljo določene enačbe. Koncentracija in hitrost vode se namreč spreminjata z njeno relativno višino v vodotoku. Torej velja odvisnost med koncentracijo in hitrostjo ter koncentracijo in oddaljenostjo od dna, kar je treba upoštevati pri izračunu pretoka lebdečih plavin. Koncentracija je lahko tudi izmerjena vrednost, potem sloni ocena ali račun specifičnega pretoka lebdečih plavin na teh merjenih vrednostih (Mikoš, 2000). Velika skupina metod merjenja kalnosti temelji na odvzemanju vzorcev vode, ki jih je treba filtrirati, da bi s tehtanjem filtrata končno dobili koncentracijo  $c$ , in to v  $mg/l$  ali pa v  $kg/m^3 m^3$ . Če so znane lokalne pretočne hitrosti vode,

kjer je bil odvzet vzorec vode, ali pa te hitrosti lahko ocenimo oziroma izračunamo, je dejanski pretok lebdečih plavin oziroma kalnost določena z enačbo (1):

$$q_s = c v_s = c v_w \quad (1)$$

Pri tem so  $c$  koncentracija lebdečih plavin,  $v_s$  hitrost lebdečih plavin [m/s] in  $v_w$  hitrost vode [m/s].

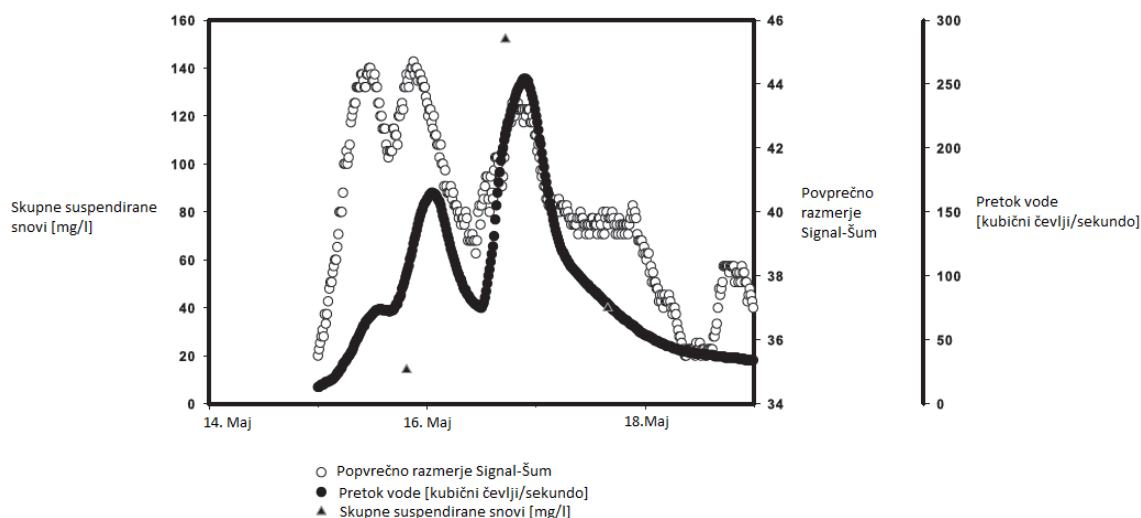
Koncentracija in lastnosti lebdečih plavin so po prostoru spremenljive tudi z vodostajem, in sicer ob nizkih vodah prevladuje delež drobnejših frakcij, bolj grobe pa prevladujejo ob visokih. Ob naraščanju vodostaja in med poplavnim valom je v suspenziji mešanica obeh. Melji in gline so po vodnem stolpcu sorazmerno enakomerno razporejeni, medtem ko so bolj groba zrna razporejena tako, da je večja količina bliže dnu, nato pa njihova koncentracija proti gladini upada (Attard, 2012).



Vertikalna porazdelitev koncentracije lebdečih plavin (levo za drobne in desno za grobe suspendirane sedimente) (Mikoš, 2012a, str. 136)

Bezák, Šraj in Mikoš (2013) dodajajo, da do nastopa konice vsebnosti lebdečih plavin pride časovno malo pred nastopom konice pretoka. Razmerje pa je odvisno tudi od velikosti prispevne površine in od lokacije potencialnih erozijskih žarišč. V primeru, da je prevladujoči proces v porečju erozija brežin ali struge, do nastopa konice vsebnosti suspendiranega gradiva pride pred nastopom konice pretoka. Pri erozijskih žariščih, ki so precej oddaljena od struge vodotoka, pa je obratno in do nastopa konice pretoka pride pred nastopom konice koncentracije lebdečih snovi. Do iste ugotovitve so prišli tudi Bowden, Shanley in Schuett (2012), kar so grafično prikazali na spodnjem grafikonu, ko so koncentracijo lebdečih plavin določali na podlagi odboja zvočnega valovanja.





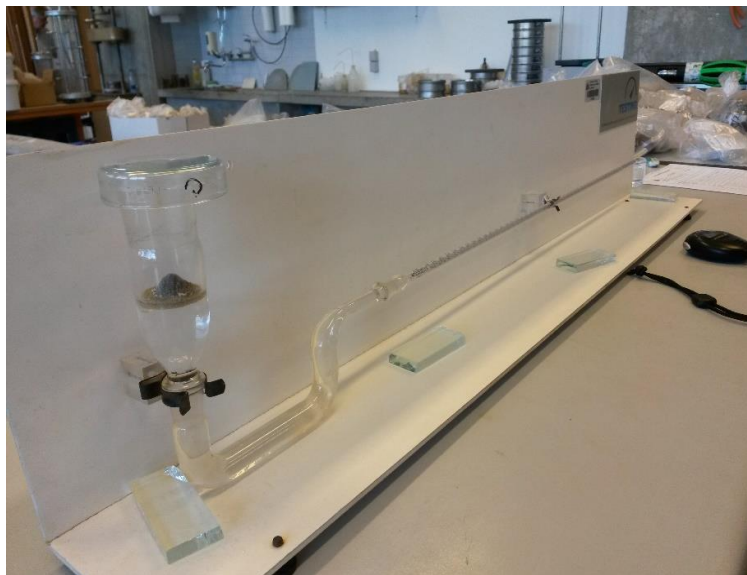
Grafikon 18: Koncentracija suspendiranih snovi in vpliv na razmerje signal – šum (prirejeno po Bowden, Shanley in Schuett, 2012, str. 8)

Na Tolminki teh meritev v preteklosti niso opravljali, zato tudi ni podatkov o teh količinah. Sam sem ob visoki vodi vzel vzorec v navadno steklenico in izmeril koncentracijo lebdečih plavin, a na podlagi zgoraj opisanega ta ne pove dosti. V različnih časovnih intervalih bi bilo namreč treba opraviti več meritev in potem na podlagi krivulje ugotoviti, kdaj je nastopil višek in koliko je znašala skupna količina lebdečih plavin. Za ta podatek bi potreboval tudi točne informacije o pretoku vode.

Sam vzorec zaradi nezadostne opreme in načina vzorčenja torej ni povsem zanesljiv in merodajen, daje pa vtis o količinah lebdečih plavin. Predvidevam lahko, da je bila koncentracija še višja, z višjo vsebnostjo peskov, saj je bil vzorec vzet na površju in zato ni zajel večjega dela delcev pri dnu. Izmerjena skupna koncentracija je bila 20,92 g/l, kjer je delež zrn, večjih od 0,063 mm, znašal 18 odstotkov, preostanek pa so predstavljala zrna, manjša od 63 mikronov. Vzorec je vseboval veliko organskih delcev, kar je otežkočilo areometrično preiskavo, saj je pena onemogočila razbiranje gostote tekočine, na podlagi katere se z uporabo Stokesovega zakona izračuna delež določene velikosti zrna. Ob tem je bil vzorec premajhen, saj je po standardu za preiskavo potrebnih 30 g. Na ta račun so bile razdelbe na areometru pretesno skupaj, kar se odraža v netočnem razbiranju, ki ima za posledico nezadovoljivo obliko krivulje. Ne glede na to je mogoče na podlagi dobljenih podatkov sklepati o izvoru delcev.

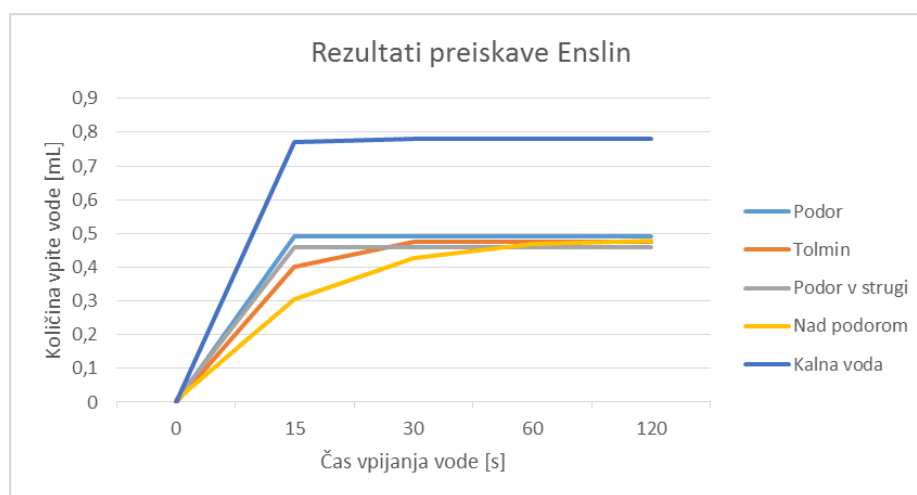
Razvidno je, da je delež glin majhen, v glavnem ga sestavljajo melji. Ker različna mineraloška sestava vpliva na količino in hitrost vpijanja vode, lahko na podlagi preiskave Enslin po

standardu DIN 18 123 sklepam, da je večina finih delcev prav s podora, saj je čas njihovega vpivanja vode podoben času vzorca iz Tolmina, medtem ko se vzorec nad podorom v tem bolj razlikuje.



Slika 24: Naprava Enslin

Vzorec iz kalne vode pa vpije bistveno več vode od vseh. Razlog za to je večja vsebnost organskih delcev, ki absorbirajo več vlage. Večja vsebnost organskih delcev namreč povečuje sposobnost vpivanja večje količine vode (Ball, 2011).



Grafikon 19: Čas in količina vpivanja vode 1 g vzorca z napravo Enslin



Grafikon 20: Deleži finih delcev v vzorcu kalne vode

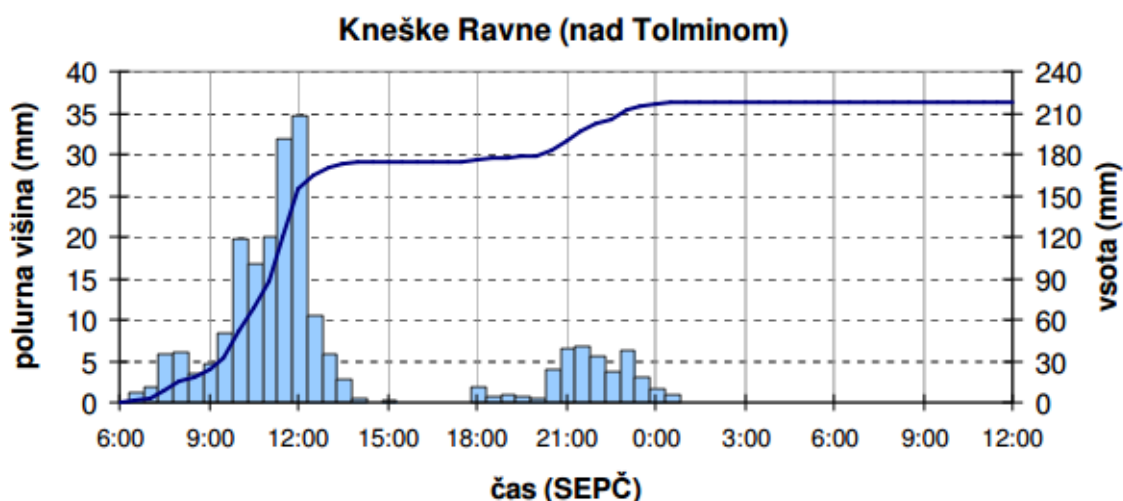
#### 4.3.5 Analiza vzorca kalne vode



Slika 25: Poplavna kalnost Tolminke ob visoki vodi (levo in na sredini) in poseden vzorec v steklenici (desno)

Prej opisano drobljenje in razpadanje laporjev že na samem podoru je verjetno tudi vzrok za visoko vrednost lebdečih plavin v vzorcu kalne vode. Pred padavinskim dogodkom je bilo namreč dolgo vroče in sušno obdobje. Ne nazadnje tudi relativno temna barva podornega gradiva z drugačnim albedom še dodatno vpliva na pospešene procese razpadanja. Vidno je, da je 70 odstotkov vzorca meljev, glina pa predstavlja le okoli 10 odstotkov. Iz tega lahko sklepam, da je v povirju malo glinavcev in več meljevcev in laporovcev, ob tem da je večina glinenih delcev spranih sproti in se v vodi pojavljajo kot stalna kalnost. Melj pa vstopi v vodotok ob večjih padavinah in povzroča poplavno kalnost.

Ker so na količine bistveno vplivale vremenske razmere, jih je smiselno na kratko opisati, saj vreme v veliki meri vpliva na premeščanje plavin. Na ARSO (2015) je bilo za ta dan izdelano poročilo, kjer o dogodku piše, da je Slovenijo prešla izrazita hladna fronta z obilnimi padavinami. Okoli 9. ure se je na Tolminskem vzpostavil pas močnih nalivov, ki se je šele po dveh urah in pol začel pomikati proti jugu, tako da so se zlasti na zahodu pojavili močnejši nalivi. Najbolj izstopajoča, za junij tudi rekordna dnevna višina padavin, je bila ravno na Tolminskem, kjer je večina padavin padla v treh urah. Na merilnem mestu v Kneških Ravnah nad Tolminom je bil naliv nenavadno močen, saj je v 175 minutah padlo 139 mm, kar ima povratno dobo okoli 25 let. Pretok Tolminke se je v manj kot štirih urah povečal za skoraj dvajsetkrat, pretok lebdečih plavin pa je bil ob maksimalnem pretoku in izmerjeni koncentraciji 1,4 t/s.

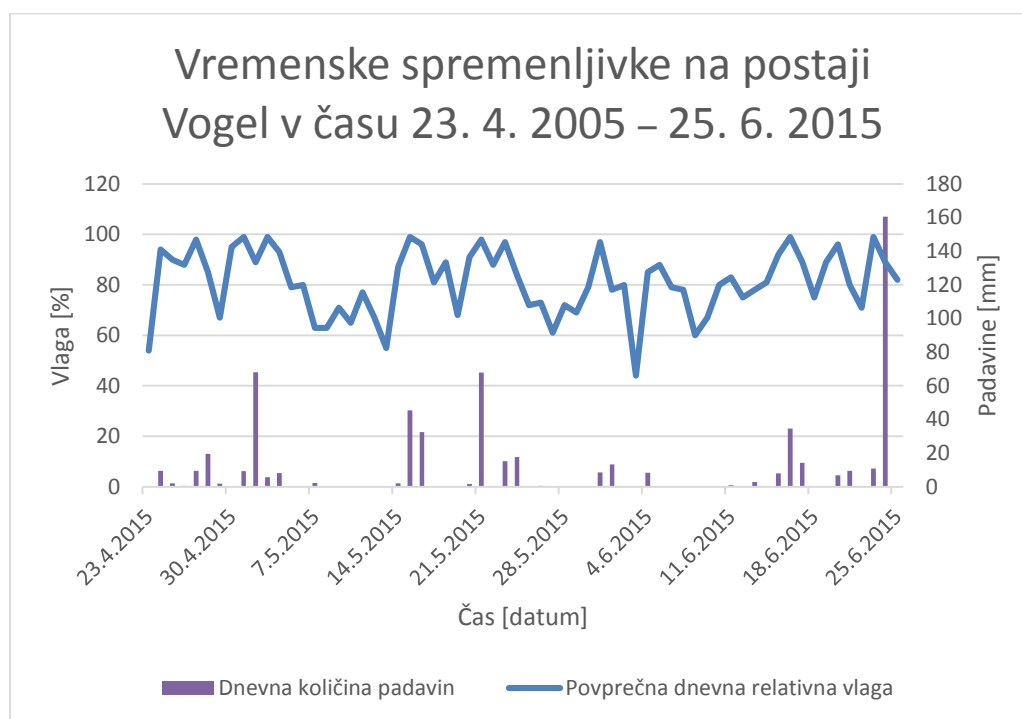


Časovni potek polurne višine padavin od jutra 23. junija do poldneva 24. junija v Kneških Ravnah nad Tolminom (vir: ARSO)

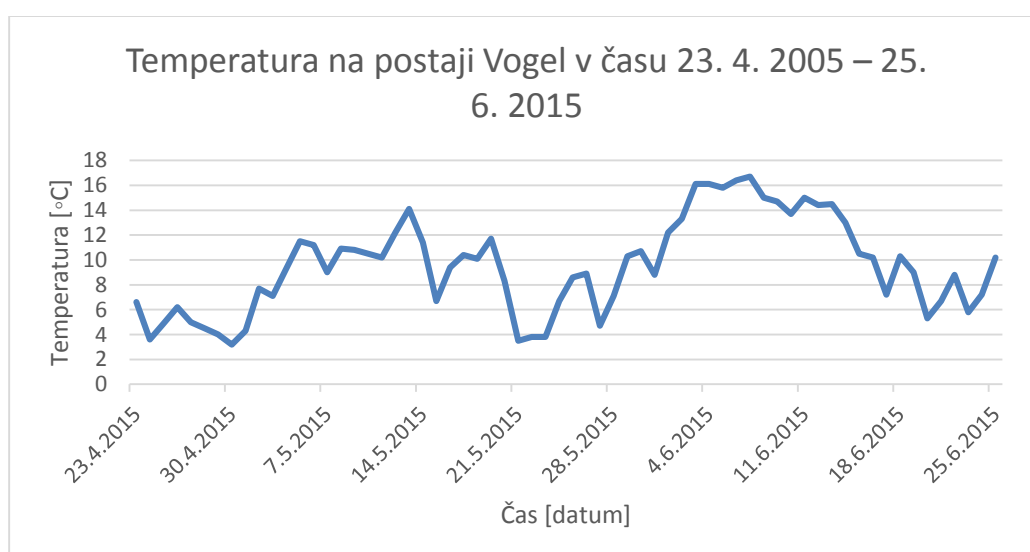
Kot rečeno, za pobočne nanose velja, da so zapolnjeni z naplavljenim drobnozrnatim erozijskim drobirjem, zaradi česar so manj prepustni za vodo. Podor je nekoliko ilovnat; v primeru, da v kratkem času pade velika količina padavin, voda z njega hitro odteče. Če pred tem vlada obdobje suše in velikega izhlapevanja, kakršno je bilo stanje pred dnem, ko je bil vzet vzorec kalne vode, kar se vidi iz temperatur in padavin dva meseca prej, se na podoru v ilovnati plasti začno ustvarjati razpoke. Prav v te kasneje prodre voda in zaradi vzgona zelo poveča erodibilnost teh, drobnih frakcij. Študija VGI (Pintar, 1983) o vzgonu piše, da tudi za hribine velja Arhimedov zakon o vzgonu in da so potopljene pod vodo povprečno od 35 do 40

odstotkov lažje. To je zelo pomembno za presojo statičnih in dinamičnih obremenitev, ki vplivajo na stopnjo erozije.

Prav ta pojav je morebitni vzrok za tolikšno koncentracijo lebdečih plavin v vzorcu, s čimer sovpada tudi grafikon spodaj. Razvidno je, da je bilo mesec dni prej sušno in vroče vreme z visoko relativno vlago, ki je vplivala na pospešeno preperavanje laporovcev in meljevcev.

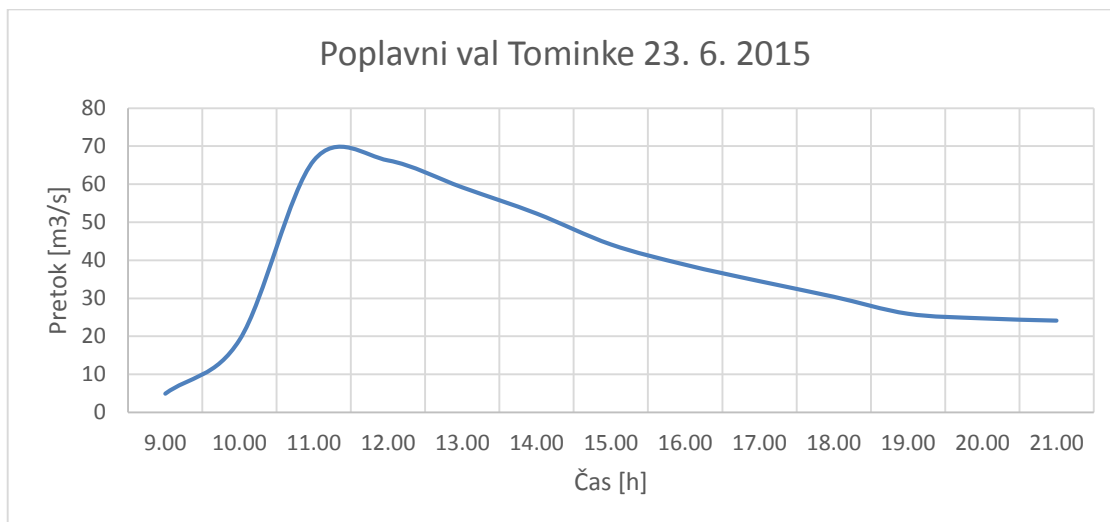


Grafikon 21: Vremenske spremenljivke na postaji Vogel v času 23. 4. 2005 – 25. 6. 2015 (vir: ARSO)



Grafikon 22: Temperatura na postaji Vogel v času 23. 4. 2005 – 25. 6. 2015 (vir: ARSO)

Sledi izračun količine lebdečih plavin iz vzorca in njihov vpliv na volumen akumulacije. Poenostavljena formula za izračun volumna poplavnega vala je določena iz površine hidrograma.



Grafikon 23: Poplavni val Tolminke 23. 6. 2015 (vir: ARSO)

Maksimalni pretok Tolminke je bil  $66 \text{ m}^3/\text{s}$ , poplavni val pa je trajal okoli 12 ur.

$$V_{\text{poplavni val}} = \frac{1}{3} Q_{\text{max}} \cdot t_{\text{poplavni val}} \quad (2)$$

Volumen poplavnega vala je po enačbi (2) približno  $950.000 \text{ m}^3$ .

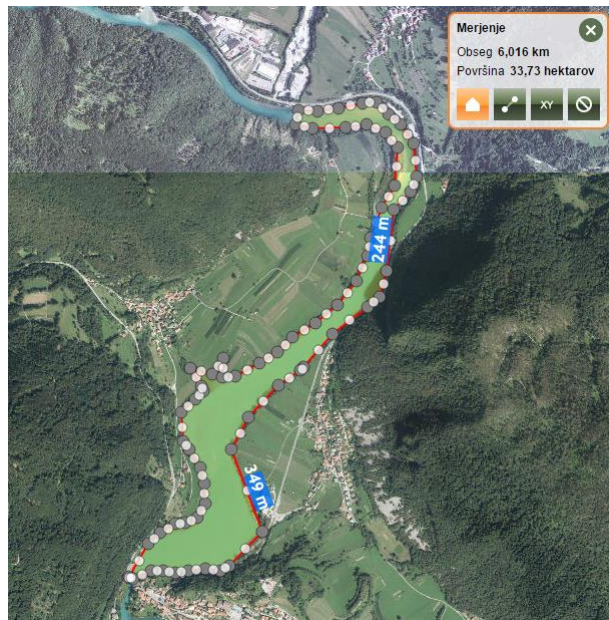
Za izračun skupne količine lebdečih plavin je potreben zmnožek volumna in koncentracije, ta pa znaša okoli 20.000 ton mulja. Ker je za vpliv na akumulacijo uporabnejši podatek o volumnu, predpostavimo gostoto  $1,3 \text{ t/m}^3$ . Ta vrednost bazira na sestavi in je določena iz diagrama klasifikacije tal. Iz razmerij 20 % peska, 70 % melja in 10 % glin gre za zameljeno ilovico, ki ima predpostavljeno gostoto na podlagi spodnje razpredelnice.

Preglednica 5: Gostote drobnozrnatih zemljin (prirejeno po Agriinfo, 2016)

Zemljina	Gostota [ $\text{t/m}^3$ ]
Peščena zemljina	1,6
Ilovica	1,4
Zameljena ilovica	1,3
Glina	1,1



Iz tega sledi ocena o 15.000 m<sup>3</sup> posedenega mulja. To ob predpostavki, da se večina gradiva posede na delu nad mostom čez Sočo, na površini okoli tretjine kvadratnega kilometra, ki jo ima ta del akumulacije HE Dobljar, znese nekaj več kot 4,5 cm.



Slika 26: Površina dela akumulacije HE Dobljar, kjer se zadrži mulj (vir: Atlas okolja)

Pri tem se poraja vprašanje, v kolikšni meri kalnost Tolminke vpliva na volumen akumulacije v letih, ki so sledila potresu. Gotovo je bila količina lebdečih plavin takoj po njem mnogo večja, saj se je v strugo sprostil ogromno drobnega gradiva, ki je nastalo kot posledica podorov in drobljenja večjih skal. Ker pa večina večjih zrn ni prispela v samo strugo, so v večji meri vplivali le fini delci. Ti so se v večini sprali v prvih dveh letih. Podor leta 2004 pa je bistveno vplival na premeščanje tako rinjenih kot tudi lebdečih plavin. Na slednje predvsem zaradi geološke podlage, ki gradi vsa pobočja južno od planine Polog, ki se torej od odporne triasne apnenčaste podlage razlikuje po tem, da je mehkejša in manj odporna.

Če bi želeli dobiti natančnejšo vrednost teh količin, bi bilo treba izvajati stalne meritve količine lebdečih plavin z določeno metodo, ki bi bila kalibrirana za Tolminko. Ker količine zaradi značaja reke zelo variirajo, bi bilo treba izvajati neprekinjene meritve bodisi na podlagi motnosti ali pa z uporabo akustičnih metod. Vendar na Tolminki teh potreb ni, zato tudi ni teh podatkov. Glede na to, da imam podatke o količini rinjenih plavin, bom na podlagi te vrednosti ocenil, kakšen velikostni red lebdečih plavin premesti reka do sotočja z reko Sočo in v kolikšni meri na te količine vpliva podor.

#### 4.3.6 Količina lebdečih plavin po podoru

Na podlagi študije o zrnivosti hribin Zgornje Soče in Zgornje Save (Pintar, 1983) bom sklepal o količinah lebdečih plavin na osnovi njenih ugotovitev, ki so sledeče:

- gravitacijsko-vodnim odkladninam pripada sorodna zrnavostna sestava,
- plavine, ki izvirajo iz žarišč bočne ali globinske erozije, sestavljajo predvsem frakcije srednje- in debelozrnatega drobirja-proda (60–70 %), relativno malo gline in melja (do 10 %), nekaj pa je tudi peska, ki ga je v vodotokih premalo,
- mnogo bolj je raznolika sestava preperinskih zruškov po hidrološki predelavi, ki vsebujejo več kot 50 % gline in melja, četrtno peska, ostalo pa predstavljajo prod, grušč in groblja.

Soočenje preperinskih zruškov kamnin s pobočnimi in hudourniški odkladninami ima za rezultat, da nekaj manj kot desetina grušča in groblje od sproščenih preperinskih zruškov zaostane v zaledju, nekoliko več se jih odloži na pobočjih, v hudourniških in rečnih strugah z največjim deležem drobirja, kar štiri petine v sestavi dveh tretjin gline in melja ter tretjine peska pa odplavijo vodni tokovi v ravninske struge in vodne akumulacije.

Ob predpostavki, da se 65 odstotkov plavin sprošča od površinske erozije – njihova zrna so drobnejša od 5 mm in v sestavi tretjine organskih snovi ter polovice mulja, ostalega dela pa peska –, 20 odstotkov od globinske in bočne erozije v starih pobočnih odkladninah z največjim deležem drobirja oziroma proda in 15 odstotkov preperinskih zruškov s prej omenjeno sestavo, so na VGI (Pintar, 1983) prišli do sklepa, da sestavlja plavine, ki dotekajo v odvodne struge, v povprečju:

- 20 % organsko humoznih snovi,
- 40 % gline in melja,
- 19 % peska,
- 14 % proda in
- 8 % grušča in groblje.

To pomeni, da je od 75 do 80 odstotkov snovi, ki nimajo bistvenega vpliva na odvodne struge in zablatujejo zadrževalnike voda, od 20 do 25 odstotkom rinjenih plavin pa manjka za obnavljanje naravnih strug vodotokov potrebnega peska.

Če torej poznam količino rinjenih plavin na podlagi izkopanega proda iz lovilnih jam, lahko podam oceno o količini gline in melja ter organskih snovi, ki se premestijo v lebdeči obliki. Za

Tolminko predpostavljam, da je teh snovi 75 odstotkov, saj velik del plavin sestavljajo beli apnenci, ki so precej odporni in h količinam gline in melja ne doprinesejo toliko kot manj odporne zemljine. Od leta 2004, ko so bile izdelane lovilne jame, do leta 2015 je bilo odvzetih približno 206.000 m<sup>3</sup> proda.

Iz tega sledi, da je količina premeščenih lebdečih plavin 823.000 m<sup>3</sup> v obliki zablatenega mulja. Ob zavedanju, da se vsa ta količina ne posede v akumulaciji HE Doblar, saj glineni in manjši meljasti delci potujejo naprej – velik del premestitve tako lebdečih, predvsem pa rinjenih plavin se namreč zgodi ob veliki količini padavin v povirju in je v takih razmerah posedanje zaradi velike koncentracije še dodatno upočasnjeno –, lahko glede na zelo približno oceno časa zadrževanja predpostavim vrednost 500.000 m<sup>3</sup> posedenega mulja. Iz spodnje slike je razvidno, da ob ekstremnih dogodkih zaradi turbulentnega toka na akumulacijskem jezeru še ne more priti do posedanja najmanjših delcev.



Slika akumulacijskega jezera HE Doblar Most na Soči ob povodnji leta 2009 (levo) in 2012 (desno) (Matej Rutar)

Z upoštevanjem gostote 1,3 t/m<sup>3</sup> za lebdeče plavine in površino akumulacije tretjine kvadratnega kilometra dobim vrednost 114 cm mulja v enajstih letih.

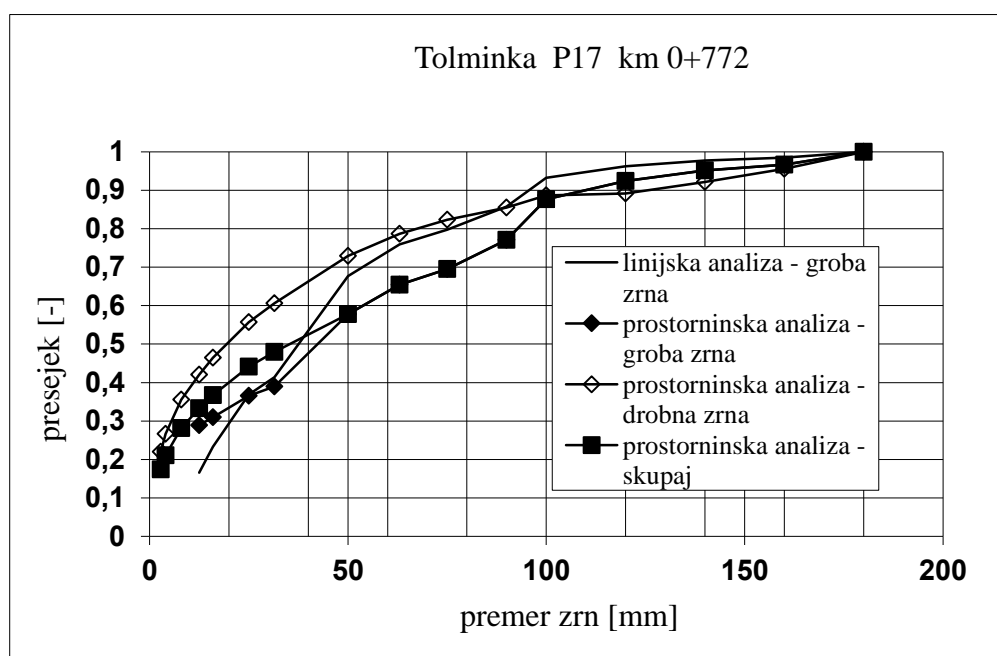
Vendar so tam, kjer je efektiven volumen akumulacije, bolj vplivne rinjene plavine, saj gladina niha na območju z večjo premestitveno zmogljivostjo, zato je za samo akumulacijo pomembnejše, da se večja zrna zadržijo pred vstopom vanjo. Za ta namen so lovilne jame zelo učinkovite, posedeni mulj pa se lahko brez škode za volumen akumulacije med obratovanjem odstrani v daljših časovnih razmakih. Navzlic temu je vpliv finih delcev na rečne habitate zelo velik, prav tako ni zanemarljiv na kakovost proda pri njegovi uporabi za gradbene namene, zato bo obravnavan kasneje.

#### 4.3.7 Količina rinjenih plavin po podoru

Kolikšen je vpliv podora na skupno količino plavin, je vprašanje, s katerim sem se ukvarjal skozi celotno nalogo. Ta številka je zaradi kompleksnosti narave premeščanja plavin uganka in prava vrednost iz prej opisanih razlogov ostaja nepoznana, a je groba ocena kljub vsemu mogoča. Sam sem k stvari pristopil z upoštevanjem ugotovitev o zrnivosti hribin VGI (Pintar, 1983) skupaj s poznavanjem mehanizmov premeščanja in razlikovanja glede na izvor plavin na podlagi različne petrografije zrn.

Glavna težava so le deloma reprezentativni vzorci, saj glede na velikost vseh zrn izključujejo določene frakcije, zato sem deleže gruša in groblje glede na različen izvor ocenil s pomočjo ogleda na terenu, ne pa s samimi sejalnimi analizami, ki so zaradi premajhnega števila primerkov v frakcijah nad 45 mm nerealna. Zato je seveda vprašljiv tudi celotni delež teh frakcij v premeščenem gradivu. V študiji VGI (Fazarinc in sod., 1999a) so za Tolminko izdelali zrnovostne krivulje, in čeprav je bil delež določene velikosti zrn ovrednoten po številu, v mojem primeru pa po teži, si lahko z njimi pomagam.

Izkaže se, da je na razširjenem profilu Tolminke z lovilnimi jamami nad čistilno napravo zrnovost taka, kot je prikazana na spodnjem grafikonu.



Zrnovost na odseku lovilnih jam (Kokalj, 1999)

Za plavine Tolminke sem prilagodil zrnovostne deleže, ki po VGI (Pintar, 1983) veljajo za gubljevite potočne naplavine, in glede na vzorce s treh različnih deponij zapisal njihove deleže:

Giblјive potočne naplavine	Tolminka 2004	Tolminka 2005	Tolminka 2016
$CM_2S_{15}G_{68}K_{10}R_5$	$CM_1S_{22}G_{52}K_{18}R_7$	$CM_8S_{13}G_{54}K_{17}R_8$	$CM_2S_{15}G_{58}K_{17}R_8$

Iz tega sem na podlagi petrografije lahko izračunal približni delež rinjenih plavin, ki ga podor prispeva k celotni prodonosnosti, in sicer glede na delež, ki ga v zrnavostni združbi prispevajo zrna različne sestave ali oblike. V spodnji tabeli so približne ocene, ki sem jih predpostavil sam glede na rezultate, dobljene iz vzorcev. Iz grafikona zrnavosti na odseku lovilnih jam sem predpostavil okoli 25-odstotno vrednost deleža zrn nad 63,5 mm. Delež sivih apnencev pa sem ocenil na terenu. Spodnja slika prikazuje grušč in grobljo na robu deponiranega kupa, med katerima je tudi veliko roženca, saj je odpornejši na obrus.



Slika 27: Grušč in groblja ob deponiranem kupu odvzetih naplavin

Preglednica 6: Deleži zrnastostnih združb in deleži sivih, belih, laporjatih in ostrorobih zrn v vsakem izmed njih

Združba	Tolminka 2004	Sivi apnenci	Beli apnenci	Laporji	Ostroroba zrna	
CM	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	
S	0,22	0,07	0,11	0,02	0,02	
G	0,52	0,08	0,38	0,02	0,04	
K	0,18	0,03	0,14	0,00	0,02	
R	0,07	0,01	0,05	0,00	0,01	
	<b>skupni delež [%]</b>	<b>0,18</b>	<b>0,69</b>	<b>0,05</b>	<b>0,08</b>	1,00
		0,30	0,50	0,10	0,10	1,00
	<i>CM<sub>1</sub>S<sub>22</sub>G<sub>52</sub>K<sub>18</sub>R<sub>7</sub></i>	0,30	0,50	0,10	0,10	1,00
		0,15	0,74	0,05	0,07	1,00
		0,15	0,75	0,00	0,10	1,00
		0,15	0,75	0,00	0,10	1,00
Združba	Tolminka 2005	Sivi apnenci	Beli apnenci	Laporji	Ostroroba zrna	
CM	0,08	0,03	0,04	0,00	0,01	
S	0,13	0,05	0,06	0,01	0,01	
G	0,54	0,18	0,31	0,02	0,03	
K	0,17	0,04	0,12	0,00	0,01	
R	0,08	0,02	0,06	0,00	0,00	
	<b>skupni delež [%]</b>	<b>0,33</b>	<b>0,58</b>	<b>0,03</b>	<b>0,07</b>	1,00
		0,40	0,45	0,05	0,10	1,00
	<i>CM<sub>8</sub>S<sub>13</sub>G<sub>54</sub>K<sub>17</sub>R<sub>8</sub></i>	0,40	0,45	0,05	0,10	1,00
		0,34	0,57	0,03	0,06	1,00
		0,25	0,70	0,00	0,05	1,00
		0,25	0,70	0,00	0,05	1,00
Združba	Tolminka 2016	Sivi apnenci	Beli apnenci	Laporji	Ostroroba zrna	
CM	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	
S	0,15	0,08	0,05	0,02	0,02	
G	0,58	0,23	0,28	0,03	0,04	
K	0,17	0,06	0,09	0,01	0,01	
R	0,08	0,02	0,05	0,00	0,01	
	<b>skupni delež [%]</b>	<b>0,40</b>	<b>0,48</b>	<b>0,057</b>	<b>0,07</b>	1,00
		0,50	0,30	0,10	0,10	1,00
	<i>CM<sub>2</sub>S<sub>15</sub>G<sub>58</sub>K<sub>17</sub>R<sub>8</sub></i>	0,50	0,30	0,10	0,10	1,00
		0,40	0,49	0,05	0,06	1,00
		0,35	0,55	0,05	0,05	1,00
		0,30	0,60	0,03	0,08	1,00

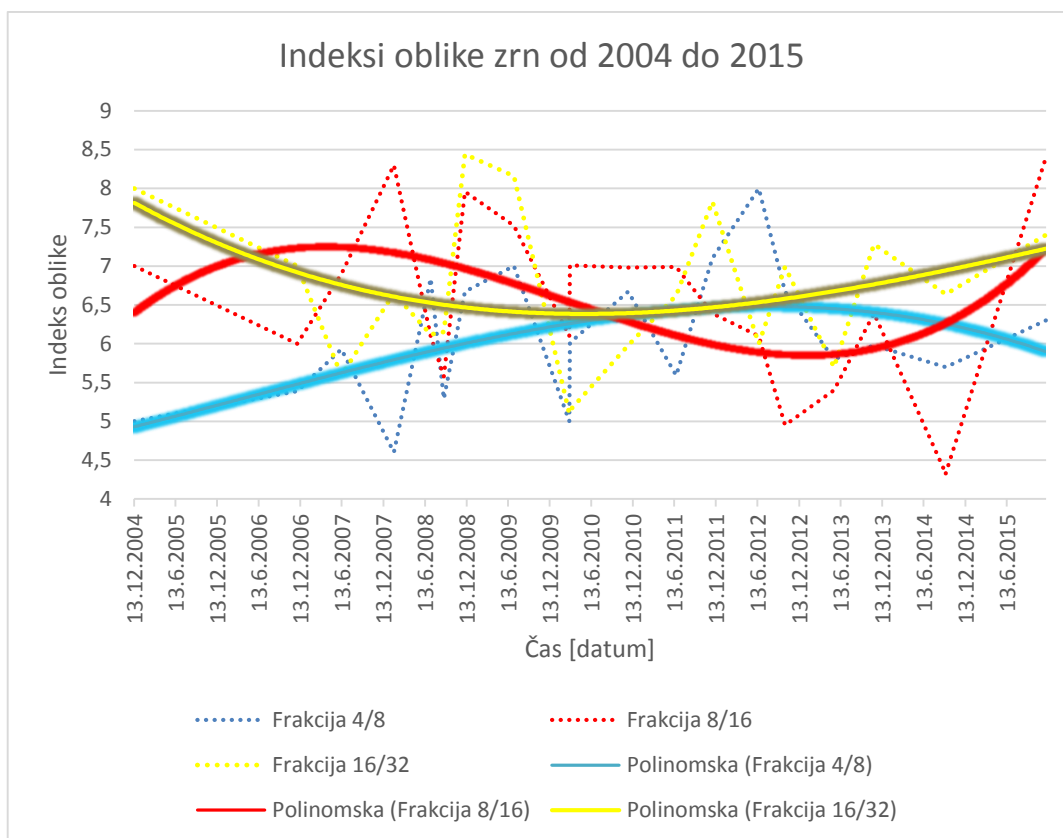


Na podlagi spremembe v deležu sivih apnencev, ki imajo izvor za drugo prodno pregrado, kjer podorno gradivo prispe v strugo, v letih pred njegovo sprožitvijo in teh, ki so podoru sledila, sem lahko ocenil, v kolikšni meri je torej podor vplival na skupno količino rinjenih plavin.

Ker pa je sama količina zaradi prej omenjenih lastnosti premeščanja plavin nihala, sem moral upoštevati spreminjanje količine določene vrste zrn, saj procesi premeščanja ne potekajo linearno, ampak se plavine pogosto pomikajo v pasovih.

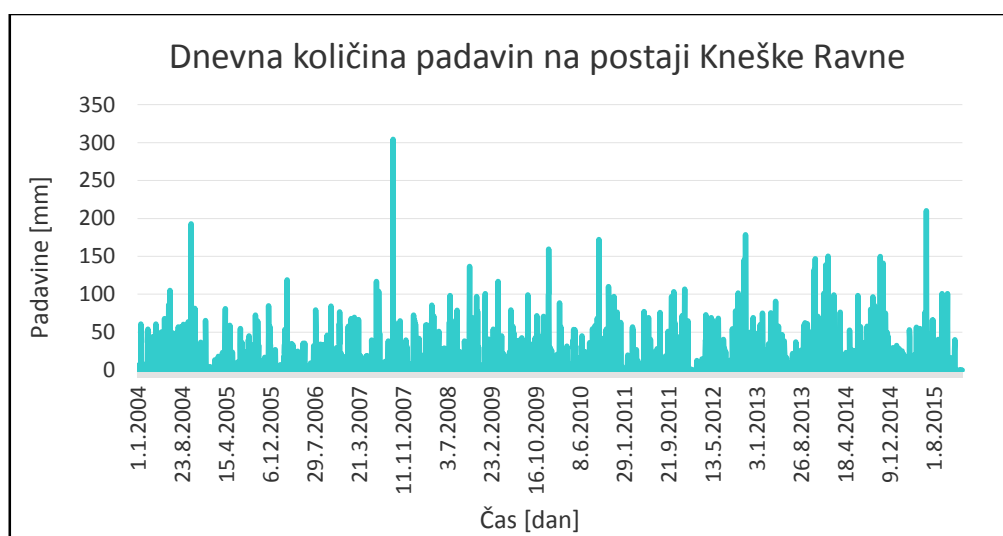
Upoštevajoč razlike v deležu sivih apnencev in laporjev ter različne stopnje pojavnosti njihovega deleža v določeni zrnovostni skupini, sem za vzorca iz let 2005 in 2016 predpostavil tudi deleže v vmesnih letih. Z uporabo podatkov o spremembi indeksa oblike, ki indicira vsebnost omenjenih plavin na podlagi prej opisanih dejstev o različnem zlogu kamnin iz raziskovanega erozijskega žarišča glede na druge izvore, ki v večini prispevajo k prodonosnosti, sem torej ob poznani skupni letni količini plavin lahko sklepal tudi o njihovi letni količini. Pri tem sem upošteval, da je bila razlika v deležu laporjev v primerjavi s sivimi apnenci v letu takoj po podoru in enajst let po njem manjša. Odgovor za to je bržkone moč spet poiskati prav v manjši odpornosti laporjev, ki se med premeščanjem obrusijo in predrobijo, na koncu pa zapustijo strugo Tolminke v lebdeči obliki in se pridružijo Soči.

Pri tem sem preveril smiselnost ocene deleža glede na nihanje indeksa, s predpostavko, da bo trend spremembe za različne frakcije potekal drugače. Točno to nakazuje spodnji grafikon, kjer se lepo vidi, da sta indeksa zrn frakcije 4–8 mm in 8–16 mm poskočila takoj po podoru. Prvi zaradi večje erodibilnosti, drugi pa tudi na račun večjega deleža ploščatih zrn v tej frakciji zaradi večjega deleža ploščastih laporjev v njej. Indeks v frakciji 4–8 mm je že pričel padati, zrna v frakciji 8–16 mm nakazujejo mešan trend, večja zrna pa se z naraščajočo vrednostjo indeksa pridružijo s časovnim zamikom; njegova vrednost še kar narašča, pri čemer je razlika v velikosti indeksa med posameznimi frakcijami posledica različne predrobitve, kjer je posledično v določeni frakciji večja verjetnost za višji indeks. Ta časovni zamik obenem nakazuje, da se pri prodnem premiku najprej premeščajo manjša zrna, ki jim sledijo vedno večja.



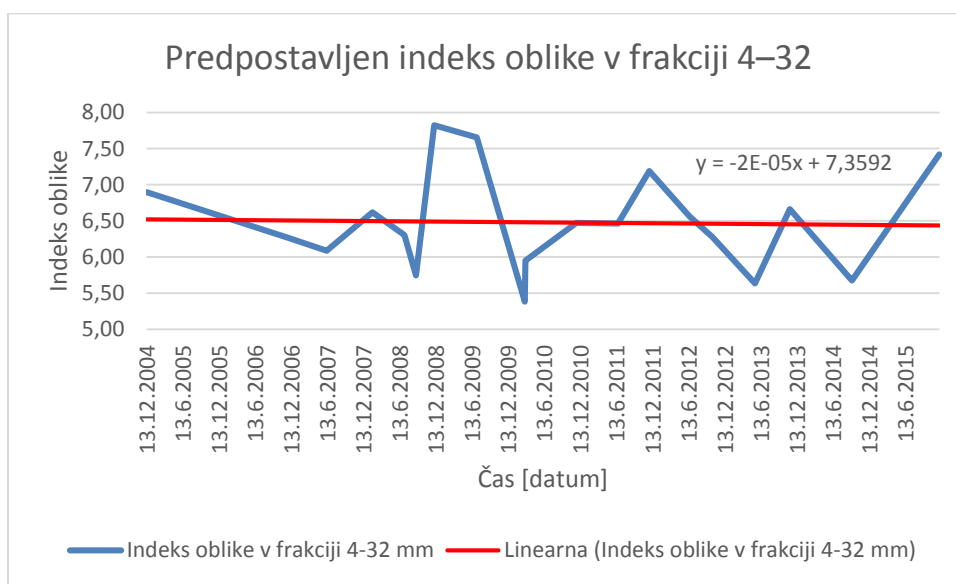
Grafikon 24: Trendne črte indeksov oblike različnih frakcij

Ker ni podatkov o pretoku Tolminke v obdobju 2005–2009, sem nihanje indeksa oblike razložil s podatki z vremenske postaje Kneške Ravne in videl, da je bil 19. 9. 2007 ekstremen padavinski dogodek, ki je bistveno vplival tudi na procese premeščanja plavin.

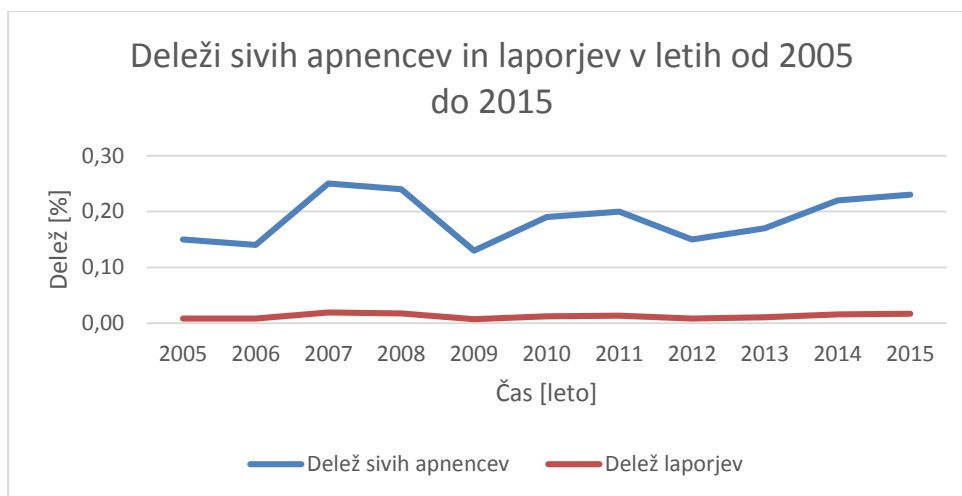


Grafikon 25: Dnevna količina padavin na postaji Kneške Ravne od 2004 do 2015

Ta dogodek razloži veliko količino odvzetega proda v letu 2007 in v treh, ki so mu sledila. Velike količine proda v teh letih so vsekakor tudi rezultat hidravličnih in hidromorfoloških sprememb zaradi poglobitve dna na mestu lovilnih jam. Če nadalje poiščem korelacijo med indeksom oblike in dogodki, ki so se običajno zaradi časovnega zamika v odvzemu in predelavi proda ter določanju indeksa pojavljali v predhodnem letu, lahko torej določim nihanje deležev sivih apnencev in laporjev. Povprečne vrednosti indeksov sem nato prikazal v grafikonu in preveril trendno črto. Ker podatki o indeksu oblike za frakcijo 4–32 mm niso na voljo, sem vrednost predpostavil na podlagi srednjih vrednosti deležev določene frakcije vzorcev iz let 2004 in 2016, ki sem jo nato pomnožil s pripadajočim indeksom za dano frakcijo.



Grafikon 26: Predpostavljeni indeksi oblike za frakcijo 4–32 mm od leta 2004 do leta 2015



Grafikon 27: Predpostavljeni deleži sivih apnencev in laporjev glede na predpostavljeni indeks oblike v letih od 2005 do 2015

Ob tem sem opazil, da so do leta 2007 indeksi padali, kar je nedvomno posledica povečane količine bolj zaobljenih belih apnencev, ki so po potresu leta 1998 s podorov in z usadov našli pot v strugo in s tem nižali delež sivih apnencev. S tem lahko tudi razložim rahlo padanje indeksa oblike kot posledico spreminjanja deleža belih apnencev v njihov prid, ker je očitno povečanje prodnih tokov v zgornjem delu Tolminke zaradi potresa še vedno vplivnejše od samega podora. Obenem pa je to padanje vrednosti zelo majhno, kar pomeni, da podor v Pologu in prodne mase, ki so posledica potresa leta 1998, prispevajo približno enak delež.

Iz vsega tega sledi, da je k skupni prodonosnosti od leta 2005 do leta 2015 podor prispeval 43.000 m<sup>3</sup>, kar znaša 21 % oziroma približno petino skupne količine premeščenih plavin. Če torej upoštevam, da je količina podora ocenjena na nekaj deset tisoč kubičnih metrov (Komac in Zorn, 2007), lahko ob bodočih stabilnih razmerah na podoru dokaj varno predvidevam, da se njegov vpliv na prodonosnost ne bo več bistveno povečeval. To ne velja nujno tudi za lebdeče plavine, saj se bo proces preperevanja in premlevanja na samem podoru nadaljeval, ob tem pa se bodo ustvarjali fini delci, ki so mnogo bolj erodibilni od večjih.

Na tem mestu je smiselno ovrednotiti oceno VGI (Fazarinc, 1999), kjer je bil letni dotok proda po potresu 1998 ocenjen na 10.000 do 15.000 m<sup>3</sup>, ob čemer naj bi se prav zaradi potresa dotok rinjenih plavin povečal za 10–20 % za povprečno hidrološko leto, ob neurjih in dodatnih sunkih pa bistveno več. Kot je razvidno iz tabele odvzema proda, so količine precej nihale, kar je rezultat kompleksnega procesa premeščanja plavin in hidrologije v tem časovnem obdobju, kar ima za posledico težko napovedovanje prodonosnosti. Vsemu navkljub je izračunano letno povprečje za obdobje 2005–2015, brez upoštevanja vpliva podora, 14.800 m<sup>3</sup> proda, kar je popolnoma skladno z ocenami v omenjeni študiji.

Preglednica 7: Volumen, ki ga podor prispeva k skupni prodonosnosti

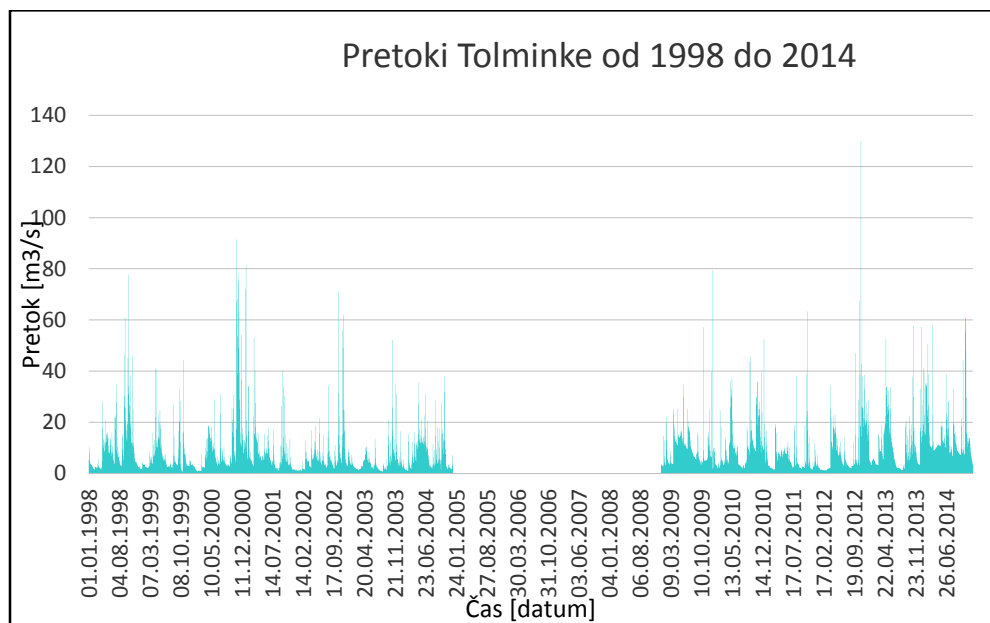
Leto	Skupaj [m <sup>3</sup> ]	Podor [m <sup>3</sup> ]
2005	12.389,00	1958,84
2006	6.060,00	897,56
2007	31.017,00	8.348,93
2008	23.748,40	6.119,92
2009	26.407,00	3.629,26
2010	23.614,10	4.782,71
2011	15.241,80	3.250,67
2012	8.231,70	1.301,53
2013	20.885,70	3.766,19
2014	20.764,80	4.889,82
2015	17.374,50	4.290,82
Seštevek [m <sup>3</sup> ]	205.734,00	43.236,24

Preglednica 8: Delež podora v obravnavanem obdobju in povprečna letna prodonosnost

Delež podora v obravnavanem obdobju	21%
Povprečna letna prodonosnost [m <sup>3</sup> ]	18.703,09
Povprečna letna prodonosnost brez podora [m <sup>3</sup> ]	14.772,52

Glede na nekaj izrednih prodonosnih dogodkov ta ocena sovpada s količinami tudi zato, ker je dejanska prodonosnost za povprečno leto verjetno nekoliko nižja kot izračunana, saj so pri izračunu upoštevali nekoliko previsoke vrednosti pretokov, povzetih po nedokončanem elaboratu *VG ureditve povodja Soče, Hidrološki študiji Soče ter Vodnogospodarskih značilnostih povodja Soče in Hidrološki študiji Koritnice in Tolminke* (Fazarinc in Pintar, 1998), kjer je vrednost glede na značilne vodne količine, izračunane na ARSO leta 2013, mnogo precenjena. V spodnji tabeli so pretoki v tem obdobju za leta, ko so podatki na voljo. Iz nje je razvidno, da so količine maksimalnih letnih pretokov zelo različne, v odvisnosti od njih prav tako skupna letna prodonosnost, vendar nikakor ne tako visoke kot v študiji VGI (Fazarinc in sod., 1999, str. 157).

Q <sub>100</sub> [m <sup>3</sup> /s]	Q <sub>50</sub> [m <sup>3</sup> /s]	Q <sub>20</sub> [m <sup>3</sup> /s]	Q <sub>2</sub> [m <sup>3</sup> /s]
361,3	332,4	280,4	150,3



Grafikon 28: Pretoki Tolminke v obdobju od 1998 do 2014 (vir: Arso)

Iz razlike v deležih belih in sivih apnencev pred in po podoru je hitro jasno, da večji delež prispevajo prodni tokovi in podorno gradivo, ki se je v preteklosti že sprostilo, sedaj pa se zadržuje nad zaprodno prodno pregrado pri izviru Tolminke, ki plavin ob povečanih pretokih ne zadrži v celoti. Zato je lahko pričakovati, da se bo ob dokaj stabilnih razmerah na podoru razmerje počasi spet začelo nagibati v smeri večjega deleža belih apnencev. V kolikšni meri in času se bo to dogajalo, je težko napovedati. Če bi to želeli, bi morali izvesti enako analizo še za najmanj en vzorec v naslednjih nekaj letih, na podlagi katere bi lahko sklepali o trendu spreminjanja deležev. Še ta vzorec zaradi spremenljivih pogojev in toka v pasovih ter dodatnih virov plavin zaradi erozije in akumulacije proda ter dolgotrajnega procesa mešanja starih in aktivnih novejših plavin ne bi nujno dal pravih podatkov.



## 5 SEPARACIJA GODIČA

Eden izmed smislov ukvarjanja s plavinami in z njimi povezanimi procesi je tudi uporaba proda kot gradbenega materiala pri izdelavi betona in tamponov. Beton kot kompoziten material je v osnovi sestavljen iz cementa, vode in agregata. Agregat lahko predstavljajo prod, drobljenec, ostanki določenih procesov. V vsakem primeru pa igra pri kakovosti betona zelo pomembno vlogo. Pridobivanje agregata iz drobljenca je zelo drago in ob predstavi, da je beton tako uporabljen in uporaben gradbeni material, pomeni ogromno potrošnjo energije. Prav zato je za ta namen smiselna uporaba rečnih naplavin. Vsemu navkljub lahko navsezadnje porabo betona in s tem njegov vpliv na okolje občutno zmanjšajo gradbeni inženirji s preudarnim projektiranjem betonskih konstrukcij. Ker je kakovost betona zelo odvisna od vhodne kakovosti agregata, je treba pred uporabo poznati določene lastnosti. Te so po Žarniču (2003) gostota, maksimalno zrno in njegova oblika, kjer večja zaobljenost zrn pomeni boljšo vgradljivost. Ob tem imajo zrna s poudarjeno dimenzijo (paličasta, ploščata) veliko specifično površino in poudarjene neizotropne lastnosti, kar bistveno zmanjšuje njihovo primernost. Naslednja zelo pomembna je trdnost agregata, saj bistveno vpliva na trdnost betona, za njo pa zrnatost oziroma granulometrijska sestava, ki ima s plastičnimi lastnostmi vpliv na sveži beton, prav tako pa tudi na otrdelega, saj so od te zrnatosti odvisni trdnost, trajnost in izgled končnega proizvoda. Zato ob poznani presejni krivulji ni treba delati dodatnih preiskav. Tu so še drobni delci, ki z veliko specifično površino vplivajo na večjo količino potrebne vode, prav tako glineni delci zmanjšujejo sprijemanje agregata s cementno pasto, kar ima za posledico nižjo trdnost betona. Ker je cement alkalen, organske primesi pa so običajno kisle, te negativno vplivajo na proces hidratacije, medtem ko sol povzroča korozijo armature. Obstaja še cela vrsta snovi, ki reagirajo, in je zato za izdelavo kakovostnega betona treba poznati njihovo vsebnost.

Ker torej prod, ki se zadrži v lovilnih jamah, kopljejo in separirajo ter ga kasneje uporabijo kot agregat za beton ter tamponski agregat, bom pregledal postopek njegovega pridobivanja, predelave in priprave za uporabo. Ker je končni proizvod na separaciji Godiča, kjer prod iz Tolminke pripravljajo za prodajo, certificiran, bom pregledal tudi postopek pridobitve certifikata in opisal navodila za izvedbo preizkusov, ki so pogoj za njegovo izdajo. Pri tem se bom dotaknil tudi standardov, ki veljajo na tem področju.

## 5.1 Splošno o separaciji

Separacija stoji v bližini Tolmina. Obratuje od leta 1995; na njej obdelujejo in predelujejo ter prodajajo prod iz Tolminke, Soče in Bače.



Na levi je označena lokacija separacije (vir: Atlas okolja), na desni sta sliki s separacije (Miha Žlindra)

Za vse stroje v uporabi sta potrebna upoštevanje varnosti pri delu in izvedba preventivnih in kurativnih posegov. Linijo za sejanje in mletje gramoza sestavljajo dve vibracijski siti za suho in mokro sejanje Tonon ter dva drobilca in tekoči trakovi. Pri sitih je potrebno menjavanje ležajev in jermenov ter podmazovanje. Najpogostejša težava pri sitih je pojavljanje nadzrn v določeni frakciji, katerih vzrok je običajno njegovo puščanje, pri čemer je treba sito nadomestiti z novim ali popraviti starega. Če se pojavi preveč lesenih delcev, je potrebno ročno prebiranje in izločanje delcev v ločene posode ali pa se to opravi s posebno napravo. Drobilec Baioni in drobilec OMT potrebujeta redno podmazovanje in menjavo olja, nastavitev in menjanje kladiv, transportni trakovi pa ob podmazovanju še menjanje gume. Za transport do drobilcev se uporablja nakladač Caterpillar CAT 950 F II, kjer so potrebni mesečni pregledi in standardno vzdrževanje za delovne stroje.

Pred vsakim transportom na separacijo je potreben tudi pregled vhodnega gradiva.

## 5.2 Certifikat in metode preskušanja

Certifikat izdaja Inštitut za raziskovanje materialov in aplikacije IRMA, ki je od Ministrstva za gospodarstvo na osnovi akreditacije pridobil imenovanje za nadzorni organ za področje gradbenih proizvodov. V preglednici je zapisan načrt kontrole in preskušnja proizvodnje, ki je pogoj za pridobitev certifikata. Vse metode preskušanja se morajo izvajati v skladu s standardom. Pri tem gre za harmonizirane standarde SIST EN, medtem ko je za beton, ki pa se na separaciji ne proizvaja, veljaven neharmoniziran nacionalni standard.

Za agregate za beton velja standard SIST EN 12620:2002+A1:2008 (sl), za agregate za nevezane in hidravlično vezane materiale za uporabo v inženirskih objektih in za gradnjo cest pa standard SIST EN 13242:2003+A1:2008 (sl). V obeh so določena področja uporabe, zveze s standardi, geometrijske, fizikalne in kemijske zahteve glede agregata, vrednotenje skladnosti, opredeljevanje in označevanje.

Geometrijske zahteve opredeljujejo velikost agregata, zrnastost, obliko agregata, vsebnost školjk in finih delcev ter njihovo kakovost, pri agregatih za nevezane in hidravlično vezane materiale za uporabo v inženirskih objektih in za gradnjo cest pa je pomemben še delež drobljenih ali lomljenih in popolnoma zaobljenih zrn. Fizikalne lastnosti so odpornost proti drobljenju, ki se jo določi z metodo Los Angeles, odpornost proti obrabi in zaglajevanju in obrusu, prostorninska masa zrn in vpijanja vode in obstojnost.

Kemijske zahteve so določitev vsebnosti kloridov, žvepla in drugih sestavin, ki spremenijo hitrost vezanja in strjevanja hidravlično vezanih mešanic.

Pri agregatih za nevezane in hidravlično vezane materiale za uporabo v inženirskih objektih in za gradnjo cest veljajo še posebne zahteve glede obstojnosti.

Večina parametrov je enakih tistim, s katerimi sem se ukvarjal tudi sam pri iskanju vpliva podora, kar pomeni, da ta vpliva tudi na samo kakovost vhodnega materiala. V spodnji preglednici so naštetih parametri, ki se jih preverja na izhodnem materialu, oziroma tako imenovani plan kontrole in preskušanja proizvodnje za agregate za beton po standardu SIST EN 1260:2002 in za agregate za nevezane in hidravlično vezane materiale za uporabo v inženirskih objektih in gradnjo cest po standardu SIST EN 2003:13242.

Spodaj so opisane metode preskušanja, ki jih proizvajalec agregata na separaciji opravlja sam.

Preglednica 9: Plan kontrole na izhodnem materialu na separaciji Godiča

Lastnost	Testna metoda	Minimalne preiskave po SIST EN 12620	Minimalne preiskave po SIST EN 13242	Izvajalec preskusa
1. Sejalna analiza	EN 933-1	1 x tedensko proizvodnje	1 x tedensko proizvodnje	Laboratorij ZUZA
2. Oblika zrn agregata	EN933-4	1 x mesečno proizvodnje	1 x mesečno proizvodnje	Laboratorij ZUZA
3. Fini delci	EN 933-8	1 x tedensko proizvodnje	1 x tedensko proizvodnje	Laboratorij ZUZA
4. Določanje odpornosti proti drobljenju - test LA	EN 1097-2	1 x 6 mesecev	1 x 6 mesecev	Laboratorij IRMA
5. Določanje vsebnosti lahkih delcev	EN 1744-1:1998, 14.2	1 x 6 mesecev	1 x 6 mesecev	Laboratorij IRMA
6. Določanje prostorninske mase zrn in vpijanja vode	EN 1097-6	1 x letno	1 x letno	Laboratorij IRMA
7. Določanje vsebnosti organskih snovi	EN 1744-1:1998, 15.1	1 x letno	1 x letno	Laboratorij IRMA
8. Določanje vsebnosti žvepla in kislinotopnih snovi	EN 1744-1:1998, t. 12	1 x letno	1 x letno	Laboratorij IRMA
9. Določanje odpornosti proti zmrzovanju-tajanju	EN 1367-2	1 x 2 leti	1 x 2 leti	Laboratorij IRMA
10. Določanje vsebnosti kloridov	EN 1744-1:1998, t. 7	1 x 2 leti	1 x 2 leti	Laboratorij IRMA
11. Mineraloško-petrografska analiza agregata	EN 932-3	1 x 3 leta	1 x 3 leta	Laboratorij IRMA

Ker je za vsakršno analizo potreben skrbno izbran reprezentativen vzorec, je bistveno vedeti, kako priti do njega. Standard SIST EN 932-1 narekuje odvzem vzorcev agregata iz obratov za dobavo, pripravo in proizvodnjo agregata vključno iz zalog, namen pa je dobiti vzorce, ki so reprezentativni za uporabo v gradbeništvu.

V primeru obravnavane separacije je šarža na deponiji nakopičena zaloga izkopanega proda, iz katerega se vzame več posamičnih vzorcev, ki se jih potem temeljito premeša, da se dobi reprezentativen vzorec. Vzorčevalec mora poskrbeti, da je vzorec vzet pravilno in skrbno, saj je to osnovni pogoj, da bodo rezultati preskusa resnični. Da se to zagotovi, je treba vzeti ustrezno število posamičnih vzorcev.

Količino sestavljenega vzorca se izračuna na podlagi vrste in števila preskusov, velikosti maksimalnega zrna agregata in prostorninske mase agregata, za kar se pred vzorčenjem izdelava plan, ki se spreminja glede na tip agregata, namen vzorčenja vključno s seznamom lastnosti, ki se bodo preskušale, identifikacijo mest vzorčenja, približno maso in število odvzetih posamičnih vzorcev, opremo in metodo za vzorčenje ter označevanje, pakiranje in shranjevanje vzorcev. Seveda mora biti tudi vsa oprema v skladu s standardom.

Pri vzorčenju iz kupaste deponije se odvzame posamične vzorce približno iste velikosti na več različnih mestih, ki so po celem sloju deponije enakomerno razporejeni, in to na različnih višinah oziroma globinah. Pri tem je potrebna posebna pozornost na možnost segregacije.

Prva je že prej opisana granulometrijska preiskava po standardu SIST EN-933-1, drugi prav tako že prej opisan preskus geometrijskih lastnosti agregatov po standardu SIST EN 933-4.

Tretji preskus, ki ga opravlja izvajalec sam v lastnem laboratoriju, je ugotavljanje finih delcev po standardu SIST EN 933-8. Ta je potreben za izračun ekvivalenta peska in se uporablja za naravne agregate, oprema mora ob tem izpolnjevati zahteve standarda SIST EN 932-5.

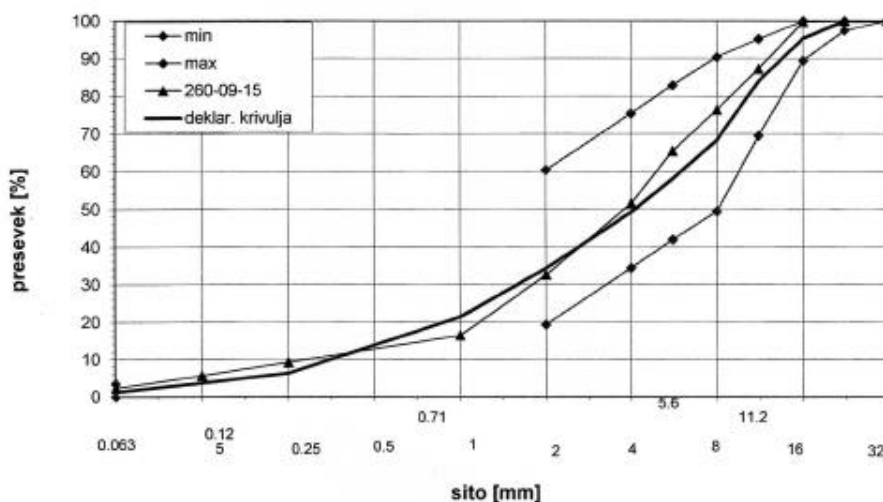
Fini delci so zrna, ki gredo skozi sito 0,063 mm. Preskus poteka tako, da se vzorec peska in majhno količino flokulacijske raztopine spusti v merilni valj in se ga stresa, da odstopi glinasta prevleka delcev v vzorcu. Pesek se potem ločen od finih delcev posede na dno, fini delci pa gredo v suspenzijo nad peskom. Po 20 minutah se vrednost ekvivalenta peska (SE) izračuna tako, da se z grezilom določi višino sedimenta, ki je izražena kot odstotni del celokupne višine flokulantnega materiala v merilnem valju. Poskus se za isti vzorec izvaja v dveh valjih istočasno, da se s tem zagotovi verodostojnost preskusa.

Če gramoz ustreza vsem kriterijem, ki jih določa standard, dobi certifikat. Pri tem je treba izdelati poročilo o zagotovljeni skladnosti proizvedenih frakcij za zahtevano časovno obdobje, ki je skladno s standardom. Pri tem mora biti granulometrijska krivulja v okviru deklarirane krivulje.

Spodaj je primer tekoče kontrole proizvodnje agregata za beton, kjer so izračunani deleži presejkov skozi določeno odprtino sita.

frakcija agregata      0/16 mm  
oznaka vzorca        260-09-15  
datum odvzema        28.09.2015

sito (mm)	deklar. krivulja	min	max	260-09-15	ustreza
	presevek (%)				
63					
45					
31,5	100	100	100	100,0	da
22,4	100	98	100	100,0	da
16	95	90	100	99,8	da
11,2	84			87,3	
8	68	50	90	76,4	da
5,6	58			65,5	
4	49			51,7	
2	34	20	60	32,7	da
1	22			16,6	
0,25	6			9,3	
0,125	4			5,7	
0,063	1,3	0,0	3,5	2,3	da



Primer ustrezne granulometrijske sestave agregata za beton

Iz grafikona je razvidno, da granulometrijska sestava ustreza deklarirani presejni krivulji in zahtevam standarda SIST EN 12620.

UGOTAVLJANJE FINIH DELCEV EKVALENT PESKA PO SIST EN 933-8		
Identifikacija vzorca:	0 / 32D	
	Izvor materiala: separacija Godiča	Frakcija 0/32mm
Vrsta vzorca:	<input checked="" type="checkbox"/> prodnati naravni	<input checked="" type="checkbox"/> prodnati drobljeni tampon
Uporabljena preskusna oprema:		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- dva merilna steklena ali plastična valja z gumijastimi zamaški z oznakami pri (100±0.25)mm in (380±0.25)mm od dna.</li> <li>- preskusno grezilo, ura štoparica z razdelitvijo na 1 sekundo, 500mm ravnilo z razdelbo v mm</li> <li>- sito s kvadratnimi odprtinami 2mm z, če je potrebno, razbremenilnim sitom</li> <li>- krtača za čiščenje sit, lopatica, pralna cev</li> <li>- steklenica iz stekla ali prozorne plastike s prostornino 5l</li> <li>- lij za prenos vzorca v merilni valj</li> <li>- stresalni stroj Controls model: 47-T0056/C</li> <li>- termometer z razdelitvijo 1°C, tehtnica Controls tip 11-DO631/F</li> </ul>		

Datum odvzema: 28.10.2015

#### 1. DOLOČITEV VLAGE VZORCA

m-masa naravno vlažnega vzorca	822
mo-masa vzorca po sušenju pri T = 105°C	810
masa vl	12
vлага vzorca (m-mo)/mo	1,48
masa 3(če je potrebno)	
fini delci(%)	2.42

#### 2. DOLOČITEV EKVALENTA PESKA

	masa vzorca-g-	h <sub>1</sub> (mm)	h <sub>2</sub> (mm)	100(h <sub>2</sub> /h <sub>1</sub> )	
1. preskušane	122,2	126	87	69,05	vrednosti dobljeni na preskušancih se ne smeta razlikovati za več kot 4
2. preskušane	122,2	123	87	70,73	

Vrednost ekvivalenta peska (SE)- POVPREČJE 100(H2/H1) za dve paralelki

SE **70** na najbližje celo število

Primer rezultatov preskusa ugotavljanja finih delcev



DOLOČANJE OBLIKE ZRN - INDEX OBLIKE Z METODO KLJUNASTEGA MERILA SIST EN 933-4	
Izvor materiala:	Godiča *0/16
Vrsta vzorca:	<input checked="" type="checkbox"/> prodnati naravni <input type="checkbox"/> prodnati drobljeni
Uporabljena preskusna oprema: * - tehtnica Controls tip 11-DO631/F - sušilnik Controls tip 10 D1391/A - delilna naprava Controls tip 15-DO430 - granitura sit z odprtini 4,0-5,6-8,0-11,2-16,0-22,4-31,5-45,0-63,0mm - 3 posode za vzorec (prvotni ter dva razdeljena)	

Datum odvzema: 28.9.2015

masa vzorca [M<sub>0</sub>]: 1177 g

frakcija/mm	M <sub>0</sub> [g]	V[%]	M <sub>1</sub> [g]	M <sub>2</sub> [g]	indeks oblike SI[%]
4 - 8	498		34	464	6,83
8 - 16	690		40	650	5,80
16 - 32					
32 - 63					

M<sub>0</sub> - masa posamezne frakcije v gramihM<sub>1</sub> - masa zrn neugodne oblike v gramihM<sub>2</sub> - masa zrn ugodne oblike v gramih

Si = 6 %

Primer določanja oblike zrn – indeksa oblike

## 6 ZAKLJUČEK

Premeščanje plavin je v vodarstvu obširno obravnavana tema. Spremenljivk je veliko, neodgovorjenih vprašanj verjetno še več. Na podlagi poznanih osnov sem ocenil vpliv podora v planini Polog in ugotovil, da je v letih od 2004 do 2015 povečal prodonosnost za približno dvajset odstotkov, v kolikšni meri pa je vplival na količine lebdečih plavin, je težje oceniti, saj se meritve niso izvajale, zato ni podatkov. Lahko pa sem na podlagi rinjenih plavin izračunal, da je njihova količina nekaj več kot  $800.000\text{m}^3$   $\text{m}^3$ . Med drugim sem tudi preveril ocene sproščanja plavin in ugotovil, da se dejanske količine dobro skladajo s predvidenimi.

Vendar podor ne vpliva le na količine plavin, pač pa tudi na kakovost vode in proda za uporabo za agregat za betone in tampere, kjer je zaradi povečane vsebnosti organskih delcev ter lesnega plavja in finih delcev izkoristek proda manjši kot pred podorom. Ob tem podor, ker ga sestavljajo ploščasti apnenci in laporji, negativno vpliva tudi na obliko zm, saj se v agregatu pojavlja večji delež ploščic, ki v betonu niso zaželeni, ker je s tem posledično zmanjšana njegova vgradljivost in trdnost. Predvsem pa predstavlja težavo povečana vsebnost finih delcev; prod je namreč na ta račun treba prati, kar prinese za posledico večje stroške in manjši izplen, a ne glede na to pri obračunu vodnega povračila to ni upoštevano.

Ob tem se poraja vprašanje, v kolikšni meri je v interesu države povečati varnost pred poplavami in skrb za okolje, ko pa bi lahko zaradi posledic neekonomičnega delovanja separacija prenehala z obratovanjem. S tem bi moral naplavine sicer črpati koncesionar, saj je to določeno s pogodbo, vendar bi bile v tem primeru le za okolje obremenjujoči odpadek, medtem ko bi se na nekem drugem koncu neki kamnolom vse globlje zažiral v hrib. Zato je vprašanje, zakaj ni v interesu države, da bi omogočila smiselno predelavo proda in ob zaračunavanju vodnega povračila upoštevala tudi omenjene dejavnike, predvsem pa posvečala več skrbi rekam in povirjem, kjer so ukrepi glede plavin najbolj smiselni, čeprav velikokrat ne najbolj ekonomični. Sicer se lahko kmalu zgodi, da se začne negospodarno ravnati s prodnimi jamami, kar bi imelo za posledico ogrožanje ob Tolminki ležečih objektov in njihovih prebivalcev. Ob tem bi bili sami procesi premeščanja plavin za ta odsek nenaravni, četudi je težko govoriti o tem, kaj je naravno in kako bi brez človekovega vpletanja potekali procesi v naravi. Res je tudi, da je človek prav tako del narave, a žal prepogosto podleže nevrotični potrebi, podrediti si vse. Dokler je gonilo razvoja kapitalizem, dobi izraz sonaravno malce drugačen pomen; prav tako je ob domnevnem trajanju obstoja človeške vrste na tem planetu

težko govoriti o trajnosti. Predvsem ob tako skromnem poznavanju kompleksno-soodvisnih naravnih pojavov in njihovi razlagi ob gledanju skozi ozka homomenzurna očala.

Zato mislim, da je nujno treba upoštevati tudi mesto človeka v tem sistemu, ampak z nekoliko razširjenim pogledom. Saj je prav danes tako cenjeni in opevani trajnostni razvoj velikokrat le eden izmed obrazov antropocentrizma, kjer se pod pretvezo skrbi za okolje vrti kolesje ekonomskih interesov in uveljavljanja moči. Tukaj vidim potencialno moč povezovanja različnih strok, predvsem pa nujno po upoštevanju stoletja starih modrosti in znanja v določenem prostoru in med tam živečimi ljudmi, ki bi jih pri ukrepih v prostoru in okolju bilo nadvse nujno upoštevati, četudi njihove besede pogosto ne zvenijo niti strokovno niti razsodno. Pa je kljub temu zanimivo preveriti, koliko naravnih nesreč je prav posledica neupoštevanja mnenj lokalnih prebivalcev in nepremišljenih ukrepov, ki zdržijo le na papirju.

Pri ukvarjanju s premeščanjem plavin reke Tolminke sem prišel do spoznanja, da je za razumevanje že tako kompleksnega procesa premeščanja plavin treba poznati še veliko več dejavnikov, ki vplivajo na količine teh snovi in njihove lastnosti. Prepoznal sem prepletenost različnih vplivov, interesov in določenih značilnosti, ki jih je treba pri tem upoštevati. Brez zavedanja, kakšna vrednota je voda in kako pisana je njena pojavnost, je vsako raziskovanje in ukvarjanje z na videz nepomembnimi kamenčki, s katerimi se voda poigrava, nesmiselno strokovno dlakocepstvo. Sam sem večkrat doživel občutek, da se ukvarjam z nekim nepomembnim in za življenje nesmiselnim delom, ki ga je pač treba opraviti, da potem »dobim vozovnico za naprej«, kot se rado reče. Ti občutki so bili predvsem odgovor na vprašanja, ki so mi jih ljudje zastavljali in so bila povezana s tem, kaj je smisel moje diplomske naloge. Večkrat kot sem bil to vprašan, hitreje je iz bolečine postajala celotna slika bolj jasna in glasnejši je bil odgovor.

Zaključim lahko, da so moji nalogi dali največji smisel ljudje, ki sem jih zaradi tega spoznal oziroma imel z njimi več stika, kot bi ga imel sicer, in Tolminka s svojimi pritoki in z divjim svetom, ki jo obdaja. Presenečen sem, koliko modrosti in znanja pogosto premore človek, ki se ukvarja in živi v pristnem stiku z naravo. Potrdila se je tudi moja domneva, da če se človek z nečim ukvarja predano, ima to za posledico poglobljanje v za večino nerazumne globine. Pri vodi je takega poglobljanja bržčas precej prav zaradi njene nepogrešljivosti, nenadomestljivosti in enkratnosti, a obenem vseeno ostaja v mnogočem uganka. In prav ta skrivnostna snov skupaj s kamninami, iz katerih se rojevajo rodna tla, in z zrakom ter s soncem, predstavlja vir čudovitega življenja.

## 7 VIRI

Agriinfo.in. 2015. Density of Soil: Bulk Density and Particle Density. <http://www.agriinfo.in/?page=topic&superid=4&topicid=271>. (Pridobljeno 17. 7. 2016.)

ARSO. 2013. Povratne dobe velikih in malih pretokov za merilna mesta državnega hidrološkega monitoringa površinskih voda. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje, Sektor za analize in prognoze površinskih voda, Urad za hidrologijo in stanje okolja: 33 str. <http://www.arso.gov.si/vode/podatki/Povratne%20dobe%20Qvk,Qnp.pdf>. (Pridobljeno 16. 6. 2016.)

Agencija Republike Slovenije za okolje, izredni dogodki: Obilne padavine 23. junija 2015. [http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/weather\\_events/obilne-padavine\\_23jun2015.pdf](http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/weather_events/obilne-padavine_23jun2015.pdf). (Pridobljeno 16. 6. 2016.)

ARSO. 2016. Atlas okolja. Podnebje, povprečna korigirana letna količina padavin za obdobje 1971–2000. Agencija Republike Slovenije za okolje. [http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas\\_Okolja\\_AXL@Arso](http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso). (Pridobljeno 13. 5. 2016.)

Attard, M. E. 2012. Evaluation of aDcps for Suspended Sediment Transport Monitoring, Fraser River, British Columbia. Master of Science. Department of Geography, Faculty of Environment, Simon Fraser University: 129 f. [http://www.sfu.ca/~jvenditt/Theses/Maureen\\_Attard\\_2012.pdf](http://www.sfu.ca/~jvenditt/Theses/Maureen_Attard_2012.pdf). (Pridobljeno 2. 8. 2015.)

Ball, J. 2011. Soil and Water Relationships. Ardmore, Okla, The Samuel Roberts Noble Foundation. <http://www.noble.org/ag/soils/soilwaterrelationships/>. (Pridobljeno 22. 7. 2016.)

Bat, M. 2009. Spremembe v mreži hidroloških merilnih mest. V: Hidrološki letopis Slovenije 2005. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje: str. 9–14. <http://www.arso.gov.si/vode/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/Hidroloski%202005%20-%20Uvod.pdf>. (Pridobljeno 18. 4. 2016.)

Bezak, N., Šraj, M., Mikoš, M. 2013. Pregled meritev vsebnosti suspendiranega materiala v Sloveniji in primer analize podatkov. = Overview of suspended sediment measurements in Slovenia and an example of data analysis. Gradbeni vestnik 62: 274–280. [http://www.sedalp.eu/download/dwd/publication/gradben\\_2013.pdf](http://www.sedalp.eu/download/dwd/publication/gradben_2013.pdf). (Pridobljeno 29. 9. 2015.)

- Boiten, W. 2008. Hydrometry. 3rd edition. London, Taylor & Francis Group: 247 str.
- Bončina, A. 2016. Vprašanje o pobočnem grušču pred podorom. 2. julij 2016. Osebna komunikacija.
- Bowden, W. B., Shanley, J., Schuett, E. 2012. Use of Acoustic Doppler Current Profiler data to estimate sediment and total phosphorus loads to Lake Champlain from the Rock River. Final report to the USGS on project 2011VT58B. Part of Vermont Water Resources and Lake Studies Center Annual Technical Report FY 2011: 11 str. [http://water.usgs.gov/wrri/AnnualReports/2011/FY2011\\_VT\\_Annual\\_Report.pdf](http://water.usgs.gov/wrri/AnnualReports/2011/FY2011_VT_Annual_Report.pdf). (Pridobljeno 7. 10. 2015.)
- Brilly, M., Mikoš, M., Šraj, M. 1999. Vodne ujme: varstvo pred poplavami, erozijo in plazovi. Ljubljana, Fakulteta za grabeništvo in geodezijo: 186 str.
- Buser, S. 1986a. Osnovna geološka karta SFRJ, 1 : 100.000, Tolmač listov Tolmin in Udine (Videm). Beograd, Zvezni geološki zavod.
- Buser, S. 1986b. Osnovna geološka karta SFRJ, 1 : 100.000, list Tolmin in Udine (Videm). Beograd, Zvezni geološki zavod.
- Černigoj, M. 2016. Snemalec. Video posnetek podora v Pologu iz osebne arhiva.
- Dolar, M. 2008. Členi vodne bilance. V: Vodna bilanca Slovenije 1971–2000. Bat, M. (ur.). Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje: str. 29–34.
- Edwards, K., Douglas Glysson, G. 1999. Field Methods for Measurements of Fluvial Sediments: Book 3, Application of Hydraulics. Reston, U. S., Department of the interior: 89 str.
- Fazarinc, R. 1999. Lovilne jame in deponije naplavin iz jezera HE Doblar na reki Tolminki: študija projekt C-997. Naročnik: Soške elektrarne Nova Gorica. Ljubljana, Vodnogospodarski inštitut: 19 str.
- Fazarinc, R. 2016. Vprašanje o največjih količinah prodonosnosti Tolminke. 19. maj 2016. Osebna komunikacija.
- Fazarinc, R., Pintar, J. 1998. Posledice potresa na povodjih Tolminke in Lepence: poročilo C-838. Ljubljana, Vodnogospodarski inštitut: 10 f.

Fazarinc, R., Mikoš, M., Mrak, J., Kokalj, A. 1999a. Sanacija razmer na povodju Tolminke: študija projekt C-925. Naročnik: Ministrstvo republike Slovenije za okolje in prostor – URSVN. Ljubljana, Vodnogospodarski inštitut: 23 str.

Fazarinc, R., Mikoš, M., Mrak, J., Kokalj, A. 1999b. Posledice potresa na povodjih Tolminke in Lepence. Mišičev vodarski dan '99: str. 156–161.

Frantar, P., Hrvatin, M. 2008. Pretočni režimi. V: Vodna bilanca Slovenije 1971–2000. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje: str. 9–14.

Frantar, P., Nadbath, M., Ulaga, F. 2008. Vplivni dejavniki na vodno bilanco. V: Vodna bilanca Slovenije 1971–2000. Bat, M. (ur.). Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje: str. 15–26.

Gartner, J. W. 2002. Estimation of Suspended Solids Concentrations Based on Acoustic Backscatter Intensity: Theoretical Background. Menlo Park, Turbidity and Other Sediment Surrogates Workshop, April 30 – May 2, 2002, Reno, NV: 3 str. <http://water.usgs.gov/osw/techniques/TSS/jgartner.pdf>. (Pridobljeno 25. 9. 2015.)

Geotmin. 2015. Izračun odvzema naplavin: Tolminka 2015 – januar/februar. Naročnik: Soške elektrarne Nova Gorica: 5 str.

Gray, J. R., Laronne, J. B., Marr, J. D. G. 2010. Bedload-surrogate monitoring technologies. U. S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010–5091. Reston, U. S. Department of Interior, U. S. Geological Survey: 37 str. <http://pubs.usgs.gov/sir/2010/5091/pdf/sir2010-5091.pdf>. (Pridobljeno 31. 10. 2015.)

Hersch, R. W. 2009. Streamflow Measurements: third edition. London, Taylor & Francis: 507 str.

Hjulström's diagram. V: Wikipedia. <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=8258823>. (Pridobljeno 11. 6. 2016.)

Horowitz, A. J. 1995. The use of suspended sediment and associated trace elements in water quality studies. IAHS Special Publication No. 4. Atlanta, U. S. Geological Survey: 58 str.

Hudson, N. W. 1993. Field measurement of soil erosion and runoff. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Silsoe Associates, Bedford United Kingdom. <http://www.fao.org/docrep/t0848e/t0848e00.HTM>. (Pridobljeno 28. 8. 2015.)



- Jesenšek, D. 2016. Vprašanje vodju ribogojnice na Tolminki o kalnosti. 5. junij 2016. Osebna komunikacija.
- Jovanović, S., Bonnaci, O., Anđelić, M. 1980. Hidrometrija. Beograd, Građevinski fakultet univerze u Beogradu: 80 str.
- Kemker, C. 2014. Sediment Transport and Deposition. Fundamentals of Environmental Measurements. Fondriest Environmental, Inc. <http://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/hydrology/sediment-transport-deposition/>. (Pridobljeno 5. 6. 2016.)
- Kobold, M. 2015. Vprašanje o podatkih o pretokih Tolminke. 7. december 2015. Osebna komunikacija.
- Kokalj, A. 1999. Analiza rečne dinamike na izlivnem odseku Tolminke. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 102 f.
- Komac, B., Zorn, M. 2007. Pobočni procesi in človek. Geografija 15. Ljubljana, Založba ZRC: 217 str. <http://www.arso.gov.si/vode/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/Hidroloski%202005%20-%20Uvod.pdf>. (Pridobljeno 18. 4. 2016.)
- Komac, B., Zorn, M. 2009. Pokrajinski učinki skalnega podora v Pologu. Geografski vestnik 81, 1: 37–50.
- Maček, M. 2016. Interpretacija preiskave Enslin in Metilen Modro. 8. junij 2016. Osebna komunikacija.
- Magajne, D. 2014. Razložitev pojava drobirskega toka v občini Žiri. 25. oktober 2014. Osebna komunikacija.
- Melik, A. 1954. Slovenski alpski svet. Ljubljana, Slovenska matica: 606 str.
- Mikoš, M. 1995. Soodvisnost erozijskih pojavov v prostoru. = Interdependence of erosion processes in environment. Gozdarski vestnik 53, 9: 342–351. [https://www.researchgate.net/publication/236898216\\_Soodvisnost\\_erozijskih\\_pojavov\\_v\\_prostoru\\_Interdependence\\_of\\_erosion\\_processes\\_in\\_environment](https://www.researchgate.net/publication/236898216_Soodvisnost_erozijskih_pojavov_v_prostoru_Interdependence_of_erosion_processes_in_environment). (Pridobljeno 31. 5. 2016.)
- Mikoš, M. 2000. Urejanje vodotokov. Skripta, verzija 01.2000. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 182 str. [ftp://ksh.fgg.uni-lj.si/students/urejanje\\_vodotokov/urejanje\\_vodotokov\\_skripta.pdf](ftp://ksh.fgg.uni-lj.si/students/urejanje_vodotokov/urejanje_vodotokov_skripta.pdf). (Pridobljeno 2. 10. 2015.)

- Mikoš, M., Krajnc, A., Matičič, B., Müller, J., Rakovec, J., Roš, M., Brilly, M. 2003. Hidrološko izrazje. = Terminology in hydrology. *Acta hydrotechnica* 20, 32: 326 str. <http://ksh.fgg.uni-lj.si/ksh/acta/>. (Pridobljeno 15. 8. 2015.)
- Mikoš, M., Brilly, M., Ribičič, M. 2004. Poplave in zemeljski plazovi v Sloveniji = Floods and Landslides in Slovenia. *Acta hydrotechnica* 22, 37: 113–133. <ftp://ksh.fgg.uni-lj.si/acta/a37mm.pdf>. (Pridobljeno 3. 6. 2016.)
- Mikoš, M. 2012a. Kalnost v rekah kot del erozijsko-sedimentacijskega kroga = Suspended loads in rivers as a part of the erosion and sedimentation cycle. *Gradbeni vestnik* 61, 6: 129–142.
- Mikoš, M. 2012b. Metode terenskih meritev suspendiranih sedimentov v rekah = Methods of field measurements of suspended sediments in rivers. *Gradbeni vestnik* 61, 7: 151–158.
- Mohorič, N. 2015. Analiza vzdolžnih padcev hudourniških strug. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 117 f.
- Mrak, J. 1999. Vpliv potresa na erozijske procese v dolini Tolminke. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 56 f.
- Petkovšek, A. 2008. Uvod v inženirsko geologijo za gradbenike VSŠ. Spoznajmo kamnine. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. [http://www.fgg.uni-lj.si/kmtal-gradiva/GR\\_VSS/MTT/inzgeol.ppt%20-3,4.pdf](http://www.fgg.uni-lj.si/kmtal-gradiva/GR_VSS/MTT/inzgeol.ppt%20-3,4.pdf). (Pridobljeno 1. 5. 2016.)
- Petkovšek, A. 2016. Pomoč vodje laboratorija pri ločevanju izvora plavin glede na petrografsko sestavo. Osebna komunikacija.
- Pintar, J. 1983. Prikaz tipov hribin in zemljin povirij zgornje Soče in zgornje Save. Naročniki: Območna vodna skupnost Gorenjske, Območna vodna skupnost Soča in Zveza vodnih skupnosti Slovenije. Ljubljana, Vodnogospodarski inštitut: 57 str.
- Podgornik, J. 2011. Geografski oris doline Tolminke. Diplomsko naloga. Koper, Univerza na Primorskem, Fakulteta za humanistične vede, Študijski program: Geografija kontaktnih prostorov: 112 f.
- Rojšek, D. 2016. Zavod Republike Slovenije za varstvo narave. Ogled podora in doline Tolminke. 20. maj 2016. Osebna komunikacija.

RS in SENG. 2015. Aneks št. 4 h Koncesijski pogodbi št. 35503-28/2010. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor: 3 str.

Rusjan, S., Bezak, N., Kogoj, M. 2015. Forest management plan changes in Slovenia after the sleet event. Third International Conference »Wood in World River 2015«. Padova, 6–10 July 2015. SedAlp: 5 str. [http://www.alpine-space.org/2007-2013/uploads/tx\\_txrunningprojects/Forest\\_management\\_plan.pdf](http://www.alpine-space.org/2007-2013/uploads/tx_txrunningprojects/Forest_management_plan.pdf). (Pridobljeno 5. 4. 2016.)

Rejec, A. 2016. Pogovor z zaposleno na Soških elektrarnah Nova Gorica. 25. januar 2016. Osebna komunikacija.

Schematic representation of difference in grain shape. V: Roundness (geology). Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Roundness\\_\(geology\)#/media/File:Rounding\\_%26\\_sphericity\\_EN.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/Roundness_(geology)#/media/File:Rounding_%26_sphericity_EN.svg). (Pridobljeno 12. 5. 2016.)

Sediment sorting (grain size diameter). V: Deposition (geology). Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Deposition\\_\(geology\)#/media/File:Null\\_point\\_theory\\_image1.png](https://en.wikipedia.org/wiki/Deposition_(geology)#/media/File:Null_point_theory_image1.png). (Pridobljeno 8. 6. 2016.)

Uлага, F. 2002. Trendi spreminjanja pretokov slovenskih rek. V: Špes, M. (ur.). Geografija in njene aplikativne možnosti. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo: str. 93–114. <http://www.dlib.si/stream/URN:NBN:SI:doc-W3KLYTXV/6b1f28b9-ed8f-40fe-a808-8fa8b3f62272/PDF>. (Pridobljeno 14. 5. 2016.)

ZGS. 2016. Podatki o obsegu žledoloma. Ljubljana, Zavod za gozdove Slovenija.

Zuza, A. 2016. Vprašanje o nihanju indeksa oblike. 20. junij 2016. Osebna komunikacija.

Zuza, R. 2015. Poročilo o vzorčenju št. 0260-06-15. Tolmin, Gradbeništvo Roman Zuza s. p.: 4 str.

Žarnić, R. 2003. Lastnosti gradiv. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za preskušanje materialov in konstrukcij: 350 str.

## PRILOGE

### Tolmin

	Masa posode [g]	Mpos+Moker vzorec [g]	Mpos+suh vz [g]
1. del	940,16	8172	8064
2. del	924,08	8447	8338
3. del	1315	7337	7198
skupaj	3179,24	23956	23600

Masa suhega vzorca	20420,76	g
Vlažnost w=	1,74	%

Odprtina sita [mm]	Masa [g]	Presejek [%]
63	315	100,0
45	3914	98,5
31,5	3935	79,6
22,4	3895	60,6
16	2853	41,8
8	2973	28,0
4	847	13,7
2	332	9,6
1	209	8,0
0,5	579	6,9
0,25	552	4,1
0,125	133	1,5
0,063	46	0,8
pod 0,063	129	0,6

## Areometrija

Velikost zrna [mm]	Presejek [%]
0,0847	95,82
0,0613	87,88
0,0443	79,94
0,0322	70,41
0,0211	56,12
0,0153	46,06
0,0126	42,88
0,0089	36,53
0,0063	27,00
0,0044	20,65
0,0032	16,41
0,0030	11,12
0,0024	10,59
0,0015	11,12

### **Nad podorom za pregrado**

	Masa posode [g]	mpos+moker vzorec [g]	mpos+suh vz [g]
1. del	981,7	6644	6480
2. del	1013,23	7272	7102
3. del	1013,3	6311	6185
skupaj	3008,23	20227	19767

Masa suhega vzorca	16758,77	g
Vlažnost w=	2,74	%

Odprtina sita [mm]	Masa [g]	Presejek [%]
63	2305	100,0
45	2467	86,3
31,5	674	71,5
22,4	722	67,5
16	989	63,2
8	1726	57,2
4	1578	46,9
2	2032	38,0
1	2293	26,5
0,5	1744	13,6
0,25	546	3,9
0,125	85	0,8
0,063	15	0,4
pod 0,063	44	0,3



## Areometrija

Velikost zrna [mm]	Presejek [%]
0,0833	100,06
0,0599	94,76
0,0438	83,65
0,0316	76,24
0,0206	65,12
0,0149	55,06
0,0124	48,71
0,0097	42,88
0,0071	37,59
0,0066	32,29
0,0056	27,00
0,0044	21,18
0,0037	18,53
0,0030	12,18
0,0022	11,12
0,0015	8,47

### **Podorno gradivo v strugi**

	Masa posode [g]	mpos+moker vzorec [g]	mpos+suh vz [g]
1. del	621,24	4789	4642
2. del	1314,98	5461	5296
3. del	624,82	5086	4928
skupaj	2561,04	15336	14866

Masa suhega vzorca	12304,96	g
Vlažnost w=	3,82	%

Odprtina sita [mm]	Masa [g]	Presejek [%]
63	1327	100,0
45	677	89,2
31,5	1029	83,7
22,4	835	75,3
16	831	68,6
8	1562	61,8
4	2398	49,1
2	1594	30,8
1	567	18,6
0,5	444	14,3
0,25	258	11,2
0,125	179	9,4
0,063	180	8,1
pod 0,063	846	6,9

## Areometrija

Velikost zrna [mm]	Presejek [%]
0,0860	90,53
0,0613	87,88
0,0440	82,59
0,0320	72,00
0,0207	63,00
0,0149	56,12
0,0123	51,88
0,0094	48,18
0,0070	42,35
0,0052	35,47
0,0045	32,29
0,0040	30,18
0,0031	24,35
0,0023	20,65
0,0015	16,94

### **Podorno gradivo**

	Masa posode [g]	mpos+moker vzorec [g]	mpos+suh vz [g]
1. del	684,1	6192	6047
2. del	1013,4	5490	5335
3. del	847,9	4813	4682
4.del	847,4	4611	4538
skupaj	3392,8	21106	20602

Masa suhega vzorca	17209,2	g
Vlažnost w=	2,93	%

Odprtina sita [mm]	Masa [g]	Presejek [%]
63	815	100,0
45	1967	95,2
31,5	2334	83,6
22,4	2352	69,7
16	2305	55,8
8	2533	42,2
4	1418	27,2
2	905	18,6
1	531	13,2
0,5	594	10,0
0,25	461	6,6
0,125	235	3,9
0,063	114	2,6
pod 0,063	325	1,9

## Areometrija

Velikost zrna [mm]	Presejek [%]
0,0849	94,76
0,0604	92,65
0,0437	85,24
0,0316	77,29
0,0207	64,06
0,0150	55,59
0,0123	51,35
0,0093	45,00
0,0076	40,24
0,0061	37,06
0,0048	31,24
0,0038	27,00
0,0030	24,35
0,0022	20,12
0,0014	18,00

### **Vzorec kalne vode**

	Masa posode [g]	mpos+moker vzorec [g]	mpos+suh vz [g]
1. del	652,83	1649,76	673,75

Masa suhega vzorca	20,92	g
--------------------	-------	---

Odprtina sita [mm]	Masa [g]	Presejek [%]
63		100
45		100,0
31,5		100,0
22,4		100,0
16		100,0
8		100,0
4		100,0
2		100,0
1		100,0
0,5		100,0
0,25		100,0
0,125		100,0
0,063	4,21	100,0
pod 0,063	18,98	81,8

## Areometrija

Velikost zrna [mm]	Delež [%]	Presejek (masa pod 0,063) [%]
0,0498	80,14	65,60
0,0354	76,98	63,01
0,0225	72,76	59,55
0,0162	56,95	46,61
0,0133	50,62	41,43
0,0095	43,24	35,39
0,0067	42,18	34,52
0,0048	24,25	19,85
0,0032	13,71	11,22
0,0025	9,49	7,77
0,0015	9,49	7,77



## **2004**

Masa skupaj [g]	58743,70
Po mokrem sejanju [g]	58033,60
Masa delcev pod 0,063mm [g]	710,10
Delež delcev pod 0,063 [%]	1,21

Odprtina sita [mm]	Masa [g]	Presejek [%]
120		100,00
80	5440,80	90,73
63	4400,20	83,23
45	5374,00	74,07
31,5	932,60	68,65
22,4	780,10	64,11
16	1351,30	56,26
11,2	1279,20	48,82
8	1242,50	41,60
5,6	1275,30	34,18
4	1054,00	28,05
2	1568,00	18,94
1	1516,00	10,13
0,25	1378,70	2,11
0,125	103,80	1,51
0,063	41,20	1,27
pod 0,063	710,10	1,21

## 2005

Masa skupaj [g]	47691,00
Po mokrem sejanju [g]	43432,82
Masa delcev pod 0,063mm [g]	4258,18
Delež delcev pod 0,063 [%]	8,93

Odprtina sita [mm]	Masa [g]	Presejek [%]
120		100,00
80	2306,70	94,60
63	5250,30	82,32
45	4010,40	72,93
31,5	792,80	66,60
22,4	1068,00	58,08
16	966,60	50,37
11,2	931,40	42,93
8	783,30	36,68
5,6	734,40	30,82
4	575,50	26,22
2	703,60	20,61
1	559,00	16,15
0,25	646,00	10,99
0,125	80,30	10,35
0,063	41,30	10,02
pod 0,063	4258,18	8,93

## **2016**

Masa skupaj [g]	68629,90
Po mokrem sejanju [g]	67182,81
Masa delcev pod 0,063mm [g]	1447,09
Delež delcev pod 0,063 [%]	2,11

Odprtina sita [mm]	Masa [g]	Presejek [%]
120		100,00
80	7617,30	88,91
63	3662,60	83,57
45	7301,00	72,94
31,5	2326,20	59,07
22,4	1685,10	49,03
16	1344,70	41,01
11,2	1061,80	34,68
8	849,70	29,61
5,6	709,10	25,39
4	760,40	20,85
2	933,90	15,28
1	781,00	10,63
0,25	976,70	4,80
0,125	277,60	3,15
0,063	146,30	2,28
pod 0,063	1447,09	2,11