

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

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



Visokošolski program Gradbeništvo,
Konstrukcijska smer

Kandidat:

Jure Hafner

Sanacija zemeljskega plazu Popelar

Diplomska naloga št.: 318

Mentor:

prof. dr. Matjaž Mikoš

Somentor:

viš. pred. mag. Rok Fazarinc

Ljubljana, 30. 10. 2008

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani, **JURE HAFNER**, izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:
»SANACIJA ZEMELJSKEGA PLAZU POPELAR«.

Izjavljam, da prenašam vse materialne avtorske pravice v zvezi z diplomsko nalogo na UL,
Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo.

(podpis)

Ljubljana, oktober 2008

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	551.3.053:556.12(043.2)
Avtor:	Jure Hafner
Mentor:	Prof. Dr. Matjaž Mikoš
Somentor:	Viš. Pred. Mag. Rok Fazarinc
Naslov:	Sanacija zemeljskega plazu Popelar
Obseg in oprema:	85 str., 7 pregl., 8 graf., 46 sl., 2 pril., 15 en.
Ključne besede:	padavine, škoda, načrt reševanja, zemeljski plaz, odvodnjavanje

Izvleček:

V diplomskem delu predstavljam problematiko zemeljskih plazov. Najprej predstavim različne tipe plazenja, nato pa kratko analizo neurja iz avgusta leta 2005, ko se je obravnavani plaz Popelar tudi sprožil. Takrat je po meritvah na območju Lisce padlo kar 55,7 litrov dežja na kvadratni meter v samo dveh urah, ta pojav padavin pa ima povratno dobo petdesetih let. To neurje je povzročilo ogromno materialno škodo v občini Sevnica, tako da si še nekaj časa ne bodo popolnoma opomogli, saj so stroški vseh sanacijskih del res ogromni in naj bi znašali okoli 11.831.457,81 evrov.

Moj konkretni primer obravnave je ravno tako posledica tega obilnega deževja iz avgusta leta 2005 in neposredno ogroža domačijo Popelar in posredno domačijo Horjak. Zasnova sanacije zemeljskega plazu temelji na površinskem odvodnjavanju. Ker geološka struktura ni ravno najboljša in je tam veliko laporja in gline, je potrebno vgraditi tudi peščene filtre, in sicer zato, da se zaledni vodi zbije potencial in se jo nato pripelje na površje skozi drenažne cevi in nato po kanaletah spelje v dolino, kjer skozi prepust teče v reko Sevnico. V peti plazine se na mestih kjer prihaja podzemna voda na površje, vgradi skalnate zložbe. To je težnostna konstrukcija, ki zagotavlja stabilnost terena zadaj, za njimi. Da se doseže res učinkovita stabilnost pobočja in da nimamo problemov z globljimi drsinami, se v skalnate zložbe zabije še tračnice, ki preprečujejo, da bi se skalnata zložba in s tem tudi teren za njimi, porušil. Teren se nato izravna, na mestih, kjer pa je še vedno viden odlomni rob, se luknjo zasuje z glinenim materialom, in sicer zato, da površinska voda ne pronica v notranjost, ampak odteče po površju.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDK: 551.3.053:556.12(043.2)
Author: Jure Hafner
Supervisor: Prof. Dr. Matjaž Mikoš
Co-Supervisor: Rok Fazarinc
Title: Mitigation of landslide Popelar
Notes: 85 p., 7 tab., 8 graph., 46 fig., 2 att. , 15 eq.
Key words: rainfall, damage, rescuing plan, landslide, draining

Abstract:

In my BA thesis, I represent major problems connected with landslides. In the beginning, I introduce different types of landsliding and present a short analysis of the August 2005 storm, when the discussed landslide Popelar unleashed. According to measurements taken in the area around Lisca, as much as 55.7 litres of rain per square metre fell in only two hours. The phenomenon of abundant rainfall has a return period of fifty years. The storm has caused immense material damage in the municipality of Sevnica. The expenses of all sanitation work, which will continue in the future, are estimated on approximately 11,831,457.81 euros. My case study has also arisen because of the heavy rainfall in August 2005 that directly threatened the house of the Popelar family and indirectly the house of the Horjak family. The landslide sanitation is based on surface drainage. Because the geological structure of the ground consists mainly of marl and clay, we build in sand filters to lower the potential of the hinterland waters. Later on, we bring the water to the surface through drainage pipes and send it to the valley in canals where through an outlet the water joins the Senično river. In the toe of a landslide where the underground water comes to the surface, we build in rocky blocks – a gravitational construction that ensures the stability of the ground behind the blocks. In order to achieve effective slope stability and to avoid deeper landslides, we fix rails into the rocky blocks that prevent the blocks and the ground behind from demolition. Then, we level the ground. In the places where the break-off edge is still seen, we cover the hole with clay so that the water keeps its stream on the surface.

ZAHVALA

Za pomoč pri nastajanju diplomske naloge bi se rad zahvalil mentorju prof. dr. Matjažu Mikošu in somentorju viš. pred. mag. Roku Fazarincu za napotke in usmerjanje pri izdelavi diplomske naloge.

Posebna zahvala pa gre občini Sevnica, točneje gospodu Jožetu Žvaru, ki mi je velikodušno pomagal pri zbiranju podatkov o neurju avgusta leta 2005 in mi tudi priskrbel podatke o nastali škodi ter dodal še slikovno gradivo.

Zahvaljujem se še staršem, ki so me podpirali na moji študijski poti in vsem drugim, ki so mi kakorkoli pomagali in mi stali ob strani v času študija.

KAZALO VSEBINE

1	SPLOŠNO O ZEMELJSKIH PLAZOVIH.....	1
1.1	Splošno o zemeljskih plazovih	1
1.2	Tipi plazenja.....	2
2	UVOD – PREDSTAVITEV VZROKA IN POSLEDIČNE ŠKODE	9
3	OCENA IN POPIS ŠKODE ZARADI OBILNIH PADAVIN AVGUSTA 2005 ..	27
3.1	Potek in možni obseg nesreče	42
3.2	Ogroženi prebivalci, živali, premoženje in kulturna dediščina.....	43
3.3	Verjetne posledice nesreče, verjetnost nastanka verižne nesreče	44
4	GEOLOGIJA TAL, DRSINE.....	46
4.1	Globalna stabilnost terena	47
5	SANACIJA PLAZU	48
5.1	Določitev prispevnega območja plazu	48
5.2	Zasnova sanacije plazu.....	48
6	DIMENZIONIRANJE	55
6.1	Izračun pretoka za dimenzioniranje odvodnega kanala.....	55
6.2	Dimenzioniranje kanalet.....	56
6.3	Dimenzioniranje prepusta	62
6.4	Peščeni filtri.....	69
7	DODATNI UKREPI.....	73
	VIRI	74

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Dnevne vsote padavin (od 8. ure predhodni dan do 8. ure na dan meritve) za 21. in 22. avgust 2005, skupaj z 2-dnevno vsoto padavin in oceno povratne dobe za 2-dnevne padavine. Vse padavine, razen na Lisci, v Krškem in v Murski Soboti, kjer imamo samodejne meteorološke postaje, so ročno izmerili opazovalci na padavinskih postajah.	13
Preglednica 2: Povratne dobe za izmerjene ekstremne nalive na samodejnih avtomatskih postajah.(spletne strani Agencije Republike Slovenije za okolje).....	17
Preglednica 3: Število prijav škode po neurju	29
Preglednica 4: Neprevoznost cest	29
Preglednica 5: Seznam poškodovanih in podrlih mostov v krajevni skupnosti Sevnica in drugod, z dne 24.08.2005	29
Preglednica 6: Dokončni popis škode (popisi občinskih komisij) v evrih	31
Preglednica 7: Prikaz aproksimacij za zapolnitev prepusta	68

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Hidrogram Radulje v Škocjanu od 20.08.2005 do 25.08.2005 v primerjavi z obdobjnim srednjim (sQs) in obdobjnimi velikimi pretoki (sQvk in vQvk).	18
Grafikon 2: Polurne in 12-urne vsote padavin, izmerjene na samodejni meteorološki postaji Lisca (21. avgusta 2005). Najbolj izrazite padavine so bile med 5. uro in 7. uro zjutraj (po zimskem času), ko je padlo kar 55,7 l dežja na m².(spletne strani Agencije Republike Slovenije za okolje).....	22
Grafikon 3: Urne akumulacije padavin na samodejni meteorološki postaji Bovec in ombrografskih postajah Ljubljana, Lisca in Murska Sobota od 15. ure 21. avgusta do 18. ure 23. avgusta 2005.(Ujma, številka 20, 2006).....	24
Grafikon 4: pretok v odvisnosti od hidravličnega radija; za moj konkretni primer	64
Grafikon 5: prikaz pretoka v odvisnosti od prereza; za okroglo cev	65
Grafikon 6: prikaz pretoka v odvisnosti od omočenega oboda; za okroglo cev	66
Grafikon 7: prikaz odvisnosti omočenega oboda v odvisnosti od prereza; za moj konkretni primer	67
Grafikon 8: Diagram Zamarina za dopustni gradient.....	72

KAZALO SLIK

Slika 1 – Analiza sil vzdolž drsne ploskve (Ribičič, 2002).....	2
Slika 2 – Osnovna delitev tipov plazenja in nekaj njihovih vzrokov (Geological Survey Branch B.C., 1999).....	4
Slika 3 – Lezenje kot posledica neugodno usmerjene plastovitosti (Geological Survey Branch B.C., 1999).....	5
Slika 4 – Plazenje materiala na pobočju iz izotropnega materiala vključuje tudi rotacijsko plazenje (Geological Survey Branch B.C., 1999).....	6
Slika 5 – Translacijsko plazenje (Geological Survey Branch B.C., 1999).....	7
Slika 6 – Zemeljski tokovi nastanejo zaradi spremembe konsistence materiala zaradi povečane količine vode v materialu (Geological Survey Branch B.C., 1999 in Ribičič, 2002).....	8
Slika 7 – Skalni podori in prevračanje materiala po pobočju (Geological Survey Branch B.C., 1999).....	8
Slika 8 – Splošni opis plazu (Ribičič, 2001a).....	9
Slika 9: Radarska slika padavin v soboto ob 15. uri po lokalnem času; v zahodni Sloveniji so vidne plohe in nevihte. Posnetek odbojev padavinskih delcev je narejen z meteorološkim radarjem na Lisci.....	11
Slika 10: Radarska slika padavin v nedeljo ob 8:20 po lokalnem času; vidno je močno deževje v osrednji in delu vzhodne Slovenije.....	11
Slika 11: Radarska slika padavin v nedeljo ob 10:50 po lokalnem času; viden je močan dež na Koroškem.....	12

Slika 12a: Vsote 2-dnevnih padavin (od 8. ure 20. avgusta 2005 do 8. ure 22. avgusta 2005).....	15
Slika 12b: Vsote 2-dnevnih padavin (od 8. ure 20. avgusta 2005 do 8. ure 22. avgusta 2005).....	16
Slika 13: lokacija Škocjana in Radulje; zgoraj lahko vidimo, kje se nahaja mesto Sevnica.(interaktivni zemljevid Google Maps)	19
Slika 14: Stanje na vodomerni postaji Orešje na Sevnici 22.08.2005 (foto: M. Burger).	21
Slika 15: Vrhunec poplav reke Sevnice. Reka Sevnica je v nedeljo, 21.8.2005, okrog 9. ure zjutraj poplavlila širša področja ob strugi. Podirala je škarpe, voda je s seboj odnašala vse, kar je bilo lesenega, plastičnega, tudi samokolnice, kolesa in seveda poljščine z obdelanih vrtov. (Foto: Zorko Vičar)	24
Slika 16: Okrog 11. ure se je voda začela umikati. Ostalo je veliko nanesenega materiala, zemlje in kamenja. (Foto: Zorko Vičar).....	25
Slika 17: Lokacija mesta Sevnice in reke Sevnice (interaktivni zemljevid Google Maps)	26
Slika 18: Začetek Florjanske ulice dne 21.08.2005 (občina Sevnica – g. Joško Žvar).....	32
Slika 19: Drožanjski potok dne 21.08.2005 (občina Sevnica – g. Joško Žvar).....	33
Slika 20: Sevnica pri križišču za Planino (občina Sevnica – g. Joško Žvar).....	33
Slika 21: Pri Tuhtarju 21.08.2005 ob 02.30 uri (občina Sevnica – g. Joško Žvar)	34
Slika 22: Stanovanjska hiša Divjak – Orešje 7 – stanje 23.08.2005 (občina Sevnica – g. Joško Žvar).....	34
Slika 23: Izdelava novega mostu čez potok Blanščica na LC Blanca – Poklek (občina Sevnica – g. Joško Žvar).....	35

Slika 24: Sanacija zemeljskega plazu na LC Dol – Zabukovje; pod cerkvijo Sv.Lenarta (občina Sevnica – g. Joško Žvar).....	35
Slika 25: Sanacija lokalne ceste Blanca - Krajna Brda (občina Sevnica – g. Joško Žvar)	36
Slika 26: Sanacija zemeljskega plazu pri nad stanovanjsko hišo Cesar Franc, Lončarjev Dol 30a (občina Sevnica – g. Joško Žvar).....	36
Slika 27: Sanacija zemeljskega plazu na JP Okroglice – Lovrenc (občina Sevnica – g. Joško Žvar).....	37
Slika 28: Plaz Zupanc – Račica pri Loki; stanje 22.08.2005 (občina Sevnica – g. Joško Žvar)	37
Slika 29: Sanirani plaz Zupanc Majde, Račica 39, Loka (občina Sevnica – g. Joško Žvar)	38
Slika 30: Zemeljski plaz nad gospodarskim objektom Radič Avgust, Florjanska (občina Sevnica – g. Joško Žvar).....	38
Slika 31: Sanirani zemeljski plaz Radič Avgust, Florjanska (občina Sevnica – g. Joško Žvar)	39
Slika 32: Sanacija zemeljskega plazu nad gospodarskim objektom Avgusta Radiča (občina Sevnica – g. Joško Žvar).....	39
Slika 33: Porušen most na LC Blanca – Poklek (občina Sevnica – g. Joško Žvar)	40
Slika 34: Oglad geologov na plazu Popelar – Horjak (občina Sevnica – g. Joško Žvar) .	40
Slika 35: Porušeni most do stanovanjskih hiš Popelar, Horjak (občina Sevnica – g. Joško Žvar)	41
Slika 36: Za gospodarskim poslopjem Popelar; plaz je na hribu za gospodarskim poslopjem (občina Sevnica – g. Joško Žvar)	41

Slika 37: Prikaz ogroženega področja v občini Sevnica.....	45
Slika 38: Geološka struktura na območju občine Sevnica (spletne strani Agencije Republike Slovenije za okolje in prostor – eionet)	47
Slika 39: Odlomni rob (Foto: Jure Hafner, 17.06.2007)	51
Slika 40: Izvir vode (Foto: Jure Hafner, 17.06.2007)	52
Slika 41: Zgornji odlomni rob (Foto: Jure Hafner, 17.06.2007)	53
Slika 42: Odlomni rob (Foto: Jure Hafner, 17.06.2007)	54
Slika 43: Dimenzije izbrane kanalete proizvajalca PGM Žalec.....	58
Slika 44: Prikaz razširitve vodotoka	58
Slika 45: Prikaz zapolnitve prepusta	68
Slika 46: Prikaz prostora med delci, katerega lahko zapolnjuje voda	70

1 SPLOŠNO O ZEMELJSKIH PLAZOVIH

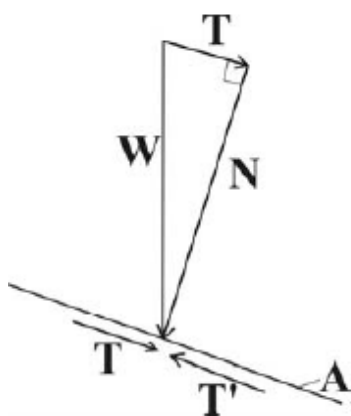
1.1 Splošno o zemeljskih plazovih

Plazovi so naravni pojav gibanja zemljin ali kamnin v glavnem kot posledica gravitacije. Povzročitelji zemeljskih plazov so naravni dejavniki, redkeje tudi človek, ki skozi daljše časovno obdobje vplivajo na stabilnostne razmere nekega območja. Sprožilci plazov so trenutni dogodki, ki tako intenzivno vplivajo na razmere nekega območja, da za stalno spremenijo njegovo stanje in s tem povzročijo splazitev mase. Plazove lahko sprožijo naravni pojavi, kot so potresi, neurja, vulkanski izbruhi itd., ali človek npr. s poružitvijo stabilnosti v hribinah zaradi nepravilnih posegov, nepravilne sečnje gozda itd. Kljub temu so plazovi naravni pojav in so kot taki del eksogene dinamike, zaradi česar je dejansko nemogoče govoriti, da plazovi degradirajo okolje. Vplivi so lahko naravni ali človeško pogojeni. Človeško pogojeni vplivi so lahko neposredni – sprožilci (npr. izkopi, obremenitve brežin, zaježitve, ki sprožijo dvig podtalnice itd.), ali pa posredni – pogojni povzročitelji (npr. sečnja gozda itd.). Prostorska in časovna razsežnost plazenja določata njegov obseg in vpliv na okolico. Posledice zdrs posameznega plazu so različne in so odvisne od dimenzij plazov, njegove lokacije ter od škode, ki jo ta povzroči. S socialno-ekonomskega stališča so pomembni le plazovi, ki povzročijo večjo materialno škodo, včasih pa na žalost terjajo tudi človeška življenja. Domnevajo, da se nastale škode in izgube človeških življenj, ki so posledice naravnih katastrof, iz leta v leto povečujejo. Kar 95 % žrtev se zgodi v deželah tretjega sveta, materialna škoda pa lahko tam doseže tudi 10 % BDP. Letno povzročijo plazovi po vsem svetu okoli 1000 smrtnih žrtev in okoli 4 milijarde ameriških dolarjev škode. Po drugih podatkih naj bi petindvajset največjih plazov v dvajsetem stoletju terjalo okoli sto osemdeset tisoč življenj in ogromno materialno škodo. V Sloveniji naj bi bilo v sredini devetdesetih let, po oceni geologa Ribičiča (Napoved verjetnosti pojavljanja plazov z analizo satelitskih in drugih prostorskih podatkov, 2005), med 7000 in 10000 večjih pojavov plazov. Škoda zaradi plazov naj bi v Sloveniji v letu 1993 dosegla 12 % skupne škode zaradi naravnih nesreč, ki je bila ocenjena na slabe 4 % BDP za isto leto. Skupaj so torej plazovi povzročili škode za 4,8 % BDP. V letu 2001 je delež škode plazov znašal 21 % skupne škode naravnih nesreč, kar je zneslo 1577366,05 € (378 milijonov SIT). Tako kot po svetu se tudi v Sloveniji

soočamo s problematiko neželenih naravnih pojavov, npr. plazov, poplav in potresov. Naj so ti procesi posledica človekovega ravnanja z okoljem ali pa zgolj običajni naravni pojavi, je njihovo preprečevanje ter izogibanje ali vsaj omejevanje pomembno pri ohranjanju kvalitete življenjskega okolja sodobnega človeka.

1.2 Tipi plazenja

Splošni pojem plazenja opredeljuje gibanje zemeljskih gmot, v glavnem pod vplivom gravitacije, zaradi porušitve notranje trdnosti materiala (Park, 1997), med plazenja pa se uvrščajo tako pojavi padanja kamnov kot tudi pojavi blatnih tokov (Ribičič, 2002). Do zdrsa pride, ko teža dela kamnine, zemljine ali hribine, prekorači strižno trdnost na kritični ploskvi. Za pojav plazenja sta pomembna dva dejavnika, ki delujeta eden proti drugemu. Prvi je gravitacija (zunanje sile), ki teži k premiku višje ležeče mase navzdol po pobočju. Drugi je notranja trdnost materiala (preperina, kamnina), ki preprečuje premik. Ta se proti strižnemu prestrigu po ploskvi izraža s silo notranjega trenja in kohezijo tega materiala. Razmerje med njima je prikazano z enačbo 3. Zaradi dolgotrajnega delovanja eksogenih sil se spreminjata oblika terena in stanje kamnine. Trdnost preperine se sčasoma zmanjšuje, dokler gravitacijske sile ne presežejo strižne trdnosti na najbolj šibki ploskvi v kamnini, preperini. K splazitvi pogosto pripomore tudi človek s svojimi posegi v okolje. Sila teže celotnega materiala nad drsno ploskvijo (W) je vsota normalne (N) in vzporedne komponente (T) vzdolž drsne ploskve (Slika 1). Sili T se upre strižni odpor T' , ki se mobilizira na izbrani ploskvi (A).



Slika 1 – Analiza sil vzdolž drsne ploskve (Ribičič, 2002).

Mobilizirani strižni odpor T' je omejen z maksimalnim strižnim odporom T'_{\max} , ki je po Coulombovem zakonu porušitve enak:

$$T'_{\max} = c \times A + N \times \operatorname{tg}\varphi , \quad \text{Enačba (1)}$$

kjer c predstavlja kohezivno trdnost in φ kot notranjega trenja. Enačbo 1 se lahko, ob predpostavki sil v elementu zemeljske gmote ali kamnine na izbrano ploskev A , izrazi z napetostmi:

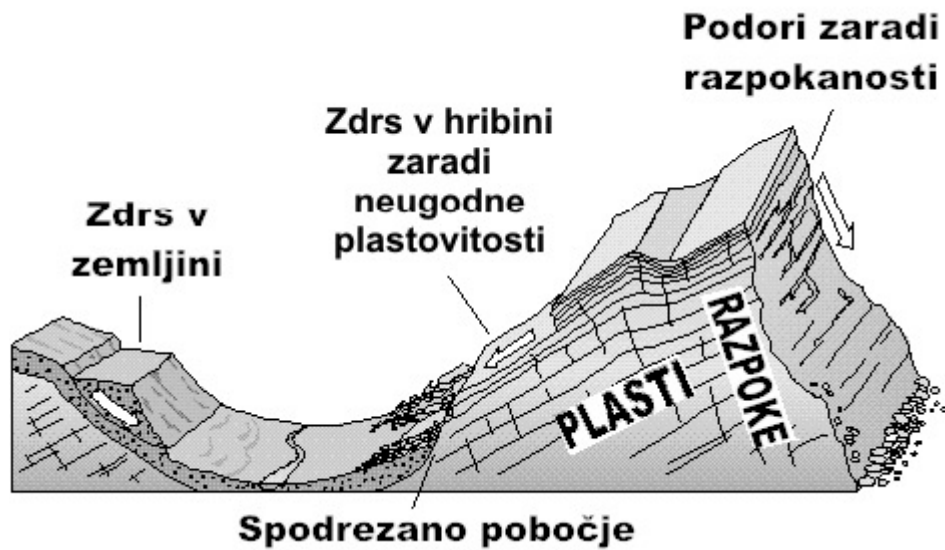
$$\tau_{\max} = c + \sigma_N \times \operatorname{tg}\varphi , \quad \text{Enačba (2)}$$

kjer je τ_{\max} največja strižna trdnost vzdolž ploskve in σ_N normalna napetost pravokotno na ploskev (Nonveiller, 1979). Strižna trdnost vzdolž ploskve je tako nadomestila notranjo trdnost materiala. Do porušitve v preperini in do zdrsa pride, ko je strižna napetost τ zaradi teže materiala večja od maksimalne strižne trdnosti vzdolž ploskve τ_{\max} (Ribičič, 2002):

$$\tau \geq \tau_{\max} \text{ oziroma } F_S = \tau_{\max} / \tau \leq 1 , \quad \text{Enačba (3)}$$

kjer F_S predstavlja količnik varnosti. Ob predstavljeni teoriji je treba povedati, da veljajo zgornje enačbe pri idealnih pogojih, ki pa so v naravi izredno redki. Pri predpostavki, da je material neporušen, vplivajo na vrednosti kota notranjega trenja in kohezije geomehanske lastnosti kamnine oziroma litološka sestava obravnavanega materiala.

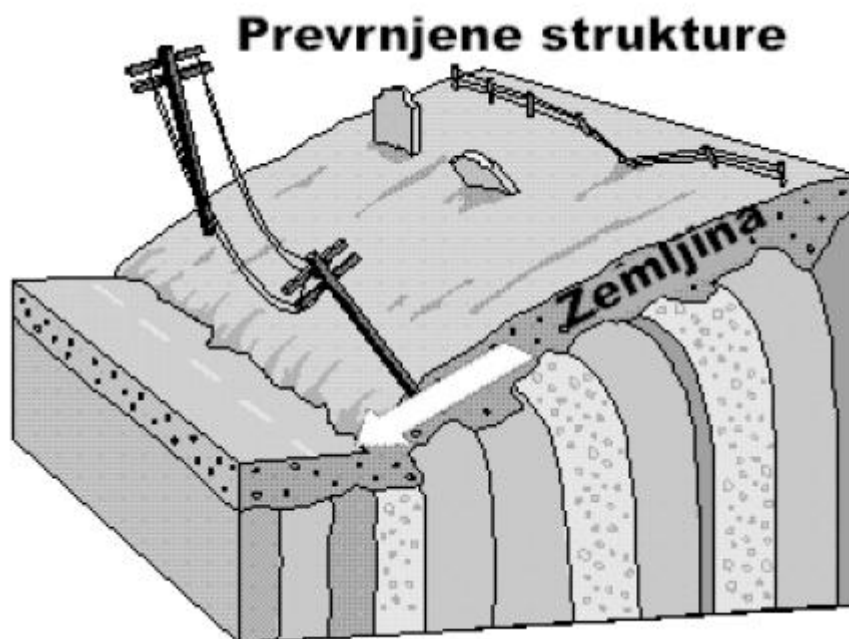
Poleg zemljinskih in hribinskih plazov, ki predstavljajo najosnovnejšo delitev vrst plazenj, se pojavljajo tudi plazovi z vmesnimi lastnostmi. Zdrs v zemljinah se pojavi v masi zemljine ali na kontaktu med zemljino in hribino, plazenje v hribinah pa se pojavi vzdolž diskontinuitete v hribini (Ribičič, 2002). Slika 2 prikazuje osnovno razdelitev vrst plazenja in nekatere vzroke zdrsov.



Slika 2 – Osnovna delitev tipov plazjenja in nekaj njihovih vzrokov (Geological Survey Branch B.C., 1999).

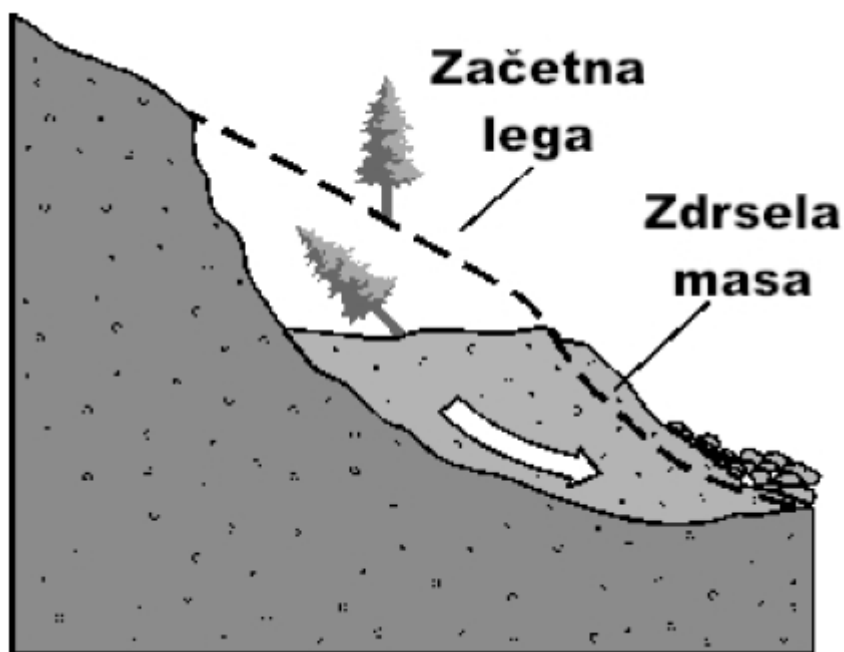
Slovensko izrazoslovje, ki opisuje različne tipe plazjenja, je predlagal Skaberne leta 2001 in se ločijo na naslednje tipe.

1. Lezenje je zelo počasno premikanje neutekočinjenega toka zemljine, vzporedno s vpadnico pobočja in je največkrat povezano s cikli zmrzali ali padavinami. Povezano je lahko z neugodno usmerjeno plastovitostjo.



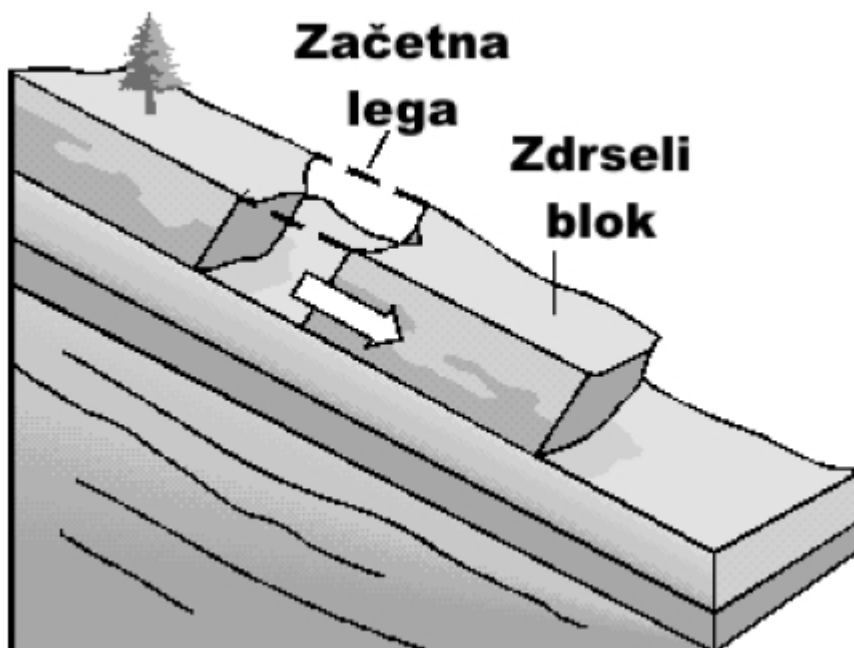
Slika 3 – Lezenje kot posledica neugodno usmerjene plastovitosti (Geological Survey Branch B.C., 1999).

2. Plazenje je premikanje plazine v homogenih glinastih, meljastih ali peščenih pobočjih, pri katerem se pojavlja gnetenje materiala in s tem njegova večja notranja porušitev.



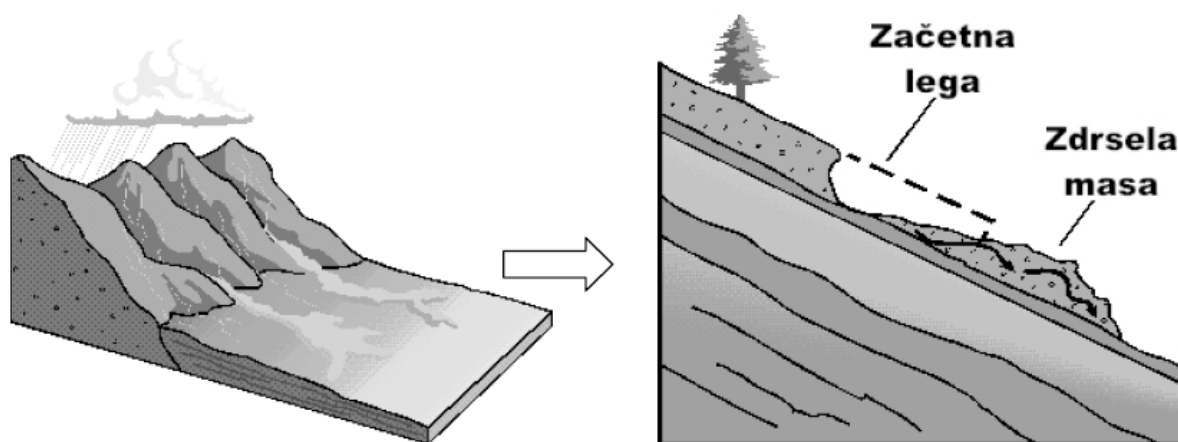
Slika 4 – Plazenje materiala na pobočju iz izotropnega materiala vključuje tudi rotacijsko plazenje (Geological Survey Branch B.C., 1999).

3. Kombinirano plazenje se pojavi v nehomogenem, plastovitem materialu. Drsna ploskev je vegasta. Na prehodih iz rotacijske v translacijsko cono prihaja do velikih deformacij.
4. Plazenje (translacijsko) se pojavi, ko je v pobočju prisotna nezveznost z nižano strižno trdnostjo vzdolž pobočja. Tak tip plazenja je značilen za okoliščine, ko sloj razpokane kamnine leži na sloju z manjšo strižno trdnostjo (npr. apnenci na flišu).



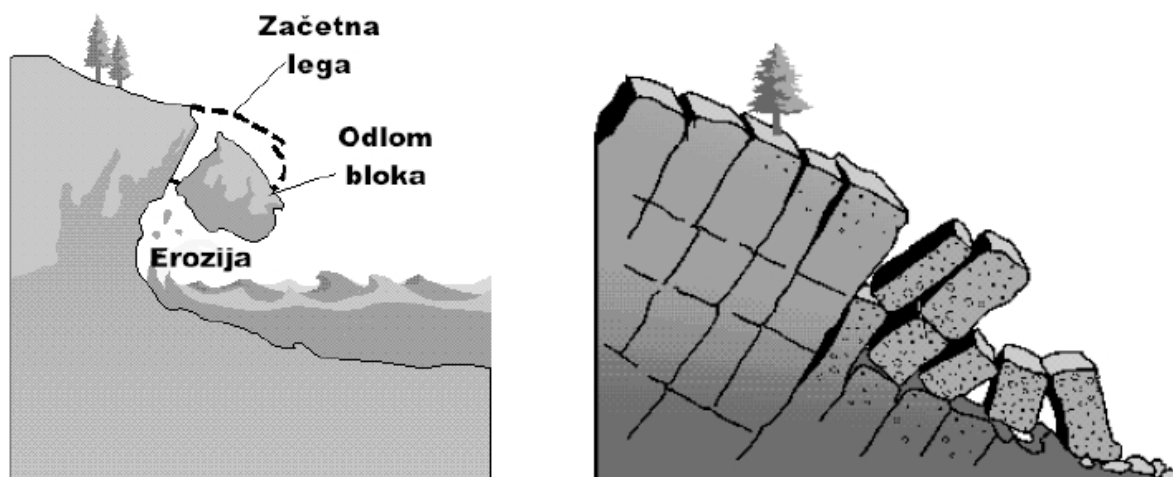
Slika 5 – Translacijsko plazenje (Geological Survey Branch B.C., 1999).

5. Zemeljski tok, tudi drobirski tok (Skaberne, 2001), je tečenje fino-zrnatih delcev in samic, pomešanih z vodo. Nastane zaradi sprememb v konsistenci materiala zaradi povečane količine vode ali prevelike obtežitve. V to skupino sodijo gravitacijski tokovi, ki so mešanice zemljin, hribin, vode in/ali zraka. Ta tip plazenja je tako nevaren zaradi svoje velike sposobnosti tečenja, kar mu omogoča velike hitrosti in veliko vzdolžno razširjanje. Ker se ne obnaša kot togo telo, ga je izredno težko ustaviti (Ribičič, 2001a).



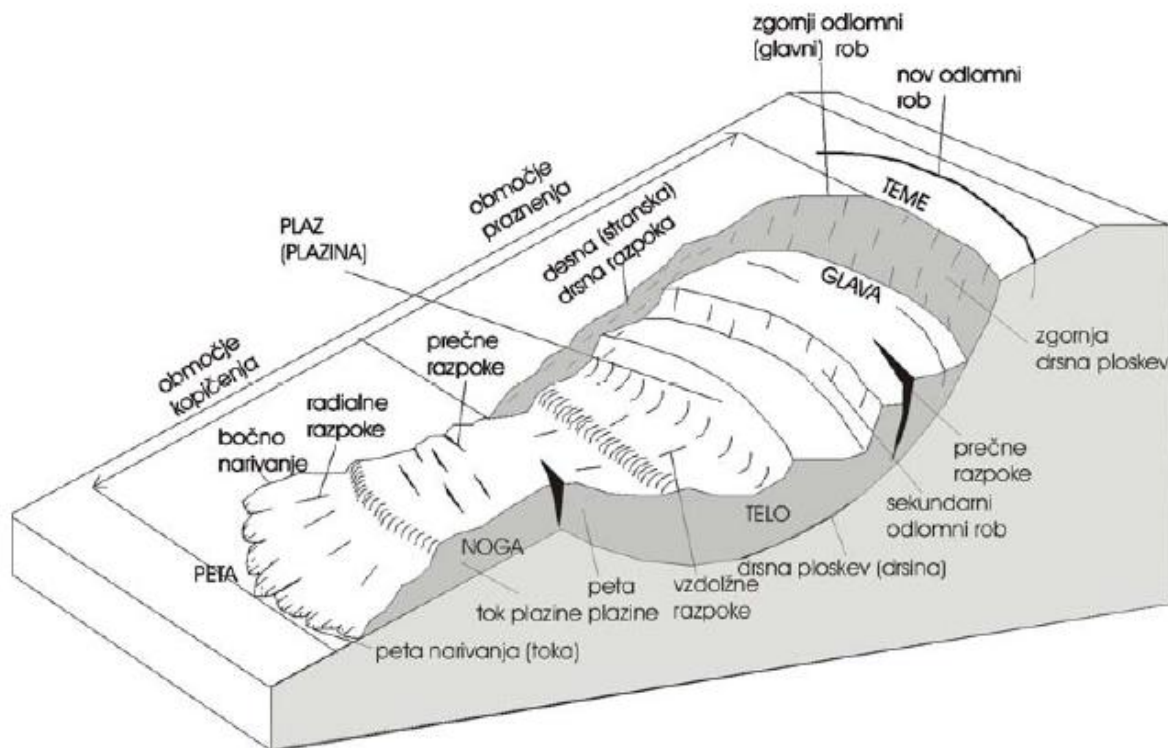
Slika 6 – Zemeljski tokovi nastanejo zaradi spremembe konsistence materiala zaradi povečane količine vode v materialu (Geological Survey Branch B.C., 1999 in Ribičič, 2002).

6. Poleg omenjenih sodijo k premikom zemeljske mase pod vplivom gravitacije še skalni podori, kotaljenje in prevračanje materiala po pobočju (Skaberne, 2001; Ribičič, 2001a).



Slika 7 – Skalni podori in prevračanje materiala po pobočju (Geological Survey Branch B.C., 1999).

Splošno se plaz deli na tri glavne dele, glavo, vrhnji del plazu, ki ga navzgor omejuje zgornji odlomni rob, telo, ki predstavlja osrednji del plazu, in nogo plazu, kjer se je splazeli material odložil.



Slika 8 – Splošni opis plazu (Ribičič, 2001a).

2 UVOD – PREDSTAVITEV VZROKA IN POSLEDIČNE ŠKODE

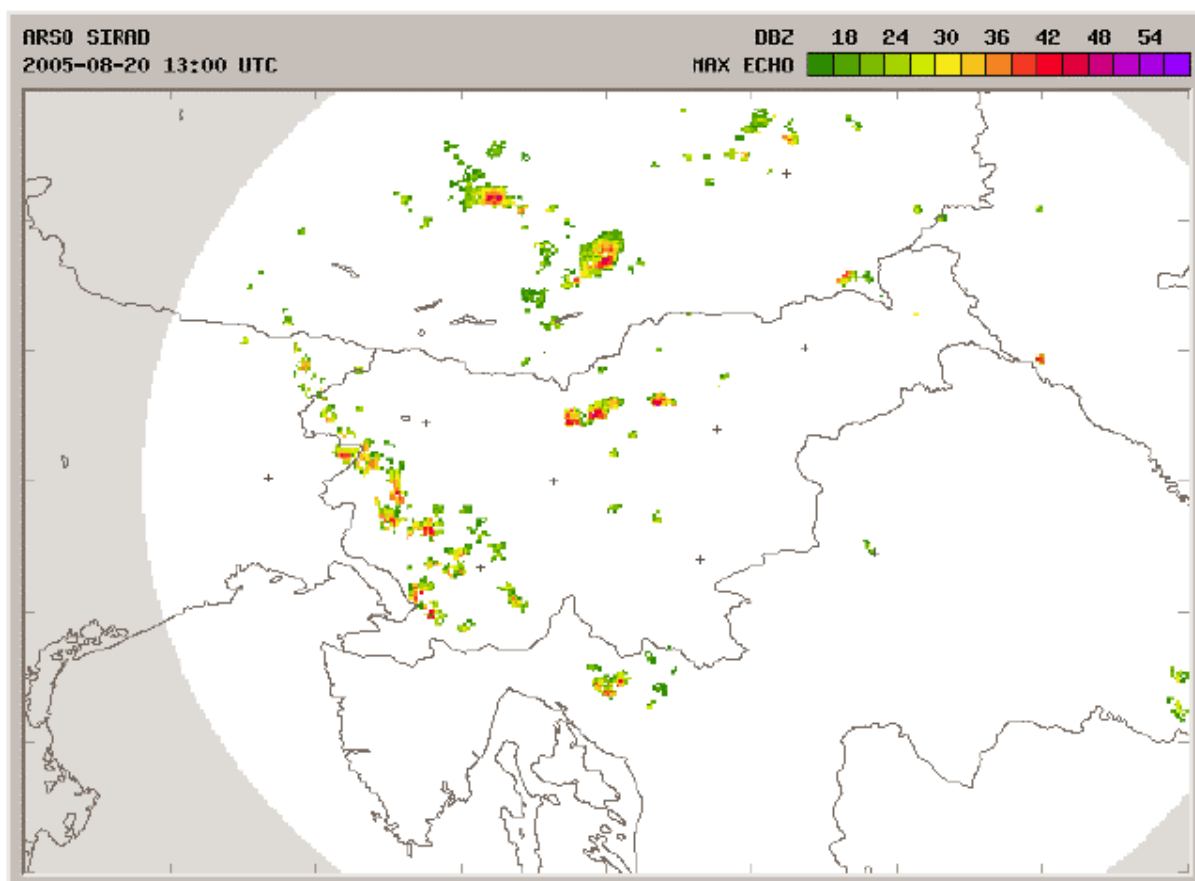
Plaz Popelar je po izvoru zemeljski plaz in se nahaja v dolini reke Sevnične. Leži na pobočju hriba Metni Vrh. Na nasprotnem bregu pa se nahaja meteorološka postaja Lisca, iz katere sem tudi pobral podatke o količini padavin.

Plaz Popelar se je sprožil leta 2005, ko je od 20. do 22. avgusta nastopilo hudo deževje. Po podatki Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO) je takrat padlo kar 55,7 litrov dežja v dveh urah na en kvadratni meter površine na območju vodomerne postaje Lisca.

Poleti so intenzivne padavine v Sloveniji zelo pogost pojav in so večinoma vezane na pojav

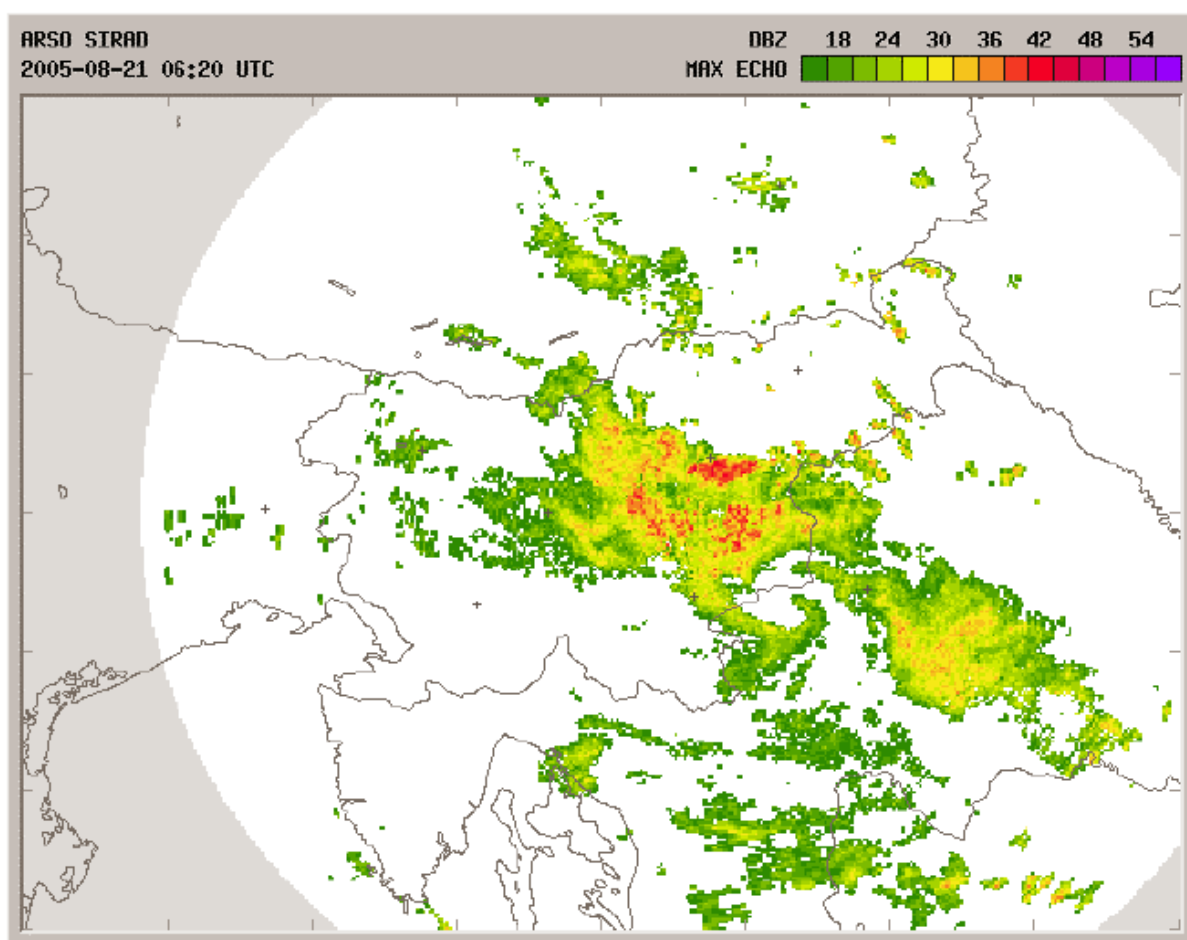
neviht. V predelih, kjer so tako obilne padavine običajne, običajno nimamo problemov s pojavom poplav, ne pa tudi z zemeljskimi plazovi. Tako je predvsem v zgornjem Posočju. Tam pa, kjer obilne padavine niso pogoste, pa se pojavi ne malo problemov. Največ padavin je takrat padlo v vzhodnem delu Posavskega hribovja, kjer so nekatere izmerjene padavine presegle tudi 100-letno povratno dobo. Zlasti na širšem območju Sevnice so te padavine povzročile porast rek in potokov ter povzročile nastanek močnih hudournikov. Posledica so bile številne poplave in zemeljski plazovi.

Ob sredozemskem ciklonu običajno nad našimi kraji pihajo pretežno jugozahodni vetrovi, ki povzročajo obilne padavine v zahodnih krajih Slovenije. Tudi ob takratnih padavinah so se padavine najprej pojavile v zahodni Sloveniji, kjer so na gorskih pregradah nastale plohe in nevihte. To se je dogajalo 20. avgusta popoldne. (Slika 9)



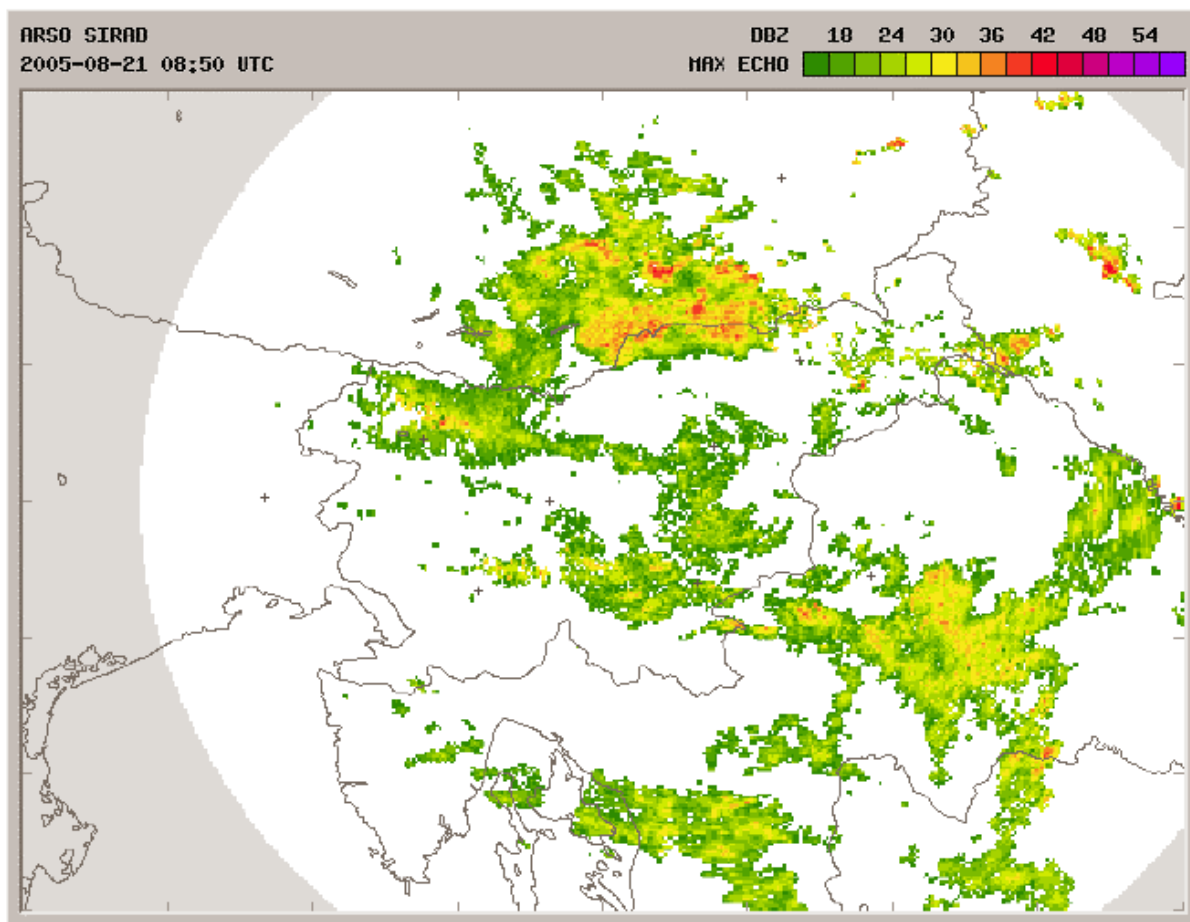
Slika 9: Radarska slika padavin v soboto ob 15. uri po lokalnem času; v zahodni Sloveniji so vidne plohe in nevihte. Posnetek odbojev padavinskih delcev je narejen z meteorološkim radarjem na Lisci.

Zaradi obrata vetra v jugovzhodno smer, so se padavine prenesle na vzhod. Plohe in nevihte so 20. avgusta zvečer zajele jugovzhodno Slovenijo, nato se je dež razširil nad osrednjo in del vzhodne Slovenije. Te padavine so se potem zadrževale na tem mestu kar nekaj ur. (Slika 10)



Slika 10: Radarska slika padavin v nedeljo ob 8:20 po lokalnem času; vidno je močno deževje v osrednji in delu vzhodne Slovenije.

Nato se je, 21. avgusta dopoldne, glavnina padavin preselila severneje. Od juga pa so padavine že pričele slabeti. (Slika 11)



Slika 11: Radarska slika padavin v nedeljo ob 10:50 po lokalnem času; viden je močan dež na Koroškem.

Popoldne so v Pomurju nastali pasovi z močnimi nalivi, ki so bili najmočnejši v Prekmurju. Novo obsežno padavinsko območje je v noči na 22. avgusta zvečer najprej zajelo jugovzhodni in osrednji del Slovenije in se nato zjutraj pomaknilo nad zahodni in severni del Slovenije. Veter v višinah je slabel in se od zahoda začel obračati proti severu. Sredi dneva je v osrednjem in severovzhodnem delu države nastalo nekaj ploh in neviht, pozneje so se pojavile tudi drugje po državi. Predvsem v Prekmurju je lokalno padla večja količina padavin. Najpozneje pa je prenehalo deževati na vzhodnem delu Štajerske. V noči na 23. avgusta so se razmere počasi začele umirjati, saj se je jedro hladnega zraka pomaknilo vzhodno od naših krajev. Zjutraj je še deževalo v zahodni Sloveniji, drugod je dež v glavnem ponehal. Čez dan

pa so še nastale posamezne plohe in nevihte, predvsem v Prekmurju. Zvečer pa so tudi tam padavine ponehale.

Obilne padavine so po posameznih območjih vzhodne Slovenije naredile ogromno škode. Na nekaterih meteoroloških postajah, predvsem v Posavski regiji, so zabeležili rekordne jakosti in količine padavin. Izjemno visoke povratne dobe so bile zabeležene tako za krajše nalive (Krško, Murska Sobota in Lisca), kot tudi za 2-dnevne vsote padavin (Laško, Mokronog, Lisca in Krško). V Preglednici 1 so podane dnevne vsote padavin na nekaterih postajah v vzhodni Sloveniji, kjer so bile zabeležene večje količine padavin.

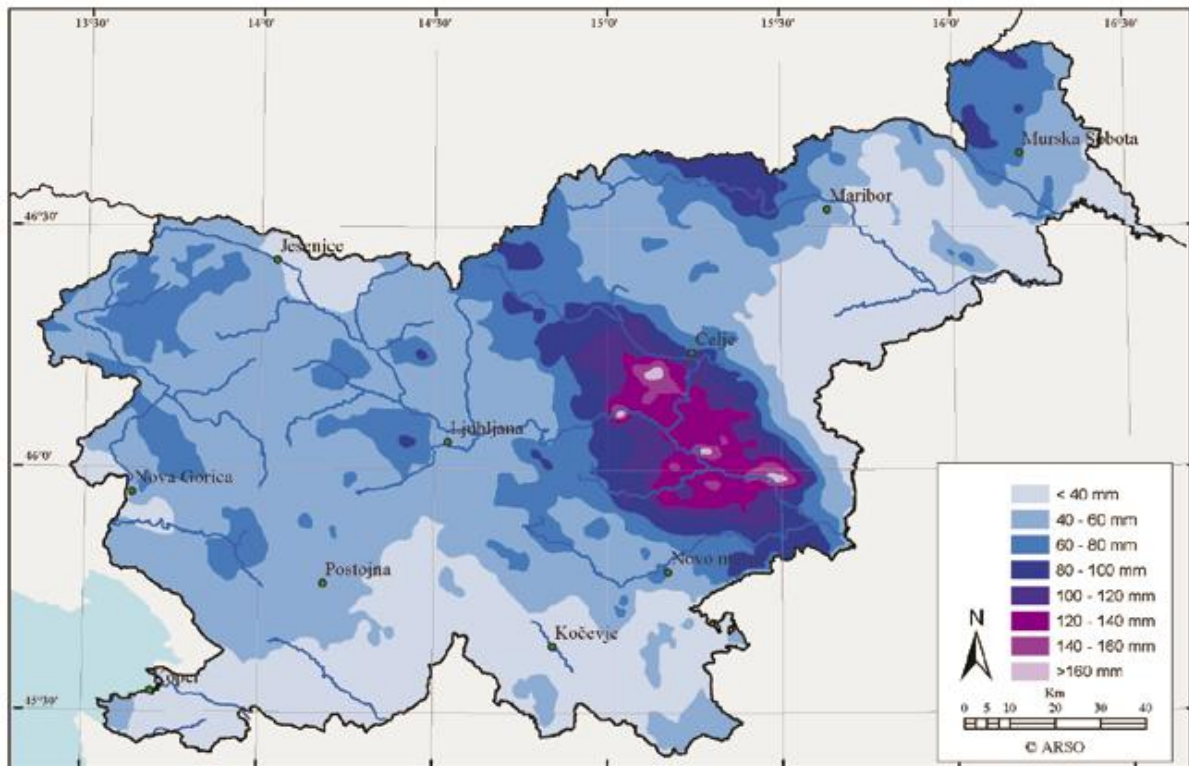
Preglednica 1: Dnevne vsote padavin (od 8. ure predhodni dan do 8. ure na dan meritve) za 21. in 22. avgust 2005, skupaj z 2-dnevno vsoto padavin in oceno povratne dobe za 2-dnevne padavine. Vse padavine, razen na Lisci, v Krškem in v Murski Soboti, kjer imamo samodejne meteorološke postaje, so ročno izmerili opazovalci na padavinskih postajah.

POSTAJA	Padavine 21. avgusta (mm)	Padavine 22. avgusta (mm)	Vsota padavin 21. in 22. avgusta (mm)	Povratna doba 2-dnevni padavin (let)
Sevno	34	31	64	1
Laško	80	71	152	80
Bizeljsko	5	22	27	1
Brod	32	55	88	1
Smednik	80	44	124	25
Brege	57	39	96	10
Sevnica	97	26	123	25
Malkovec	73	46	119	30
Mokronog	79	58	137	100
Dvor	8	38	46	1
Gorenjci	15	41	56	1
Predgrad	0	37	37	1
Žetale	0	22	22	1
Solčava	25	47	73	1
Logarska	22	42	64	1
Kotlje	32	24	57	2
Fram	3	33	36	1
Ruše	50	35	85	2
Lovrenc na Pohorju	41	48	89	2
Duh na Ostrem vrhu	37	51	88	2
Ribnica na Pohorju	13	31	43	1
Lukanja	90	26	116	10
Šentilj	8	57	65	2
Cankova	44	5	49	1
Jeruzalem	0	21	21	1
Murska Sobota	12	64	76	10
Kančevci	44	25	68	10
Mačkovci	69	25	94	25
Martinje	56	57	113	25
Veliki Dolenci	21	24	45	1
Lisca	97	45	142	110
Ptujska gora	0	22	22	1
Krško	93	62	155	100
Planina v Podbočju	45	72	118	50

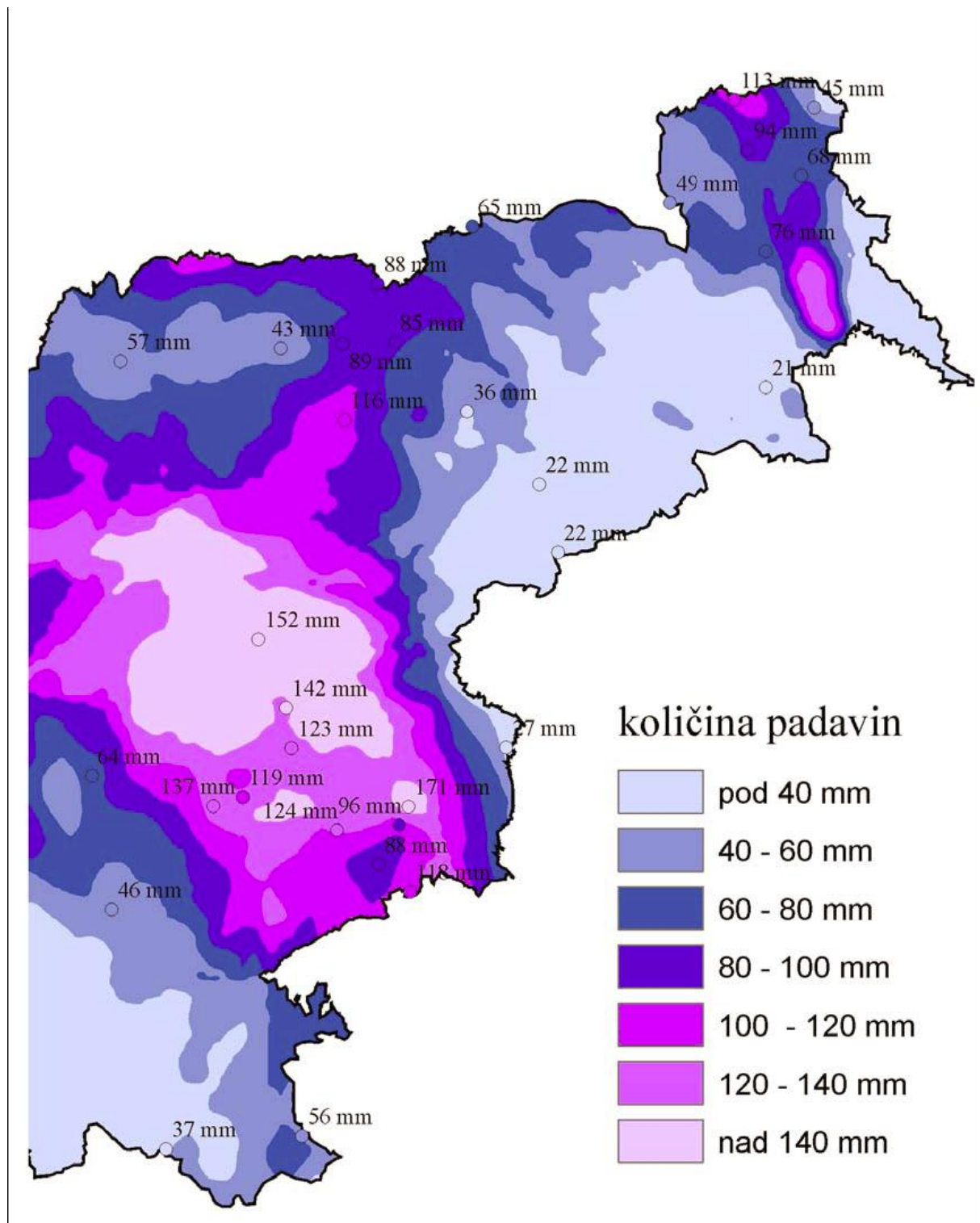
Padavine na padavinskih postajah so bile merjene vsako jutro ob 8. uri (po poletnem času), ko so opazovalci izmerili vse padavine, ki so padle od 8. ure zjutraj prejšnjega dne. Iz

Preglednice 1 je razvidno, da dnevne vsote niso bile rekordne, predvsem zato, ker je bil glavni

padavinski dogodek prekinjen z meritvijo 21. avgusta ob 8. uri. Tako je na večini postaj rekordno količino padavin opaziti šele pri dvodnevni vsoti (torej pri skupni količini padavin od 8. ure 20. avgusta do 8. ure 22. avgusta), ki so skupaj z ocenami povratnih dob predstavljene tudi na sliki 12.



Slika 12a: Vsote 2-dnevni padavin (od 8. ure 20. avgusta 2005 do 8. ure 22. avgusta 2005)



Slika 12b: Vsote 2-dnevnih padavin (od 8. ure 20. avgusta 2005 do 8. ure 22. avgusta 2005)

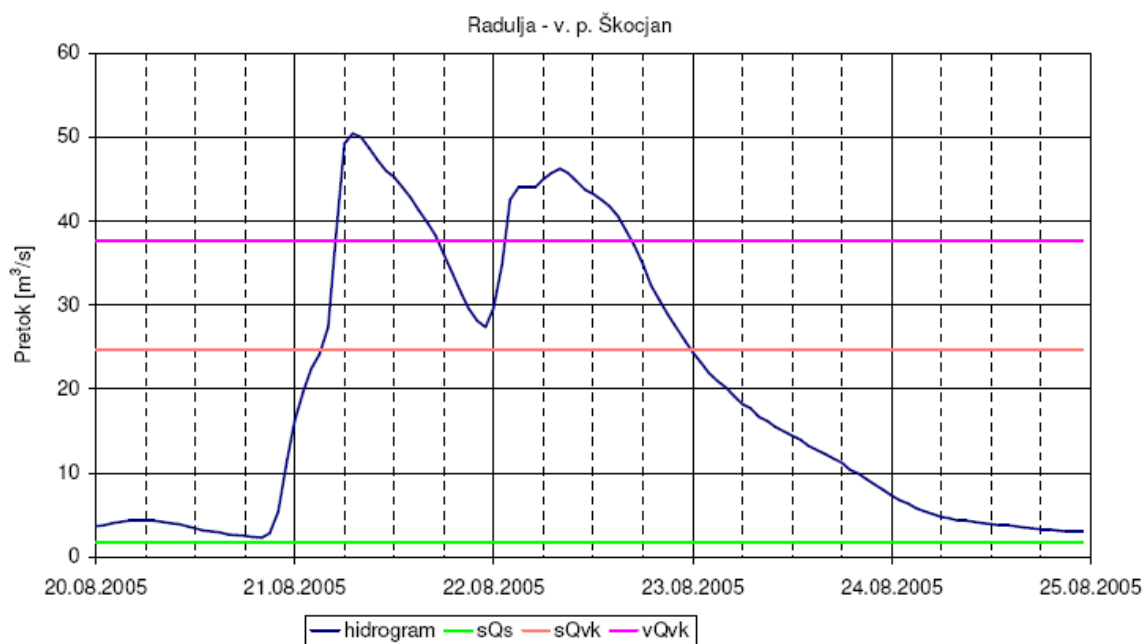
Za 2-dnevne vsote padavin so ocenili tudi povratne dobe. Kar na štirih postajah je bila dosežena ali celo presežena 100-letna povratna doba (to ne pomeni, da se dogodek dejansko pojavlja vsakih 100 let, temveč da je takšna statistična pričakovana pogostost dogodka; padavine s 100-letno povratno dobo se v zelo dolgem obdobju v povprečju pojavijo enkrat vsakih 100 let). Tudi kratkotrajni nalivi so ponekod dosegli ekstremne vrednosti. V Preglednici 2 so podani ekstremni kratkotrajni naliv z ocenami za povratne dobe, ki so jih izmerili na najbližjih samodejnih meteoroloških postajah.

Preglednica 2: Povratne dobe za izmerjene ekstremne nalive na samodejnih avtomatskih postajah.(spletne strani Agencije Republike Slovenije za okolje)

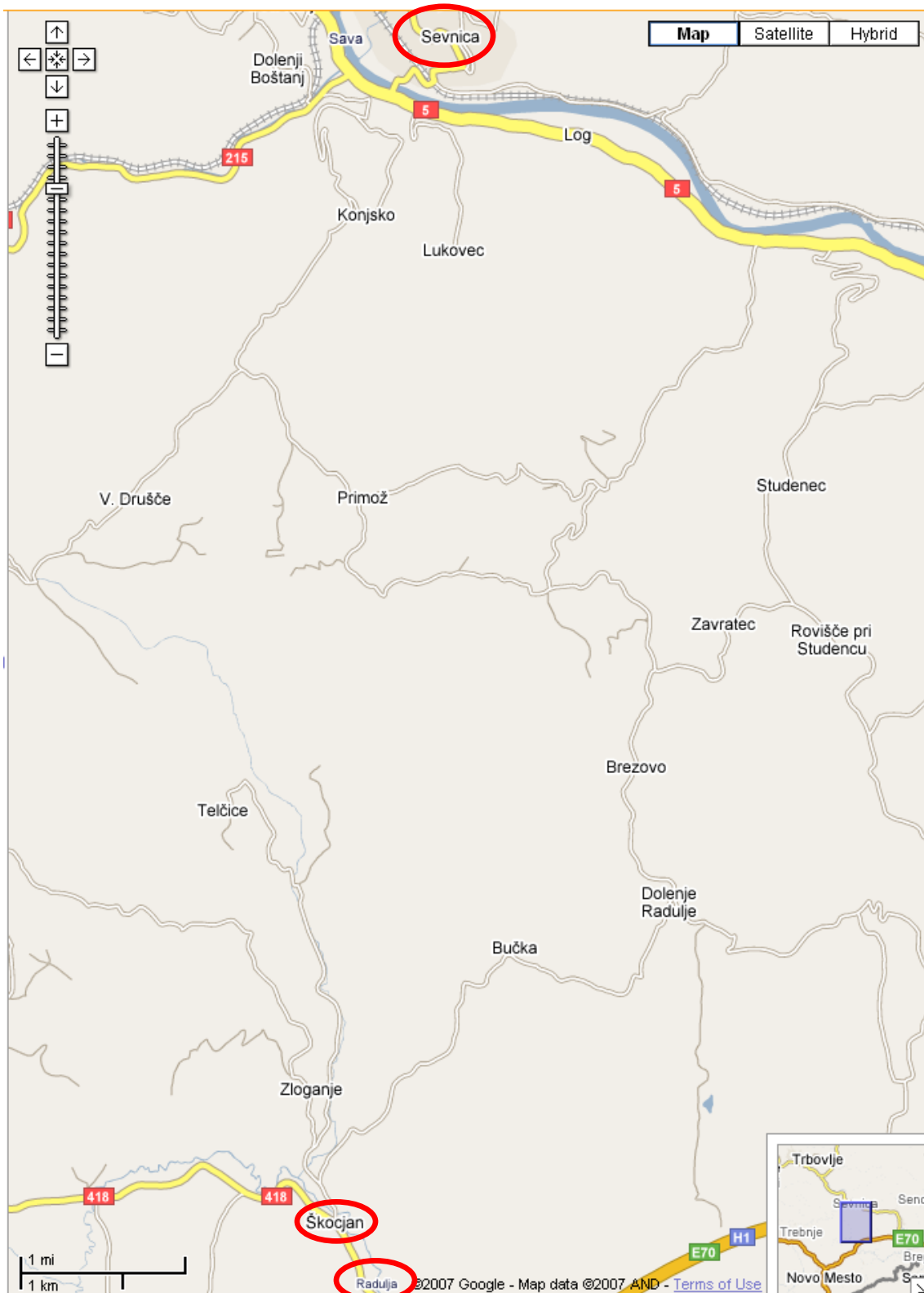
Postaja	Interval	Količina padavin(mm)	Povratna doba (let)
KRŠKO	6 ur	117,7	85
MURSKA SOBOTA	1 ura	53,6	50
LISCA	2 uri	55,7	50

Vzrok za številne zemeljske plazove in poplave so bili po eni strani izjemno močni kratkotrajni nalivi, hkrati pa tudi dolgotrajne obilne padavine, saj je bil mesec avgust povečini moker in je bilo skoraj povsod po državi preseženo dolgoletno povprečje padavin. Zaradi velike predhodne namočenosti tal, obilnih padavin in lokalno močnih nalivov so najbolj narasli hudourniki in manjši potoki v jugovzhodni Sloveniji, reke na območju Zasavja, Posavja, na širšem celjskem območju in na območju Laškega. Poplavljali in uničevali so predvsem manjši vodotoki. Na območju Posavja, kjer so se sprožili številni zemeljski plazovi, prevladuje gričevnat in hribovit svet s terciarnimi kamninami, pliokvartarnimi sedimenti in glinenimi vložki, ki so nagnjeni k plazanju. Preperina z obilico gline ima tudi majhne zadrževalne sposobnosti.

Radulja je ena izmed rek, ki so 21. avgusta 2005 najmočneje narasle. Kot je razvidno iz grafa 1, je Radulja v Škocjanu močno preseгла dotlej največji izmerjeni pretok iz leta 1961. V nedeljo zjutraj, 21. avgusta 2005, je ob 7. uri dosegla pretok $50.4 \text{ m}^3/\text{s}$, kar je več kot 100-letna povratna doba velikih pretokov. Po krajši prekinitvi dežja je Radulja nekoliko upadla in ob padavinah v noči na ponedeljek, 22. avgusta, ponovno začela naraščati. Druga konica v ponedeljek, 22. avgusta 2005, je bila le nekoliko nižja in je znašala $46.2 \text{ m}^3/\text{s}$



Grafikon 1: Hidrogram Radulje v Škocjanu od 20.08.2005 do 25.08.2005 v primerjavi z obdobjnim srednjim (sQs) in obdobjnimi velikimi pretoki (sQvk in vQvk).

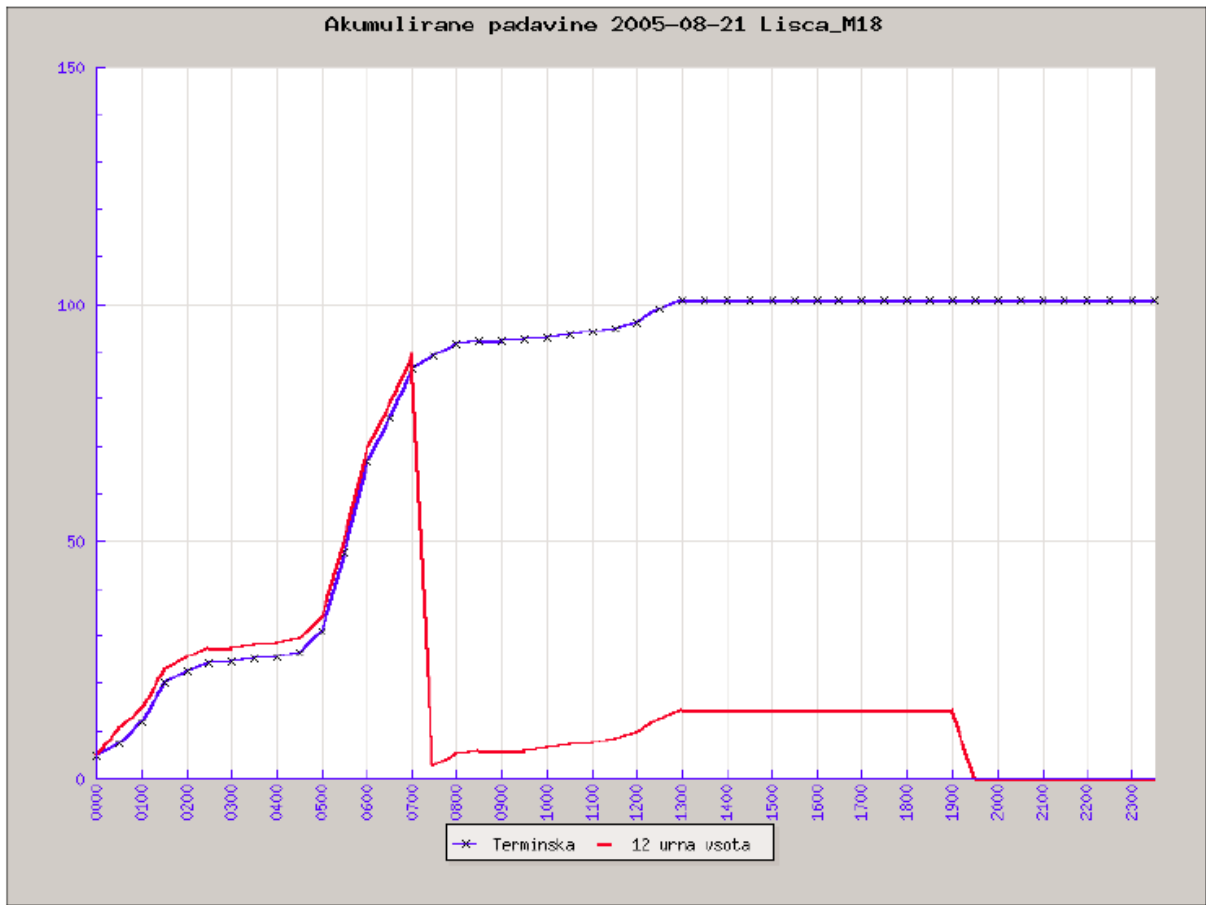


Slika 13: lokacija Škocjana in Radulje; zgoraj lahko vidimo, kje se nahaja mesto Sevnica.(interaktivni zemljevid Google Maps)

Reka Sevnica je prav tako 21. avgusta močno narasla in poplavljala v Sevnici in ob cesti Sevnica–Planina ter povzročila veliko škode. Hidroloških podatkov za Sevnico ni, saj je narasla voda 21. avgusta odtrgala in odnesla kovinsko hišico z limnigrafom in vodomerne letve v Orešju (Slika 14). Ker pa sta ob reki, tako Radulja in Sevnica, geografsko zelo blizu in so bile količine padavin na obeh lokacijah izredne, si lahko iz hidrograma za reko Raduljo predstavljamo tudi, kakšne so bile razmere na Sevnici in kakšne so bile konice. Količino padavin pa si lahko ogledamo na spodnjem grafu 2, ki prikazuje količino padavin 21. avgusta 2005, in na grafu 3 s količino padavin še po drugih delih države.



Slika 14: Stanje na vodomerni postaji Orešje na Sevnični 22.08.2005 (foto: M. Burger).



Grafikon 2: Polurne in 12-urne vsote padavin, izmerjene na samodejni meteorološki postaji Lisca (21. avgusta 2005). Najbolj izrazite padavine so bile med 5. uro in 7. uro zjutraj (po zimskem času), ko je padlo kar 55,7 l dežja na m².(spletne strani Agencije Republike Slovenije za okolje)

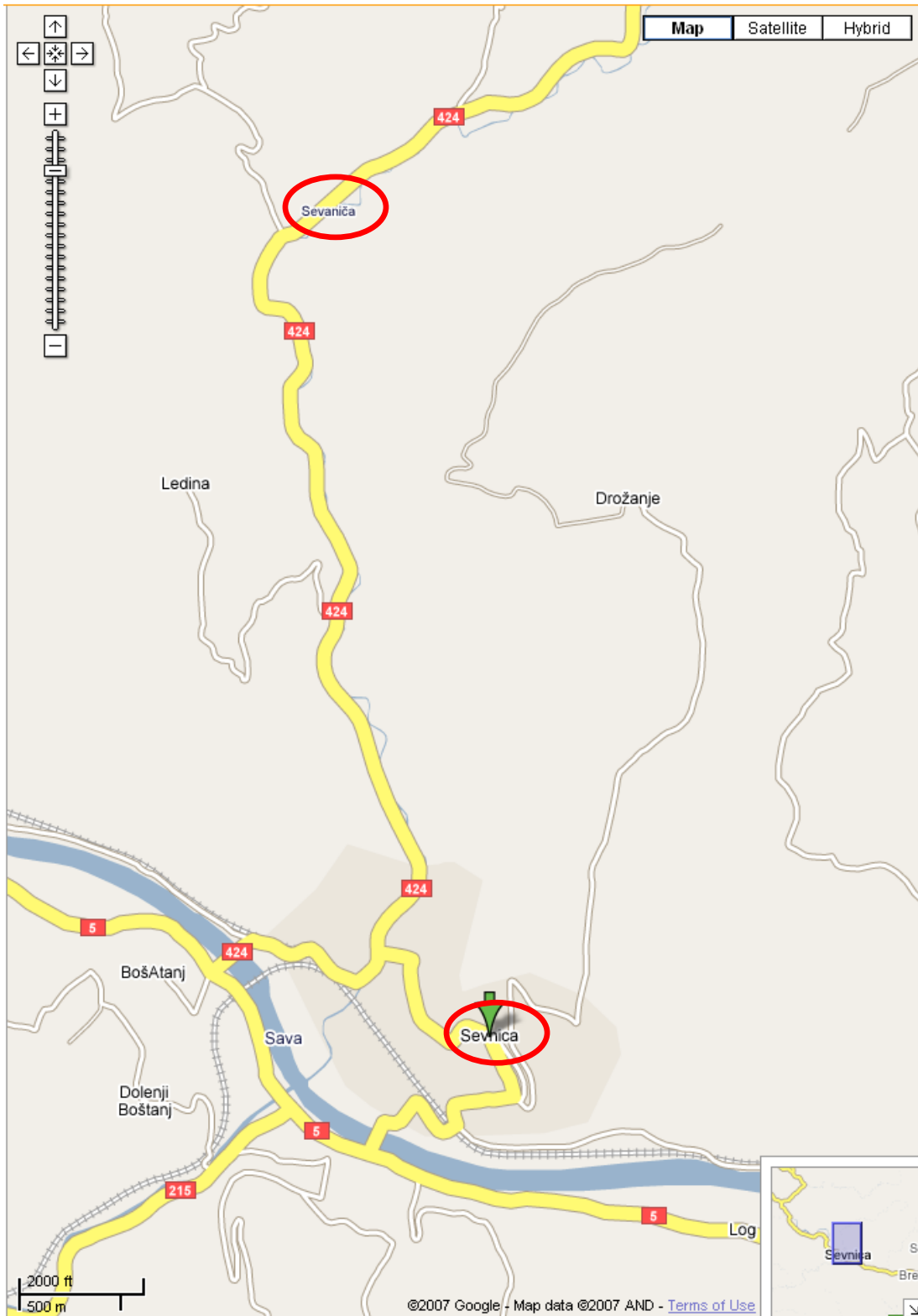
Grafikon 3: Urne akumulacije padavin na samodejni meteorološki postaji Bovec in ombrografskih postajah Ljubljana, Lisca in Murska Sobota od 15. ure 21. avgusta do 18. ure 23. avgusta 2005.(Ujma, številka 20, 2006)



Slika 15: Vrhunec poplav reke Sevnice. Reka Sevnica je v nedeljo, 21.8.2005, okrog 9. ure zjutraj poplavlila širša področja ob strugi. Podirala je škarpe, voda je s seboj odnašala vse, kar je bilo lesenega, plastičnega, tudi samokolnice, kolesa in seveda poljščine z obdelanih vrtov. (Foto: Zorko Vičar)



Slika 16: Okrog 11. ure se je voda začela umikati. Ostalo je veliko nanesenega materiala, zemlje in kamenja. (Foto: Zorko Vičar)



Slika 17: Lokacija mesta Sevnice in reke Sevnice (interaktivni zemljevid Google Maps)

3 OCENA IN POPIS ŠKODE ZARADI OBILNIH PADAVIN AVGUSTA 2005

Že v ponedeljek, 22. avgusta, takoj po razdejalnem koncu tedna, so na občini Sevnica sklicali tiskovno konferenco o posledicah neurja in škodi. Po besedah župana Kristijana Janca se v zgodovini na podlagi govoric najstarejših še živečih občanov nekaj tako katastrofalnega na območju občine še ni dogodilo. Bile so velike poplave pred leti, pa daljnega leta 1954, ko je grozila velika Sava. Tokrat pa je bilo nasprotno. Tokrat so izpod Bohorja in Lisce v nekaj urah pridivjali nedolžni potočki in hudourniki ter povzročili razdejanje daleč naokoli z velikansko količino vode (posledica močnih nočnih padavin, saj je ponoči padlo tudi prek 100 litrov dežja na kvadratni meter površin). Pod sabo so uničevali številne mostove, cestne povezave, stanovanjske in gospodarske objekte in sprožali plazove. Voda, ki smo si jo prejšnje sušne avguste tako želeli, je tokrat neizprosno pokazala svojo moč. Za dalj časa, lahko celo za nekaj let, je zaznamovala življenje posameznikov in občine Sevnica. Do ponedeljka, 22. avgusta, do 13. ure so na občino dobili že 125 klicev zaradi poškodovanih objektov, prijavljenih je bilo že čez 50 novih plazov, s tem da so jih prejšnji dan že 150 popisali, nekaj najhujših in nevarnih pa tudi že sanirali. Največ strahu je bilo povzročenega s proženjem zemeljskih plazov, ki so in nekateri še vedno ogrožajo stanovanjske hiše, gospodarske objekte, ceste, vikende in zidanice ter dovozne poti. Mnogo škode pa je tudi na kmetijskih zemljiščih, na travnikih in vinogradih, kjer so zemeljski plazovi odnesli in uničili površine, katerih ne bo mogoče nikoli sanirati. Mnoge stanovanjske in gospodarske objekte je zalila voda. Veliko škode je bilo tudi na vodovodnih omrežjih, vendar je Komunala Sevnica kot upravljalec z vodovodi uspešno sanirala vse napake v najkrajšem času. Marsikatero ceste so bile preplavljene, zastal je tudi železniški promet. Asfaltne ceste so bile na več koncih tako poškodovane, da so bile še v ponedeljek neprevozne oziroma pogojno prevozne. Takšno cestno razdejanje so povzročili podivjana Sevnična in potok ob cesti na Lukovec, pa tudi Vranjski potok na Gornjem Brezovem in še mnogi drugi potoki, ki so asfalt kar odrinili s svoje poti. Za sabo in ob sebi so podirali vse, kar jim je bilo na dosegu. Porušeno je bilo 12 cestnih mostov in še 30 resno poškodovanih. Po oceni, da padavine lahko pomenijo resne težave, je bil aktiviran štab civilne zaščite občine Sevnica. Občina pa je preko svojih pogodbenih izvajalcev takoj, že v noči na 21. avgust, pričela z najnujnejšimi deli, ki so bila

potrebna za zavarovanje nevarnih odsekov cest in z deli zaradi preprečitve nadaljnje škode. Pogodbeni izvajalci so vso razpoložljivo mehanizacijo usmerili v odpravljanje posledic neurja, tako je bila v nekaj dneh zagotovljena prevoznost cest in dostopnost do vseh hiš v občini. (Blanca je bila za en dan odrezana od sveta, saj ni bilo prevozne nobene ceste ali poti navzven) Odstranjevali so plazove, ki so zasuli objekte. Upravljalci vodotokov so opravili najnujnejša dela za zagotovitev pretočnosti voda. Tako so zagotovili najnujnejše osnovne pogoje za življenje. Že prvi dan se je formirala tudi koordinacijska skupina pod vodstvom župana Kristijana Janca, v kateri so bili predstavniki štaba civilne zaščite, komisij za oceno škode, najbolj prizadetih krajevnih skupnosti, izvajalcev interventnih del, javnega podjetja Komunale, Gasilske zveze in občine Sevnica. Koordinacijska skupina se je prvi teden sestajala vsak večer, nadzirala razmere in načrtovala ukrepe za prihodnje dni. Vzpostavljeno je bilo tudi takojšnje sodelovanje z ekipami na terenu, pristojnimi državnimi ustanovami in javnostjo. Če se ne bi vsi na terenu že od nedelje zjutraj trudili vzpostaviti kolikor toliko normalne razmere, bi bila škoda še večja. Po tednu dni prvih ocen so predvidevali, da bo za popolno sanacijo nastale škode in normaliziranja razmer na območju občine Sevnice, kar naj bi gotovo trajalo šest let, potrebnih kar 2,7 milijarde tolarjev. Po grobih ocenah pa še dodatni dve milijardi tolarjev. Glede na to, da ima občina Sevnica le 2,6 milijarde tolarjev proračuna, je nujno potrebna pomoč države in od drugod. V občini je bilo po končni oceni skupno 77 plazov, ki so ogrozili stanovanjske objekte, 83 plazov, ki so ogrozili cesto, 240 plazov, ki so se sprožili na kmetijskih površinah, 148 obvestil o poplavljenih prostorih v objektih ter 130 obvestil o poškodovanju cest in poplav na kmetijskih površinah. Zaradi poplav so bili preseljeni štirje občani in sedem zaradi plazov, ki so poškodovali stanovanjske objekte, za 11 oseb pa so v primeru potrebe zaradi velike ogroženosti njihovih hiš pripravili začasna stanovanja. Podrta sta bila dva mostova na lokalnih cestah in 15 mostov, ki vodijo do posameznih objektov. Poškodovanih je bilo še okrog 30 mostov. Težko poškodovanih je bilo 20 kilometrov lokalnih cest in številne javne poti. Vse poškodbe objektov ter plazove, ki so ogrožali ali še ogrožajo stanovanjske objekte, so si ogledale komisije za popis in ocenjevanje škode skupaj s strokovnjaki gradbene in geomehanske stroke. Popisi škode so na območju občine Sevnica potekali vse do nedelje, 28. avgusta. Po petih dneh od neurja je z veliko prizadevnostjo mnogim izvajalcem in posameznikom uspelo vzpostaviti prevoznost skoraj vseh cest v občini, odpravile so se najhujše posledice plazov na stanovanjskih objektih.

Spodaj sem malce bolj pregledno pripravil nekaj zanimivih podatkov v preglednicah.

Preglednica 3: Število prijav škode po neurju

OKVIRNA RAZDELITEV PO PRIJAVI	22. 08.	23. 08.	24. 08.	25.08.	Stanje 29.08.
Plazovi, ki ogrožajo hiše	39	21	17	4	85
Plazovi, ki ogrožajo ceste	21	30	32	5	89
Plazovi na kmetijskih površinah	71	75	94	8	281
Poplave v stanovanjskih in poslovnih objektih	74	46	28	25	225
Poškodovanja cest	26	18	20	3	70
Poplave na kmetijskih površinah	23	19	23	7	74
SKUPAJ	254	209	214	52	824

Preglednica 4: Neprevoznost cest

22.08.2005	23.08.2005
LC Radna – Lukovec	LC Radna – Lukovec
LC Blanca – Poklek	LC Blanca – Poklek (podrt most)
LC Žigriški vrh – Čanje (podrt most)	LC Žigriški vrh – Čanje (podrt most)
LC Križišče – Hince	Manjše število krajevnih poti
Nekatere krajevne ceste	Neprevozni mostovi do posameznih hiš za Sevnično
Onemogočeni dostopi z vozili do hiš za Sevnično	

Preglednica 5: Seznam poškodovanih in podrtih mostov v krajevni skupnosti Sevnica in drugod, z dne 24.08.2005

Z. ŠT.	VODOTOK	LOKACIJA	OPOMBE
1	SEVNIČINA	pri STOPARD Jožica	Porušen
2		pri PAJKU	Porušen
3		PECELJ – HORJAK	Porušen
4		Pri MESAR Andreju	Porušen
5		Pri GOLOB – LESKOVŠEK	Poškodovan
6		Pri POVODNIK	Porušen
7		AVGUŠTIN	Porušen
8		KOPITARNIŠKI	Poškodovan
9		Pešpot pod ŽP – Šmarje	Poškodovan
10	MLINŠČICA	ŠTEBLAJ	Poškodovan
11		OSOVNIKAR	Poškodovan
12	Potok po JP ČRETE	JP ČRETE	Poškodovan
13	Potok pod Pačnikom	R 3 Sevnica- Breg	Poškodovan
14	Potok pod Tuhtarjem	R 3 Sevnica- Breg	Poškodovan
15	Potok pod Droždan	R 3 Sevnica- Breg	Poškodovan
16	Legojški graben	JP Orehovo –Legoje	Poškodovan
17	Drožanjski potok	Most TABAKOVIČ	Poškodovan
18		Pri ŠEŠKO	Poškodovan
19		Brv – pešpot na pokopališče	Porušen
20		Stara KLAVNICA	Poškodovan
21		K OPEKARNI – GORIČAN	Porušen
22	Florjanski potok	Kanal od Kragl do Kovačič	Premajhen
23		Most pri TOMŠIČU	Poškodovan
24	Vranjski potok	Pri KRAGL Božo	Poškodovan
25		Od KRAGL – Lonč. Dol	Poškodovan
26		Most pri GANCU	Poškodovan
27		Nasproti trg. AJDA	Poškodovan
28		V Lonč. Dolu pri RADEJ 1+2	Porušen

29		Most za Žigrski vrh	Poškodovan
30		Most Marof 1 + 2	Poškodovan
31.	Sevnična	Most proti Strajnarju v KS Zab.	Poškodovan
32.	Drugi vodotoki	Zgonec Franc, Breg, KS Loka	Porušen
33.		Kukovičič, Poklek, KS Blanca	Poškodovan
34.		Blatnik, Log 21, KS Boštanj	Porušen
35.	Sevnična	Ocvirk, M. Planina, KS Zab.	Porušen
36.	Drugo vodotoki	Krnc, Žurkov dol	Poškodovan

Preglednica 6: Dokončni popis škode (popisi občinskih komisij) v evrih

3.1.1.1 Področje	Ocena škode
Interventni ukrepi na plazovih, ki ogrožajo hiše	302.692,46
Skupaj	302.692,46
Poplave na kmetijskih površinah	242.879,54
Plazovi na kmetijskih površinah	2.718.711,90
Skupaj	2.961.591,45
Objekti	671.938,81
Osnovna in obratna sredstva	485.440,96
Porušeni objekti	58.825,49
Skupaj	1.216.205,25
Lokalne ceste I. sektorja	2.104.833,83
Lokalne ceste II. sektorja	2.161.787,47
Skupaj	4.266.621,30
Javne poti KS Blanca	29.908,32
Javne poti KS Boštanj	432.038,33
Javne poti KS Loka	96.790,04
Javne poti KS Primož	352.958,19
Javne poti KS Sevnica	679.660,81
Javne poti KS Studenec	4.956,98

Javne poti KS Šentjanž	136.731,97
Javne poti KS Tržišče	261.670,21
Javne poti KS Zabukovje	118.849,32
3.1.1.2 Skupaj	2.382.739,06
Gozdne ceste krajev. enota Sevnica	219.580,42
Gozdne ceste krajev. enota Mokronog	75.880,49
Skupaj	295.460,91
Škoda na objektih JP Komunala	106.051,58
Skupaj	106.051,58
Dovozi, poljske, gozdne poti, kom.vodi v zasebni lasti	300.095,81
Skupaj	300.095,81
SKUPAJ	11.831.457,81

Še nekaj slikovnega materiala:



Slika 18: Začetek Florjanske ulice dne 21.08.2005 (občina Sevnica – g. Joško Žvar)



Slika 19: Drožanjski potok dne 21.08.2005 (občina Sevnica – g. Joško Žvar)



Slika 20: Sevnica pri križišču za Planino (občina Sevnica – g. Joško Žvar)



Slika 21: Pri Tuhtarju 21.08.2005 ob 02.30 uri (občina Sevnica – g. Joško Žvar)



Slika 22: Stanovanjska hiša Divjak – Orešje 7 – stanje 23.08.2005 (občina Sevnica – g. Joško Žvar)



Slika 23: Izdelava novega mostu čez potok Blanščica na LC Blanca – Poklek (občina Sevnica – g. Joško Žvar)



Slika 24: Sanacija zemeljskega plazu na LC Dol – Zabukovje; pod cerkvijo Sv.Lenarta (občina Sevnica – g. Joško Žvar)



Slika 25: Sanacija lokalne ceste Blanca - Krajna Brda (občina Sevnica – g. Joško Žvar)



Slika 26: Sanacija zemeljskega plazu pri nad stanovanjsko hišo Cesar Franc, Lončarjev Dol 30a (občina Sevnica – g. Joško Žvar)



Slika 27: Sanacija zemeljskega plazu na JP Okroglice – Lovrenc (občina Sevnica – g. Joško Žvar)



Slika 28: Plaz Zupanc – Račica pri Loki; stanje 22.08.2005 (občina Sevnica – g. Joško Žvar)



Slika 29: Sanirani plaz Zupanc Majde, Račica 39, Loka (občina Sevnica – g. Joško Žvar)



Slika 30: Zemeljski plaz nad gospodarskim objektom Radič Avgust, Florjanska (občina Sevnica – g. Joško Žvar)



Slika 31: Sanirani zemeljski plaz Radič Avgust, Florjanska (občina Sevnica – g. Joško Žvar)



Slika 32: Sanacija zemeljskega plazu nad gospodarskim objektom Avgusta Radiča (občina Sevnica – g. Joško Žvar)



Slika 33: Porušen most na LC Blanca – Poklek (občina Sevnica – g. Joško Žvar)



Slika 34: Oglad geologov na plazu Popelar – Horjak (občina Sevnica – g. Joško Žvar)



Slika 35: Porušeni most do stanovanjskih hiš Popelar, Horjak (občina Sevnica – g. Joško Žvar)



Slika 36: Za gospodarskim poslopjem Popelar; plaz je na hribu za gospodarskim poslopjem (občina Sevnica – g. Joško Žvar)

Na kratko bom še predstavil, kako ukrepajo oziroma kakšne ukrepe so sprejeli v občini Sevnica v primeru nevarnosti zemeljskih plazov po dogodkih, ki so se zgodili avgusta 2005. Izvleček z ocenami ogroženosti za posamezne nesreče in ukrepi reševanja, za občino Sevnica je sprejel župan Kristijan Janc, dne 09.12.2005. Najprej bom predstavil potek in možni obseg nesreče.

3.1 Potek in možni obseg nesreče

Plazovi prizadenejo posamezna gospodinjstva in gospodarske objekte v primestnih predelih Sevnice, pri čemer so praviloma vedno ogroženi tudi stanovalci v ogroženih objektih, domače živali ter lastnina. Nikoli ni ogroženo večje območje ali večje število objektov hkrati. Gre za posamezne zemeljske plazove manjšega obsega, ki se pričnejo počasi premikati. Lahko so prizadete ali ogrožene tudi nekatere cestne komunikacije.

V primeru hitrega poteka naravne nesreče in nevarnosti velikega obsega le-te, se organizirajo naslednji preventivni ukrepi:

- obveščanje (zbiranje podatkov o velikosti in obsegu nesreče, obveščanje organov in organizacij, ki vodijo in izvajajo zaščito in reševanje v primeru nesreče, obveščanje prebivalstva, poročanje),
- opozarjanje (priprava opozoril in navodil o ravnanju ob nesreči, posredovanje opozoril),
- alarmiranje (alarmiranje, izdajanje navodil za izvajanje zaščitnih ukrepov),
- zavarovanje lokacije ali območja (fizično in tehnično zavarovanje lokacije ali območja nesreče, preprečitev dostopa nepooblaščenim osebam in sredstvom),

- zavarovanje infrastrukturnih naprav in napeljav (izklop vodovodnih, plinskih, električnih ter ogrevalnih instalacij in naprav, umik ali drugačno zavarovanje naprav in napeljav z nevarnimi in eksplozivnimi snovmi),
- umik ljudi, živali in premoženja (izvedba umika na varno lokacijo po določbi vodje intervencije).
- preventivni gradbeno-tehnični posegi (sproti odvoz zemljin plazov, drugi preventivni ukrepi po navodilih strokovnjakov),
- urejanje prometa (spremljanje ogroženosti prometnih komunikacij, izdajanje navodil in obvestil o ogroženosti in prevoznosti prometnih komunikacij, zavarovanje neprevoznih odsekov in označitev obvozov),
- posebni preventivni tehnični ukrepi (vstop v stanovanje, porušitve objekta),
- spremljanje dinamike plazenja (uvedba dežurne službe za spremljanje dinamike plazov, spremljanje hitrosti premikov in obsega gibanja plazov).

3.2 Ogroženi prebivalci, živali, premoženje in kulturna dediščina

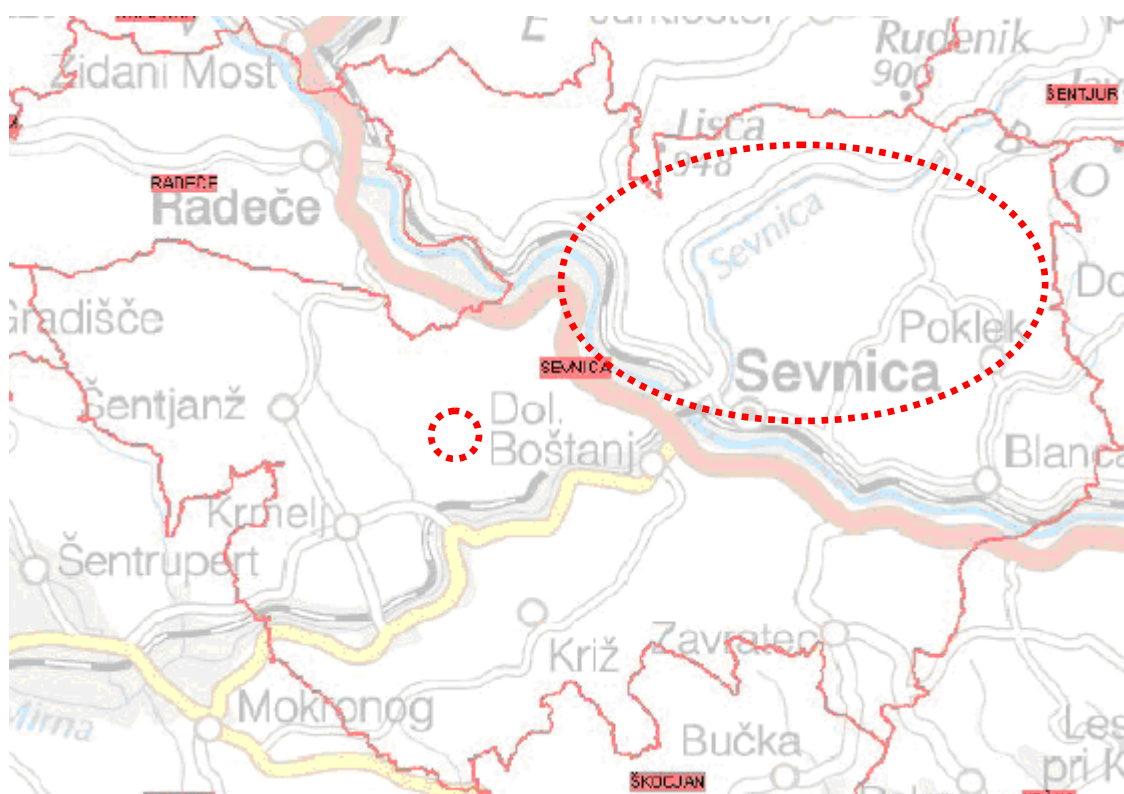
Na območju občine Sevnice so evidentirani večji zemeljski plazovi. Pretekli dogodki nam sporočajo oziroma se je izkazalo, da te nevarnosti ne smemo podcenjevati, saj struktura tal in človekovi posegi v okolje (ceste, krčevine – poseg gozda) ob izdatnejših in dolgotrajnejših padavinah lahko povzročijo manjše in večje plazove. Plazovi ogrožajo zlasti ceste, kmetijske površine in tudi bivalne ter gospodarske objekte v hribovitejših predelih občine Sevnice (Pokojnik, Krakovo, Podgorje, Podvrh, Trnovec, Poklek nad Blanco, Marof, Žabjek, Metni Vrh, Okič, Arto, Ledina) in ob cestah Trebnje - Sevnica in Sevnica - Planina.

3.3 Verjetne posledice nesreče, verjetnost nastanka verižne nesreče

Pogosto se zgodi, da zemeljski plazovi sprožijo verižno reakcijo in za seboj potegnejo še cel kup drugih nesreč in motenj. Te nesreče in motnje pa so sledeče:

- izpad telefonskih komunikacij,
- poškodbe električnih napeljav in omrežja,
- poškodbe vodovodnega omrežja,
- prometne nesreče in naleti vozil na nezavarovanih odsekih,
- motnje v cestnem in železniškem prometu,
- eksplozije zaradi nepravčasno odstranjenih ali evakuiranih virov (cisterne goriv, plina, peči ipd.) in zaradi mehanskih poškodb in deformacij virov eksplozij;

V občini Sevnica so zato določili mesta povečane ogroženosti, kar pa še ne pomeni, da je v nevarnosti tudi prebivalstvo. Za nevarnost, ki grozi človeškemu življenju, je treba izdelati karte tveganja.



Legenda:

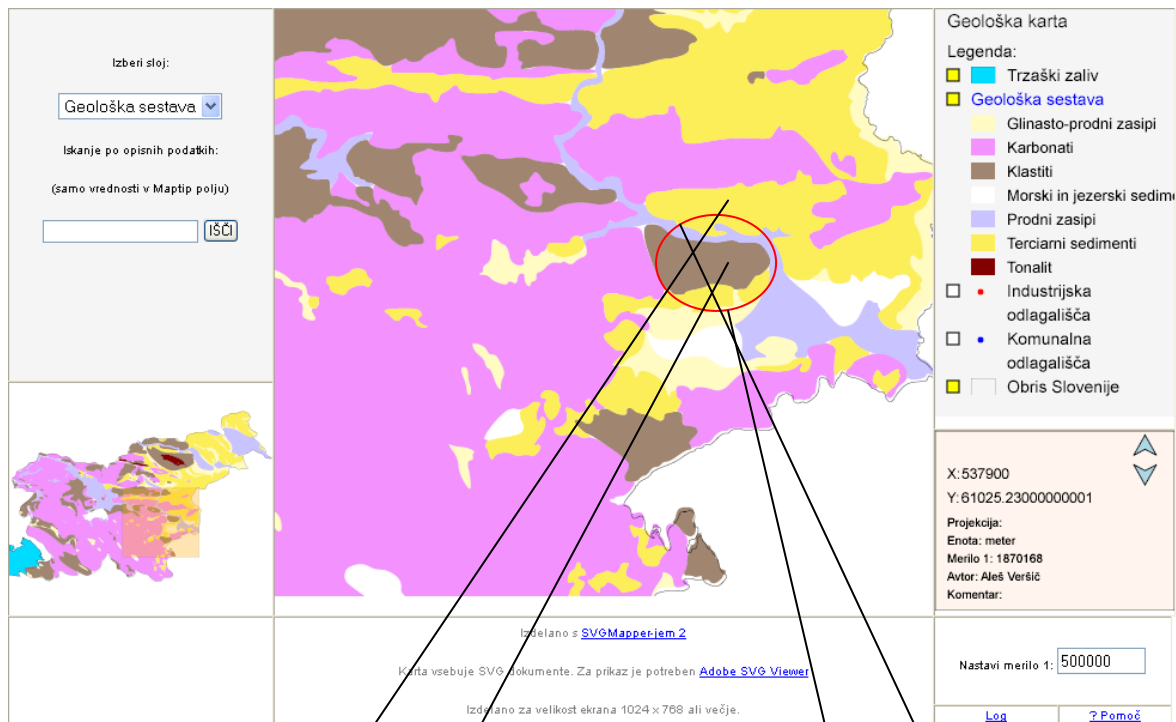
..... Mesto povečane ogroženosti

Slika 37: Prikaz ogroženega področja v občini Sevnica

Takrat je voda tudi odnesla most, ki je povezoval domačiji Popelar in Horjak, tako da jim je bil dostop na drugi breg reke Sevnične onemogočen. Plaz pa še zmeraj ogroža domačijo Popelar in njihova gospodarska poslopja.

Taka nesreča pa tudi vpliva na samo psihološko trdnost človeka. Po besedah ogroženih je to huda stiska, biti ujet med naraslo Sevnično, ki pred seboj vse pometa, in plazom, ki hrumi proti tvojemu bivališču. Takšna naravna nesreča je velika preizkušnja za samega človeka, tako da bi bilo pametno v takih primerih ljudi že prej obvestiti, naj se pripravijo na predčasno evakuacijo, saj bi se s tem lahko izognili nepotrebni paniki in strahu za življenje.

4 GEOLOGIJA TAL, DRSINE



Ime	Terciarni sedimenti
Opis	Zbiti peski, meljevci, glinovci, laporji - slabo litificirani
Povrsina_v_m2	28178674.000

Ime	Prodni zasipi
Opis	Prodi različne sestave. Savski in dravski prodi imajo pogosto velike samice, manjše reke pa odlagajo med prodnimi plastmi tudi plasti peska (GP, GW)
Povrsina_v_m2	197798736.00

Ime	Klastiti
Opis	Različne klastične kamnine: pesčenjaki, laporji, skrilavci in njihove metamorfne različice, gnajsi in blestniki; andezitske, kratofirske in tufske kamnine
Povrsina_v_m2	69799008.000

Ime	Glinasto-prodni zasipi
Opis	Glinasti, meljni in pesčeni prodi, peski, melji in gline GC, GM, CI, CI, MI, ML, SM, SC)
Povrsina_v_m2	83878368.000

Slika 38: Geološka struktura na območju občine Sevnica (spletne strani Agencije Republike Slovenije za okolje in prostor – eionet)

4.1 Globalna stabilnost terena

Ker na samem območju plazu ni bilo narejenega nobenega hidrološko-geotehničnega poročila, sva se s somentorjem odločila, da se globalne stabilnosti terena sploh ne preverja. Ker je na tem terenu po večini lapor, kritična drsina ni globlja kot 1m, tako da zabite tirnice 1,5 m v podlago zadostujejo za stabilnost terena in delno stabilizirajo tudi samo skalnato zložbo.

Kadar pa še vedno obstaja nevarnost zdrsa po kakšni globlji drsini, ki bi odnesla celotno kamnito zložbo, moramo izračunati globalno stabilnost terena in preveriti, kje bi se nam pojavila kritična drsina, in nato ukrepati, če bi se pojavila v nezaželenem območju. Primerna metoda za preverjanje globalne stabilnosti terena je lamelna metoda. Najprej se odločimo, kateri drsini bomo preverili varnostni faktor. Nato teren razdelimo na več manjših lamel in začnemo z izračuni po posameznih lamelah. Pri prvi lameli poznamo robne pogoje in tako brez večjih težav izračunamo vpliv na naslednjo lamelo in tako nadaljujemo izračun do zadnje lamele. Na koncu preverimo varnostni faktor F s strižnim odporom zemljine in s povzročenim strižnim vplivom zemljine nad drsino. Če je dosežen faktor varnosti F večji od 1, je drsina stabilna. Potem moramo ta postopek ponoviti še za ostale drsine. Ker je stvar precej zamudna, se poslužujemo računalniških programov za izračun kritične drsine. Program nam izračuna kritično drsino, njeno lego in njen varnostni faktor. Če je njen varnostni faktor F večji od 1, je drsina stabilna in ni nevarnosti zdrsa. Če je varnostni faktor F enak 1, potem je to kritična drsina, ki se ob najmanjših spremembah poruši in moramo ukrepati ter z različnimi ukrepi povečati varnost drsine. Kadar pa je varnostni faktor F manjši od 1, pa drsina nima nobene možnosti, da bi obstala, in se takoj poruši.

Ukrepi, ki jih lahko izvedemo, so naslednji. Zemljino se zdrenira, da se izognemo nepotrebnemu poremu tlaku, ki povzroča, da je strižna trdnost zemljine manjša zaradi vzgona, ki ga ustvarja voda v porah. Lahko tudi zamenjamo zemljino, na primer glino lahko zamenjamo s peskom, ki ima boljše karakteristične lastnosti, ali pa zemljino armiramo. V

večini primerov zgradimo podporni oz. oporni zid. Seveda pa moramo na koncu še enkrat preveriti globalno stabilnost terena.

Ponavadi zahtevamo varnostni faktor F okoli 1,5, in ko to dosežemo, smo ponavadi zadostili pogoju globalne stabilnosti terena, v mojem primeru pobočja.

5 SANACIJA PLAZU

5.1 Določitev prispevnega območja plazu

Za ocenitev količine vode, na katero bom kasneje dimenzioniral kanalete za odvajanje vode in prepust pod dovozno cesto do domačij Popelar in Horjak, sem po približni oceni iz kart ocenil območje na dobrih $0,1 \text{ km}^2$ za dimenzioniranje kanalet ter $0,125 \text{ km}^2$ za dimenzioniranje prepusta. Razlika v prispevnem območju nastane predvsem zaradi tega, ker sem postavil zajetja vode na vrhu plazu, pri odlomnem robu, kjer voda namaka plazino, zato da se jo ujame in se jo površinsko odvede, s tem pa prepreči prekomerno namakanje plazine. Ker pa je območje plazu veliko približno 25000 m^2 , nastane ta razlika pri prispevnem območju. Prepust pa je dimenzioniran še z varnostjo, tako da bi se lahko še kakšne tuje vode, ki bi pritekale, lahko odvedle v reko Sevnico.

5.2 Zasnova sanacije plazu

Plaz leži na težko dostopnem terenu, zato je potrebno najprej urediti dovozne poti, po katerih bo imela gradbena mehanizacija neoviran dostop. Nekaj gozdnih poti je že speljanih blizu samega območja plazu in bi bile primerne za vožnjo manjših tovornjakov (miller-kiperjev), glede na to, da tam vozijo les iz gozdov. Za primeren dostop pa se izkaže tudi že obstoječa pot do domačij Popelar in Horjak. Samo pot do telesa plazu pa bi morali še malce urediti.

Ker je na plazju še zmeraj precej vejevja in drugega odvečnega materiala, je potrebno najprej odstraniti vejevje ter drug neprimeren material, v katerem so ostanki organskih snovi, kot so korenine, grmovje, podrast ... Po odstranitvi zgornjega sloja pa sledi vgradnja samih skalnatih

zložb s peščenimi filtri in drenažnimi cevmi in drenažnim zasipnim materialom na predvidenih mestih, kjer priteka na površje podzemna voda. Najprej je treba odstraniti material, tako da je okolje primerno za vgradnjo peščenih filtrov in postavljanje skalnate zložbe. Če je potrebno, se izkop zavaruje z začasnim podpornim zidom ali z zaščitnim opažem. Pri tem naj izvajalec obvesti projektante ali pa naj sam predvidi ustrezno zaščito, ko se bo izkop že izvajal.

sledi vgradnja peščenih filtrov v debelini od 150 cm do 400 cm, in sicer v isti širini kot je predvidena skalnata zložba, ter v dolžini vsaj 500 cm. Na stiku peščenih filtrov in skalnatih zložb, se vgradi drenažne cevi DN 200, ki potekajo skozi celotno skalnato zložbo, kjer se bo voda stekala do zajetja. Od tu pa se bo površinsko odvodnjavala navzdol. Za odvodnjavanje so predvidena kanalete proizvajalca PGM Žalec in so prikazane v poglavju 7.2

Dimenzioniranje kanalet. Ker kanalete ne zadoščajo za odvodnjavanje takšne količine vode, jih je potrebno obložiti s kamenjem. Najprej izkopljemo jarek, čigar dimenzije naj bodo na mestih vgradnje kanalet večje vsaj za 50 cm, kot je predviden izgled kanala, na mestih kamnite zložbe pa naj se dimenzije kanala počasi zmanjšujejo do vrha, kjer naj bo dimenzija jarka večja za najmanj 25 cm, kot je predviden odvodni kanal. Pri vgradnji kanalet in kamnitih zložb naj se uporablja beton samo na mestih, kjer je potrebno, sicer naj se material vgradi brez betona, da lahko voda odteka in da ne prihaja do nepotrebnih pritiskov pod betonom. Ker pa se sam kanal izvede skoraj v celoti z betonom C12/15, v katerega se polaga kamenje in kanalete, se pod kanalete še dodatno vgradi drenažna cev DN 120, ki leži na gumijastem traku. Ta cev služi še dodatnemu odvajanju in zmanjševanju nepotrebnih hidravličnih pritiskov na kanal. Kamnito oblogo kanala naj se položi v beton, fuge pa zalije s trdno cementno malto, odporno na erodiranje.

Pri vgradnji prepusta je potrebna izredna pozornost na stikih na začetku prepusta, kjer se priklopijo dovodni kanali oz. odvodni kanal, ki odvaja vodo z območja plazu in na koncu prepusta, kjer voda odteka. Če so stiki izvedeni slabo oz. površno, pride do izpiranja materiala zaradi prodiranja vode v luknje in s časom do velikih lukenj in prepust ne služi več svoji funkciji. Da se prepreči ta nezaželeni učinek, se naredi pred prepustom betonska krila. Pred prepustom se ne naredi nobenega umirjevalnika ali zajetja vode, da ne pride do odlaganja naplavin in materiala, ki nato ostaja v tem zajetju in preprečuje normalno odvodnjavanje. Skozi prepust se poskuša odvajati ves material, ki ga prinese voda, po kanalu. Da poskusimo doseči ta učinek, se naklon kanala pred prepustom ne sme zmanjšati, ampak ostane najmanj

enak najmanjšemu naklonu trase, to je 8,8%. Zaradi varnosti se odločimo, da naj bo naklon prepusta vsaj 10%, tako da se bo material lažje odvajal skozi prepust. Na koncu prepusta, kjer pa se bo voda izlivala v potok Sevnično, pa je potrebno močno utrditi in obbetonirati stik prepusta z ostalim cestnim telesom, da voda ne bo spodjedala cestnega telesa na tem kritičnem mestu. Potrebno je urediti tudi odvodni kanal v reko Sevnično. Odvodni kanal je po dimenzijah minimalno enak kanalu za odvodnjavanje vode iz plazine, lahko pa se ga prilagodi obstoječemu stanju in novemu prepustu in se ga poveča, ne sme pa se ga zmanjšati, ker se sama količina vode lahko že močno poveča pri iztoku iz prepusta, saj priteče lahko še iz drugih koncev in ni omejena samo na območje plazu.

Na koncu se teren pri skalnatih zložba izravna (nasip, izkop), na mestih odlomnih robov pa se luknje zasuje in utrdi, zbije z glinenim materialom, ki služi kot bariera, zaščita proti prodiranju površinske vode v notranjost, kjer bi lahko površinska voda namakala samo telo plazu. Površinska voda bo namočila glineni material, nato pa bo sama odtekala po površju glinenih zamaškov.

Prikaz odlomnih robov plazu in izvirov vode, ki namakajo območje plazu:



Slika 39: Odlomni rob (Foto: Jure Hafner, 17.06.2007)



Slika 40: Izvir vode (Foto: Jure Hafner, 17.06.2007)



Slika 41: Zgornji odlomni rob (Foto: Jure Hafner, 17.06.2007)



Slika 42: Odlomni rob (Foto: Jure Hafner, 17.06.2007)

6 DIMENZIONIRANJE

6.1 Izračun pretoka za dimenzioniranje odvodnega kanala

Tu sem izračunal, kakšen je bil posledični pretok vode ob padavinah avgusta 2005, izračun sem nato uporabil za dimenzioniranje prepusta in kanalet. Enačba 4 se glasi

$$Q = q \times F^\alpha, \quad \text{Enačba (4)}$$

pri čemer je:

1. Q = pretok [m^3/s]
2. q = specifični odtok za 1km^2 površine [$\text{m}^3/\text{s km}^2$]
3. F = prispevno območje [km^2]
4. α = koeficient hudourniškega značaja

Koeficient odtoka izračunam iz intenzitete padavin $i=75 \text{ l/m}^2$, merjen v časovni enoti dveh ur. Koeficient odtoka je v obeh primerih enak, tako za dimenzioniranje kanalet kot za dimenzioniranje prepusta in sem ga vzel $10,4 \text{ m}^3/\text{s km}^2$, a bi bil lahko malce manjši, kot kaže spodnji izračun, to pa zato, ker je merilna postaja na nasprotnem bregu kot sama pozicija plaz. Na mestu, kjer je merilna postaja, ni v okolici nobenega rastja, ampak je vse odprto. Na področju plaz pa je vse poraslo z drevjem oziroma je povsod gozdnat teren, tako lahko upoštevam, da nekaj padavin že zadrži samo drevje in jih vsrka, nekaj kapljic, ki se odbijejo od drevja, pa se razleti oz. razcepi v tako majhne delce, da takoj izhlapijo, tako da s to zaokrožitvijo ne bi dobil premajhnih rezultatov za dimenzioniranje vodnih zgradb, saj je to res majhna količina za cel kvadratni kilometer!

$i = 75 \text{ l}/2\text{h} \cdot \text{m}^2$; to znaša $0,075 \text{ m}^3/2\text{h} \cdot \text{m}^2$; toliko je padlo na kvadratnem metru površine, kar pomeni, da je na 1km^2 padlo $(0,075 \text{ m}^3/7200\text{s}) \cdot 1000000 \text{ m}^2$

$$q = 10,41667 \approx 10,42 \text{ m}^3/\text{s km}^2$$

Koeficient hudourniškega značaja je ravno tako konstanten v obeh primerih in znaša $\alpha = 0,75$. Tako sem za dimenzioniranje kanalet izračunal pretok $Q = 1,85 \text{ m}^3/\text{s}$, za katerega sem upošteval prispevno območje $F = 0,1 \text{ km}^2$, ko pa sem dimenzioniral prepust, pa sem izračunal

pretok $Q = 2,2 \text{ m}^3/\text{s}$, pri katerem sem upošteval prispevno območje $F = 0,125 \text{ km}^2$.

Izračun pretoka za dimenzioniranje odvodnega kanala:

$$Q = q \times F^\alpha$$

$$Q = 10,41667 (m^3 / km^2 s) \times (0,1 km^2)^{0,75}$$

$$Q = 1,85 m^3/s$$

Izračun pretoka za dimenzioniranje prepusta:

$$Q = q \times F^\alpha$$

$$Q = 10,41667 (m^3 / km^2 s) \times (0,125 km^2)^{0,75}$$

$$Q = 2,2 m^3/s$$

6.2 Dimenzioniranje kanalet

Kanalete sem dimenzioniral s pomočjo Manningove enačbe (Enačba 5), ki se glasi

$$Q = \sqrt{I_0} \times \frac{1}{n_G} \times S \times R^{2/3} = \sqrt{I_0} \times \frac{1}{n_G} \times S^{5/3} \times \frac{1}{O^{2/3}}, \quad \text{Enačba (5)}$$

Pri čemer je:

1. Q = pretok [m^3]
2. I_0 = padec kanala
3. n_G = Manningov koeficient trenja kanala [$\text{s} \cdot \text{m}^{-1/3}$]
4. S = prečni presek, katerega zavzame količina vode [m^2]

5. R = hidravlični radij, ki je definiran z enačbo $R = S/O$ [m]

6. O = omočeni obod [m]

Povprečno hitrost vodotoka določajo koeficienti

$$\sqrt{I_0} \times \left(\frac{1}{n_G} \right) \times R^{2/3} = v, \quad \text{Enačba (6)}$$

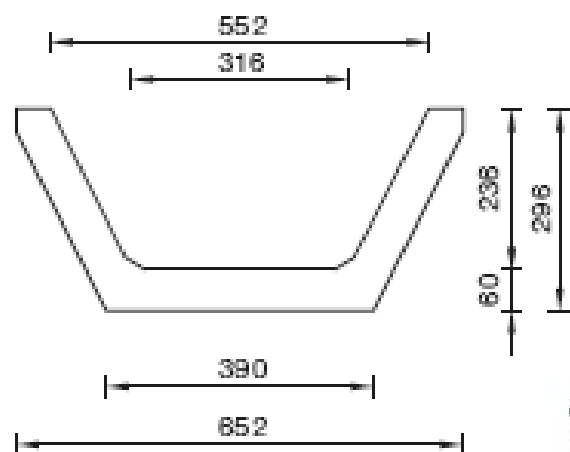
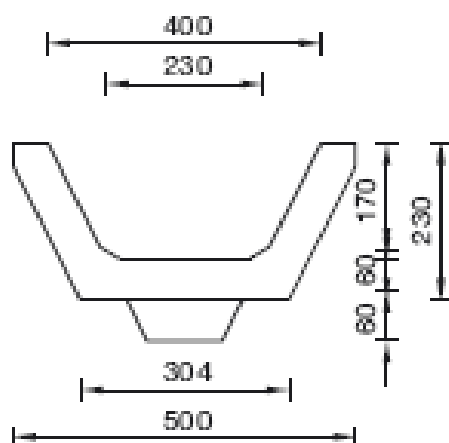
lahko pa enačbo preoblikujemo in dobimo prevodnost oz. prepustno sposobnost vodotoka, ki se glasi

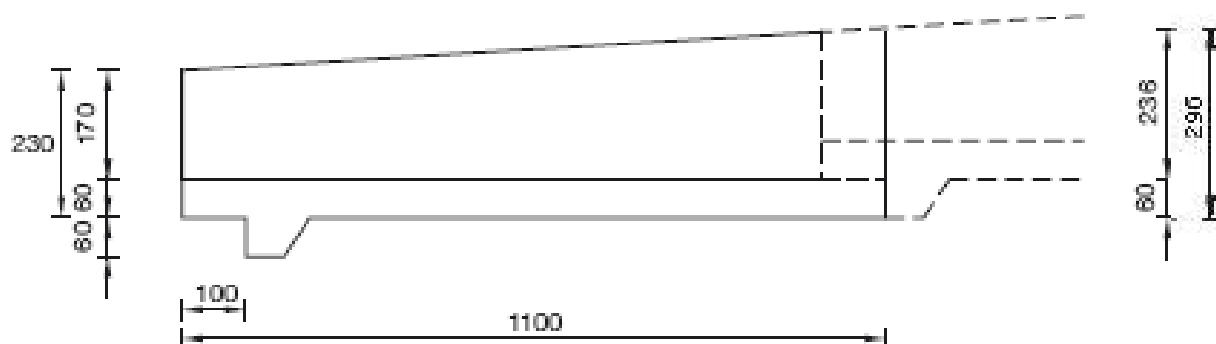
$$K = \left(\frac{1}{n_G} \right) \times S \times R^{2/3}, \quad \text{Enačba (7)}$$

Kanalete so betonske, katerih stanje je takoj po vgradnji dobro, kasneje pa se poslabša, zato sem vzela za dimenzioniranje običajno stanje kanalet, kar pomeni, da je koeficient hrapavosti $n_G = 0,015$. Voda s časom sprete oz. zerodira zgornjo plast, tako da koeficient hrapavosti s časom narašča. Zato je potrebno stalno vzdrževanje kanalet, da je njihova življenjska doba čim daljša. Če pa pride do kakršnih koli poškodb ali bi se stanje kanalet močno poslabšalo, jih je treba zamenjati.

Kanalete sem računal na najmanjši padec 8,0 %. Izbral pa sem kanaletu proizvajalca PGM Žalec, ki ima notranje dimenzije:

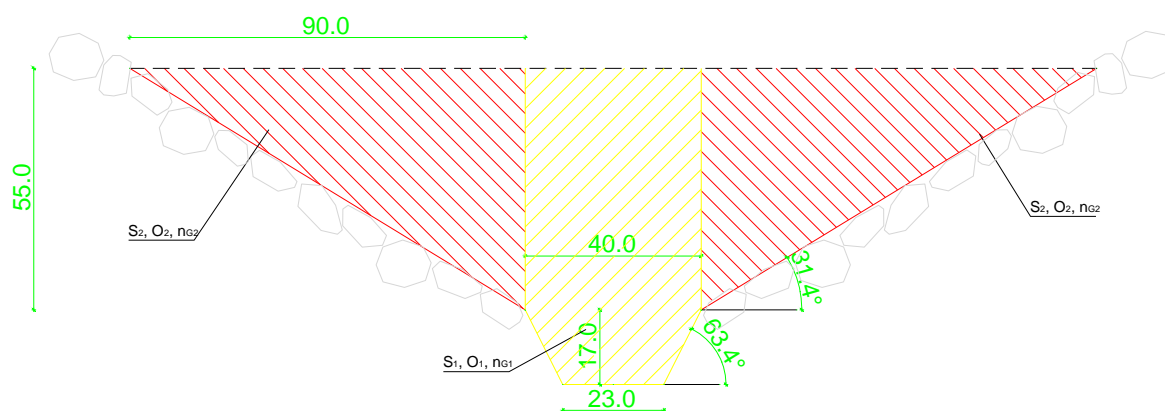
- Višina $H = 17,0$ cm
- Širina na dnu kanalete $B = 23,0$ cm
- In naklon stranic kanalete $m = 0,5$, kar znaša da je zunanji kot $\alpha = 63,45^\circ$





Slika 43: Dimenzije izbrane kanalete proizvajalca PGM Žalec

Nato sem preveril, kakšno količino vode prevaja kanaleta. Ker sama kanaleta ne zadošča za odvodnjavanje, sem presek povečal tako, da sem kanalete obložil s kamenjem, in sicer v širino 90 cm od kanalete, v višini 55 cm. Za boljšo predstavitev si oglejte spodnjo sliko.



Slika 44: Prikaz razširitve vodotoka

Ker v tem primeru voda odteka po sestavljenem prerezu, sem tudi računal pretok, ki ga lahko prevaja ta presek posebej za matico toka in za levi in desni del toka. Matica toka je na sliki 44 šrafirana z rumeno barvo, ostali tok pa z rdečo barvo. Ker je prerez sestavljen, imam tudi različna koeficienta hrupavosti n_{G1} in n_{G2} . Prav tako pa sta tudi hidravlična radija R različna. Za matico toka sem vzel omočeni obod kanalete in še višino toka med matico in stranskim

tokom. Ta del omočenega oboda sem upošteval samo pri računu pretoka matice toka, in sicer zato, ker je stranski tok počasnejši in zavira gibanje matice toka. Ko sem dobil želeni prerez odtočnega kanala, sem prerez povečal še za dodatnih 20%. To sem storil zaradi pojava vzdolžnega valovanja – oscilacije (nihajno, pulzno varovanje), vodnega skoka, zajemanja zraka. Do pojava vzdolžnega valovanja – oscilacije – pride zato, ker spodnja voda zastaja zaradi trenja med dnem kanalete in vodo, zgornja pa pridobiva na hitrosti in se kopiči, kar povzroča čelo vala. Ko val zadane ob rob kanala, se pojavi špricanje vode, kar lahko povzroči poškodbe na naravnih brežinah in kasneje tudi na posteljici kanalete.

Prikaz izračuna o dimenzioniranju odtočnega prereza:

Izbrane količine kanalete:

Manningov koeficient trenja n_G : 0,015 [$s \cdot m^{-1/3}$] (betonske kanalete – običajno stanje)

Min padec I: 8 % = 0,08

Koeficient hrapavosti k: $1/n_G = 66,6667 [m^{1/3}/s]$

Kanaleta:

Višina kanalete H: 0,17 m

Širina dna kanalete B: 0,23 m

Naklon stranic kanalete m: 0,5

Zunanji kot: $\alpha = \arctg(1/m) = 63,45^\circ$

Kamnita obloga:

Širina: 0,9 m

Višina: 0,55 m

Manningov koeficient trenja n_G : 0,065 [$s \cdot m^{-1/3}$]

Koeficient hrapavosti k: $1/n_G = 15,4 [m^{1/3}/s]$

Iz teh karakteristik kanalete in kamnite obloge izračunam omočeni obod, prečni presek in posledično hidravlični radij.

Izračun pretoka v območju kanalete:

Omočeni obod kanalete O :

$$\begin{aligned} O_{\text{kanaleta}} &= B + 2 \times H \times \sqrt{1 + m^2} \quad , & \text{Enačba (8)} \\ &= 0,23 + 2 \times 0,17 \times \sqrt{1 + 0,5^2} = 0,610132m \end{aligned}$$

Površina prereza kanalete:

$$\begin{aligned} F_{\text{kanaleta}} &= H \times \left(B + m \times H \right) \quad , & \text{Enačba (9)} \\ &= 0,17 \times \left(0,23 + 0,5 \times 0,17 \right) = 0,05355m^2 \end{aligned}$$

Povečan obod zaradi kamnite zložbe:

$$O = O_{\text{kanaleta}} + 2 \times \text{višina kamnite zložbe} = 0,610132 + 2 \times 0,55 = 1,710132m$$

Povečana površina prereza (zaradi kamnite zložbe):

$$F = F_{\text{kanaleta}} + \text{dodatek zaradi kamnite zložbe} = 0,05355 + 0,4 \times 0,55 = 0,2736m^2$$

Hidravlični radij povečanega prereza v območju kanalete:

$$R = F / O = 0,2736 / 1,710132 = 0,159958m$$

Pretok ki ga prevaja to povečan prerez v območju kanalete:

$$Q_1 = k \times R^{2/3} \times I^{1/2} \times F = 66,6667 \times 0,159958^{2/3} \times 0,08^{1/2} \times 0,2736 = 1,52m^3 / s$$

Izračun pretoka v območju razširitve:

Omočeni obod kamnite zložbe O:

$$O = \sqrt{0,9^2 + 0,55^2} = 1,05475m$$

Površina prereza v območju razširitve kanala:

$$F = 0,9 \times 0,55 \times 2 = 0,2475m^2$$

Hidravlični radij razširitve:

$$R = F / O = 0,2475 / 1,05475 = 0,23465m$$

Pretok, ki ga prevaja razširitev:

$$Q = 1/n_G \times R^{2/3} \times I^{1/2} \times F = 1/0,065 \times 0,23465^{2/3} \times 0,08^{1/2} \times 0,2475 = 0,40972m^3 / s$$

Ker imam tudi na nasprotni strani enako razširitev, se pretok zaradi tega poveča in potem znaša:

$$Q_2 = Q \times 2 = 0,40972 \times 2 = 0,81944m^3 / s$$

Na koncu nam kanal prevaja ustrezno količino vode, ki je sledeča:

$$Q_{kanala} = Q_1 + Q_2 = 1,519947 + 0,81944 = 2,339m^3 / s > 1,85m^3 / s$$

Tako sem izračunal pretok skozi matico toka in stranskega toka, vsakega posebej. Rad bi še dodal, da sicer tok matice zavzame širše območje in ga ponavadi aproksimiramo kar v smeri stranice kanalet. S tem, ko sem zmanjšal površino matice toka, sem dobil manjši delež vode, ki se hitreje giblje kot ostala voda, tako da sem na varni strani z dimenzijami korita. Nekaj

rezerve pa imam tudi pri upoštevanju večjega pretoka, kot sem ga vzel na začetku, to pa sem storil zato, ker je sama izdelava kamnitih zložb zelo odvisna od samih izvajalcev, kako samo stvar naredijo in je pri njeni izvedbi vključen človeški faktor. Če se kamenje položi korektno in se ga res oblikuje čim bolj optimalno, potem bi morala hrapavost biti ustrezna, drugače pa sem si še tu pridržal malce rezerve. Nekaj rezerve imam še zaradi nadvišanja kanala, in sicer zaradi vzdolžnega valovanja vodne gladine in zaradi valovanja v ovinkih. Predvideni potek kanalov ni ravno v premi, imam pa nekaj ovinkov, zato je smiselno imeti nadvišanje kanala. Po izračunu Froudovega števila pa se pojavi tudi zajemanje zraka.

Za kontrolo svojih izračunov pa sem uporabil še nomogram. S pomočjo nomograma sem odčital, da predviden kanal zadošča za prevajanje zahtevanega pretoka vode.

6.3 Dimenzioniranje prepusta

Ko sem dimenzioniral prepust, sem najprej določil, kakšno cev bom namestil za prepust. Izbral sem betonsko okroglo cev z dobro glazuro, za katero velja, da je koeficient hrapavosti enak $n_G = 0,013$. Za naklon oziroma padec prepusta pa sem se orientiral po terenu in ga določil 10 %. Zaželeno je, da je naklon prepusta večji, kot je minimalni naklon odvodnega kanala, in sicer zato, da se naplavine, ki jih voda prinese s seboj, odplavijo skozi prepust in se ne nabirajo pred prepustom in tako ne povzročajo nepotrebnega zastajanja vejevja, listja in drugih napolavin. S tem, ko imamo padec prepusta še zmeraj večji, kot je najmanjši padec v odvodnem kanalu, zagotovimo, da se vodni tok ne umirja, ampak ostaja enak in odplakne ves transportni material, ki ga voda prinese s seboj v dolino. Če se material pretaka po kanalu z 8,8% padcem, se bo skoraj gotovo pretakal tudi po kanalu z 10% padcem. Če pa bi pred prepustom naredili zaježitveni bazen, bi ga bilo potrebno stalno čistiti in vzdrževati ravno zaradi pojava zadrževanja vode in umirjanja vodnega toka; s tem bi se tudi pesek, ki ga voda prinese s seboj, usedal, vejevje bi zastajalo v bazenu in bi se pojavili nezaželeni učinki za moj primer. Potem sem se lotil samega dimenzioniranja prepusta. S pomočjo Manningove enačbe sem najprej izračunal, po kakšnem preseku teče takšna količina vode ($2,2 \text{ m}^3/\text{s}$). Izračun je pokazal, da moram vzeti okroglo cev s premerom vsaj $0,65 \text{ m}$ ($0,332 \text{ m}^2$). Pri tem izračunu pa sem vzel polno zapolnitev cevi, tako da nisem imel ugodnega hidravličnega radija in se voda počasneje pretaka, ker mora po celotnem obodu premagovati hrabe. Nato sem vzel cev s

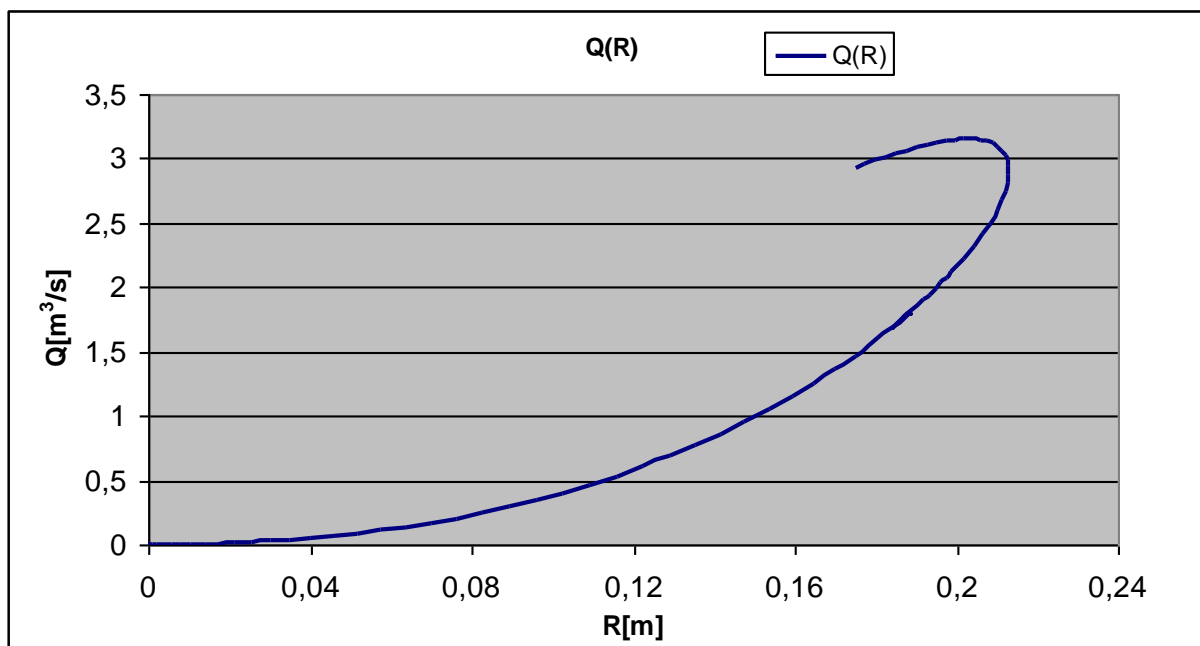
premerom 1 m. Začel sem z aproksimacijami delne zapolnitve, tako da sem dobil ustrezno površino, po kateri se pretaka voda. Določil sem še višino vode v cevi, in sicer zato, da sem lahko določil razmerje h/D , ki mora biti 0,667, če želim imeti varnosti 1/3 višine cevi!

Orientiral sem se na pretok, tako da sem pogledal, kdaj cev prevaja zahtevani pretok. Prva aproksimacija je bila: kot zapolnitve 150° in razmerje $h/D = 0,3706/1 = 0,3706$. Tako sem moral zmanjšati dimenzijo cevi na 0,7 m, ker sem želel dobiti optimalnejšo rešitev. Ponovno sem preverjal, pri kakšni zapolnitvi cevi bom dobil zahtevani pretok $Q = 2,2 \text{ m}^3/\text{s}$. Kot zapolnitve cevi je 220° , tako da je višina vode v cevi $h = 0,4697 \text{ m}$ in s tem dobim razmerje $h/D = 0,671$.

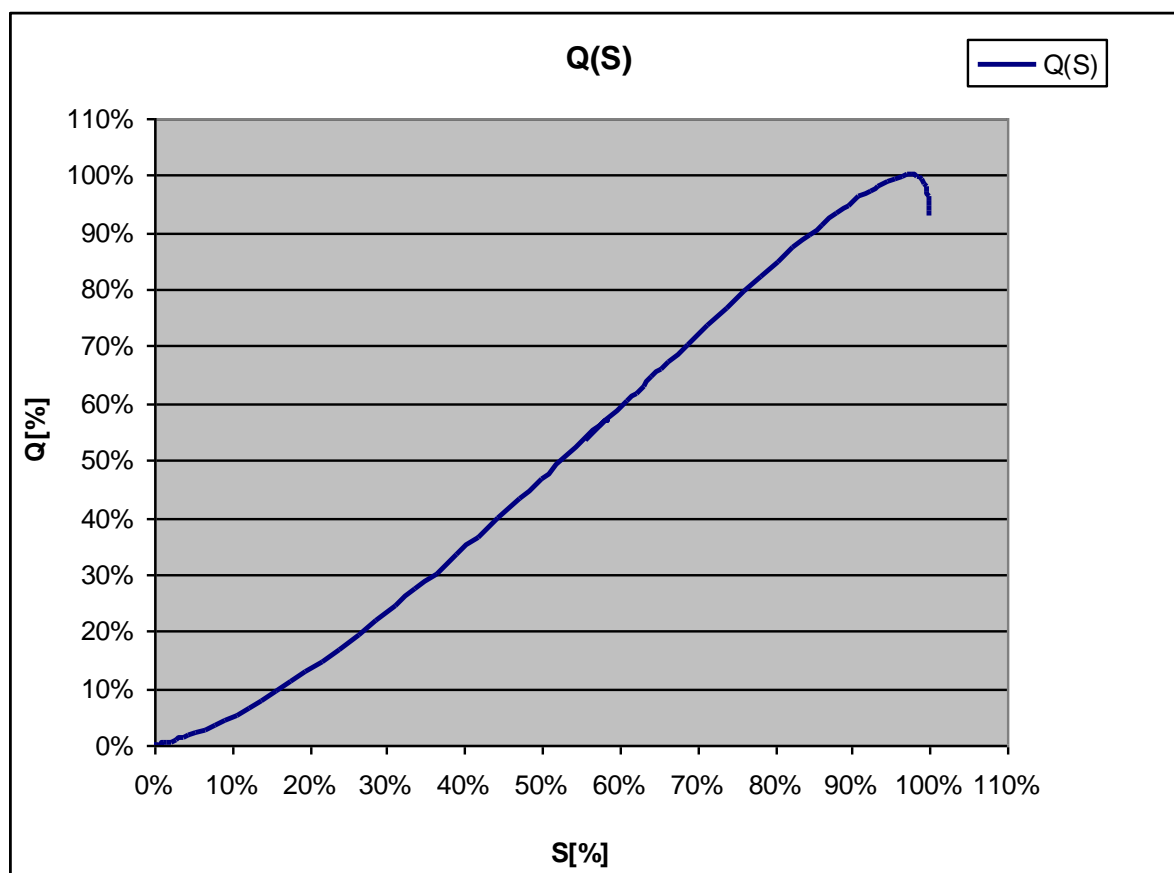
Tu sem vstavil še grafikon 4, ki prikazuje, kako sprva pretok narašča, kasneje pa začne upadati. To se zgodi predvsem zaradi hidravličnega radija, ki je razmerje med površino in omočenim obodom korita, po katerem teče voda. Pretok raste v območju, kjer prerez narašča hitreje kot pa omočeni obod in obratno; ko se omočeni obod hitro veča, se prerez ne veča sorazmerno in zaradi tega pretok začne upadati. To je predvsem zaradi hrap, ki jih mora voda premagovati po celem obodu, kar pa poslabša prevodnost cevi.

Se pravi, ko imamo najbolj ugodni hidravlični radij R , ki je razmerje prereza S in omočenega oboda O , dobimo tudi največji pretok skozi okroglo cev. Zanimivo pa je to, da ne dobimo največjega pretoka pri največjem hidravličnem radiju R , ampak pretok zatem še malce naraste, nato pa začne padati. To se zgodi predvsem zaradi tega, ker se prerez še sorazmerno poveča glede na omočeni obod. Ko pa močno prevlada povečanje omočenega oboda glede na prerez, pa začne pretok upadati.

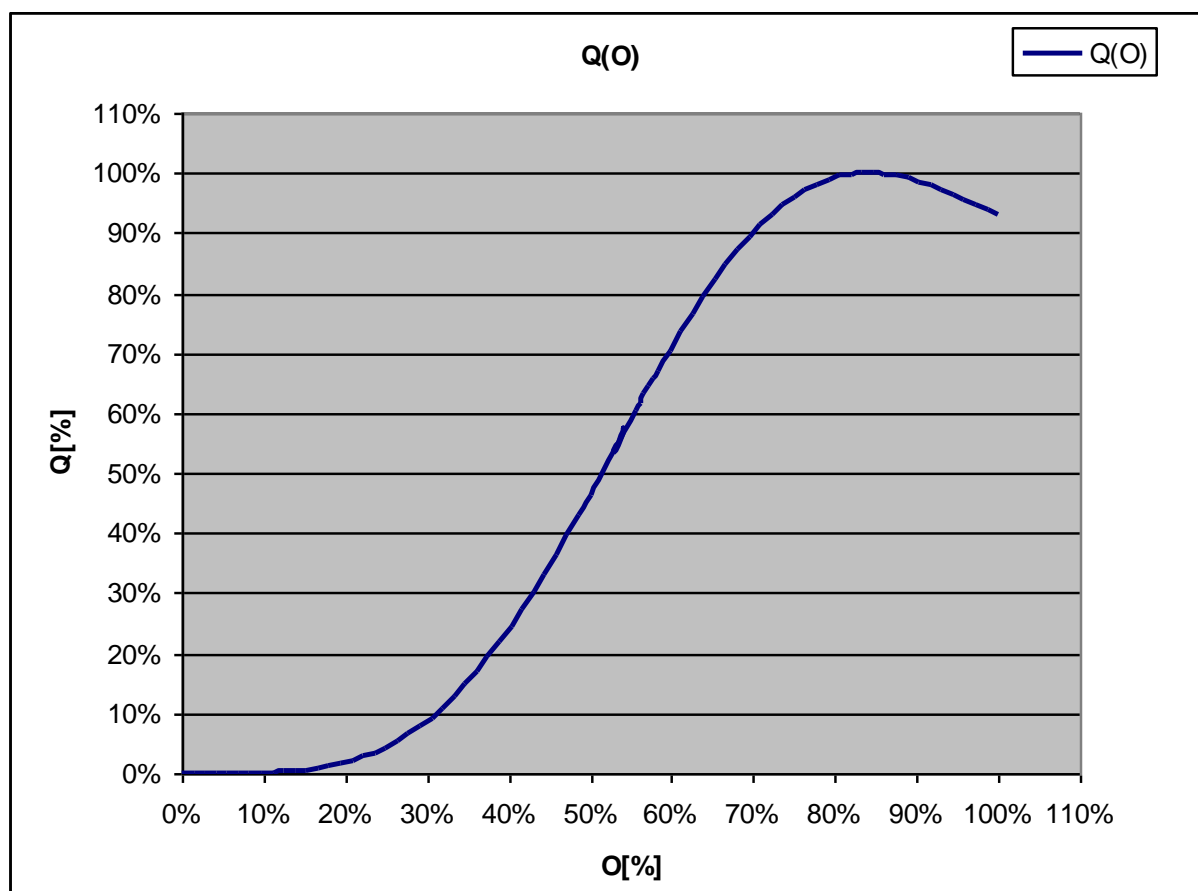
Na koncu sem se odločil, da bom vgradil prepust dimenzij DN 800, in sicer zaradi tega, da se prepust lažje čisti, v primeru, da se v prepustu ustavi kakršno koli plavje.



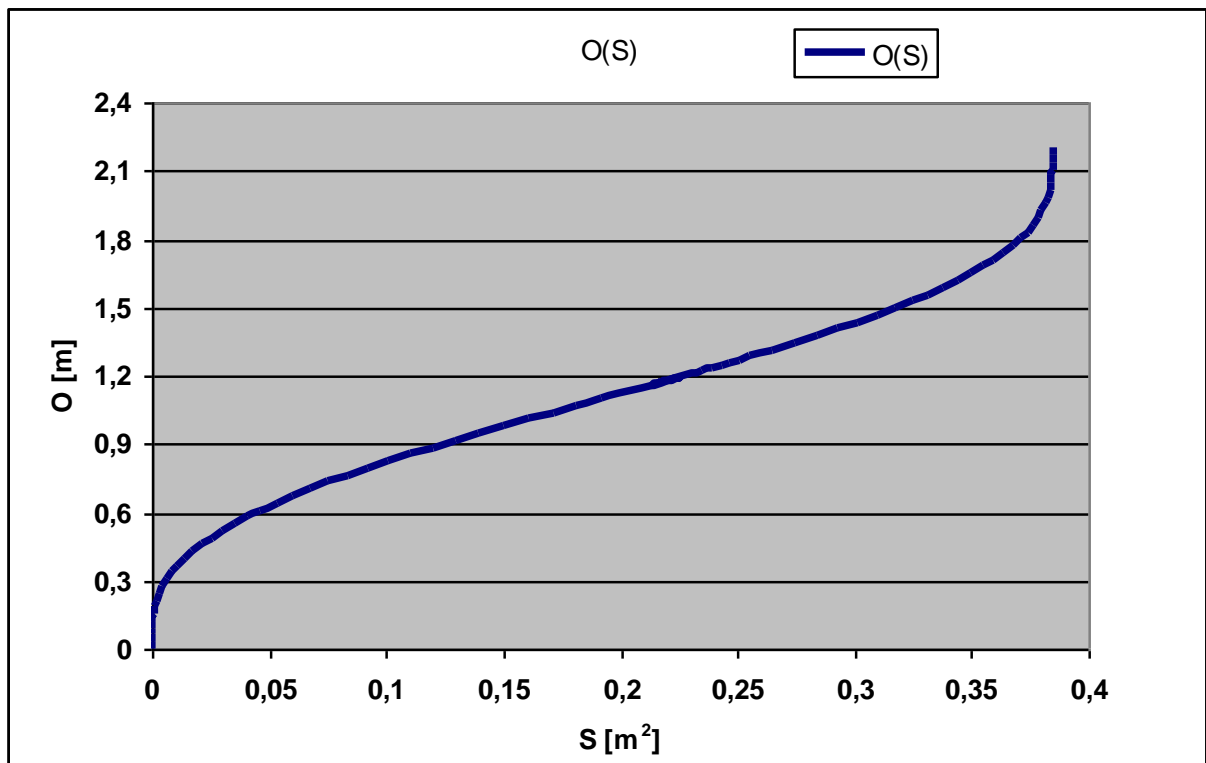
Grafikon 4: pretok v odvisnosti od hidravličnega radija; za moj konkretni primer



Grafikon 5: prikaz pretoka v odvisnosti od prereza; za okroglo cev



Grafikon 6: prikaz pretoka v odvisnosti od omočenega oboda; za okroglo cev



Grafikon 7: prikaz odvisnosti omočenega oboda v odvisnosti od prereza; za moj konkretni primer

Prikaz izračuna dimenzioniranja prepusta

Manningov koeficient trenja n_G : $0,013 [s \cdot m^{-1/3}]$ (kanalizacijska cev – dobro stanje)

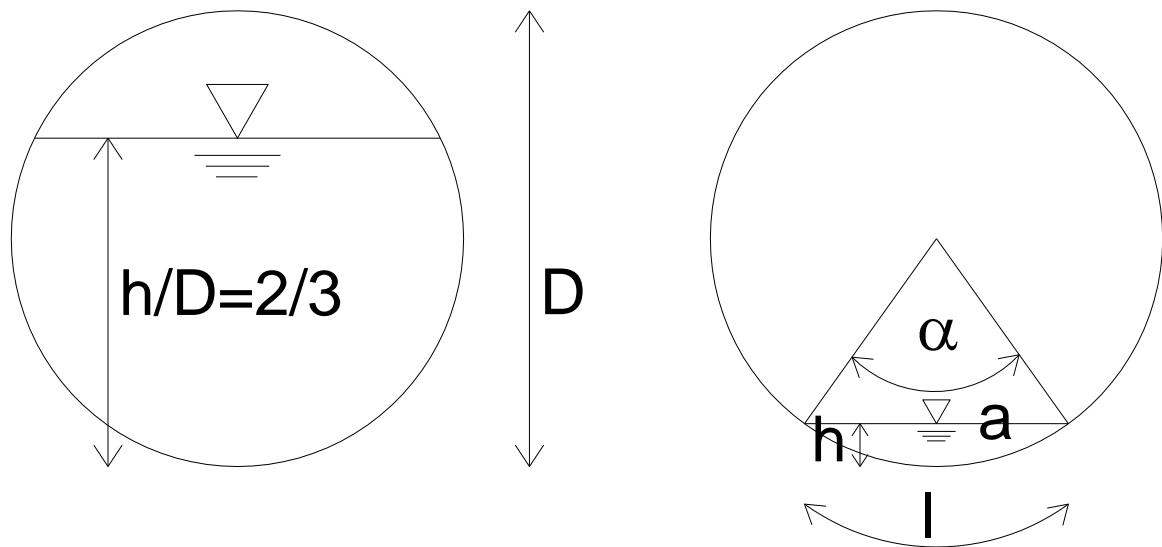
Padec I: $10\% = 0,1$

Premer prepusta D: $0,7 \text{ m}$

Razmerje višine zapolnitve cevi s premerom cevi a: nisem uporabil

$$Q = (1/n_G) \times I^{1/2} \times D^{8/3} \times \pi \times 4^{-5/3},$$

Enačba (10)



Slika 45: Prikaz zapolnitve prepusta

Potrebne enačbe za izračun zapolnitve prereza:

$$S = \left(\frac{r^2}{2}\right) \times \left(\frac{\pi \times \alpha}{180^\circ}\right) - \sin \alpha = \frac{1}{2} \times (r \times r - a \times h), \quad \text{Enačba (11)}$$

$$l = 2 \times \pi \times r \times \left(\frac{\alpha}{360^\circ}\right), \quad \text{Enačba (12)}$$

$$h = \left(\frac{\alpha}{2}\right) \times \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{4}\right) = r \times \left(1 - \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)\right), \quad \text{Enačba (13)}$$

$$a = 2 \times r \times \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) = 2 \times \sqrt{2 \times h \times r - h^2}, \quad \text{Enačba (14)}$$

Preglednica 7: Prikaz aproksimacij za zapolnitev prepusta

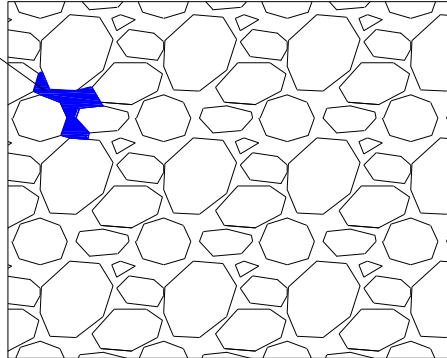
Q=Manning	S-vode v prepustu	r	alfa [°]	D-premer	a-2.enačba	l	h-2.enačba	razmerje h/D
-----------	-------------------	---	----------	----------	------------	---	------------	--------------

2,9289	0,3848	0,35	360	0,7	0,0000	2,1991	0,7000	1,0000
2,9562	0,3848	0,35	355	0,7	0,0305	2,1686	0,6997	0,9995
2,9837	0,3848	0,35	350	0,7	0,0610	2,1380	0,6987	0,9981
3,0108	0,3847	0,35	345	0,7	0,0914	2,1075	0,6970	0,9957
3,0370	0,3844	0,35	340	0,7	0,1216	2,0769	0,6947	0,9924
3,0617	0,3840	0,35	335	0,7	0,1515	2,0464	0,6917	0,9881
3,0844	0,3834	0,35	330	0,7	0,1812	2,0159	0,6881	0,9830
3,1046	0,3826	0,35	325	0,7	0,2105	1,9853	0,6838	0,9769
3,1218	0,3815	0,35	320	0,7	0,2394	1,9548	0,6789	0,9698
3,1354	0,3800	0,35	315	0,7	0,2679	1,9242	0,6734	0,9619
3,1449	0,3783	0,35	310	0,7	0,2958	1,8937	0,6672	0,9532
3,1499	0,3762	0,35	305	0,7	0,3232	1,8631	0,6605	0,9435
3,1500	0,3737	0,35	300	0,7	0,3500	1,8326	0,6531	0,9330
3,1447	0,3709	0,35	295	0,7	0,3761	1,8021	0,6452	0,9217
3,1337	0,3676	0,35	290	0,7	0,4015	1,7715	0,6367	0,9096
3,1167	0,3638	0,35	285	0,7	0,4261	1,7410	0,6277	0,8967
3,0934	0,3596	0,35	280	0,7	0,4500	1,7104	0,6181	0,8830
3,0637	0,3550	0,35	275	0,7	0,4729	1,6799	0,6080	0,8686
3,0273	0,3499	0,35	270	0,7	0,4950	1,6493	0,5975	0,8536
2,9843	0,3443	0,35	265	0,7	0,5161	1,6188	0,5865	0,8378
2,9345	0,3383	0,35	260	0,7	0,5362	1,5882	0,5750	0,8214
2,8781	0,3318	0,35	255	0,7	0,5553	1,5577	0,5631	0,8044
2,8152	0,3248	0,35	250	0,7	0,5734	1,5272	0,5508	0,7868
2,7460	0,3174	0,35	245	0,7	0,5904	1,4966	0,5381	0,7686
2,6708	0,3096	0,35	240	0,7	0,6062	1,4661	0,5250	0,7500
2,5898	0,3014	0,35	235	0,7	0,6209	1,4355	0,5116	0,7309
2,5035	0,2928	0,35	230	0,7	0,6344	1,4050	0,4979	0,7113
2,4123	0,2838	0,35	225	0,7	0,6467	1,3744	0,4839	0,6913
2,3166	0,2746	0,35	220	0,7	0,6578	1,3439	0,4697	0,6710
2,2171	0,2650	0,35	215	0,7	0,6676	1,3134	0,4552	0,6504
2,1144	0,2551	0,35	210	0,7	0,6761	1,2828	0,4406	0,6294
2,0725	0,2511	0,35	208	0,7	0,6792	1,2706	0,4347	0,6210
2,0302	0,2471	0,35	206	0,7	0,6821	1,2584	0,4287	0,6125
1,9876	0,2430	0,35	204	0,7	0,6847	1,2462	0,4228	0,6040
1,9447	0,2389	0,35	202	0,7	0,6871	1,2339	0,4168	0,5954
1,9015	0,2348	0,35	200	0,7	0,6894	1,2217	0,4108	0,5868

6.4 Peščeni filtri

Notranja erozija je proces, pri katerem podzemna voda – podtalnica – odnaša notranji drobn material oziroma drobne delce preperine ali kakšnega geotehničnega objekta, kot je nasip, pregrada ... skozi pore, ki se nahajajo vmes med večjimi delci!

PROSTOR MED DELCI, KJER
SE PRETAKA VODA



Slika 46: Prikaz prostora med delci, katerega lahko zapolnjuje voda

Delčke, ki jih voda prenaša, lahko odloži na mestih, kjer se njena hitrost zmanjša – v širokih porah, ko se poveča presek → kontinuitetna enačba – ali kjer so pore med delci manjše od delcev, ki jih voda prenaša. Tako voda postopoma spirala in poslabša stanje na kritičnem kontaktu med spodnjo plastjo in zgornjo plastjo, ki postane potencialna nevarnost. Ta pojav se imenuje sufozija in je nevaren v naravnih nehomogenih tleh, heterogenih tleh. Nevarnejši od sufozije pa je pojav hidravličnega loma tal zaradi hidravličnega gradienta toka podtalnice. Kritični hidravlični gradient izračunamo s pomočjo enačbe 15.

$$\Delta H / \Delta l = (\gamma_s - \gamma) \times (-n) = I_{kr} , \quad \text{Enačba (15)}$$

kjer je:

γ_s – specifična teža zemljine;

γ – specifična teža vode;

n – povprečni koeficient poroznosti

Ker se na mestu odnašanja tla razrahljajo, se pod obtežbo povzročajo dodatne deformacije, če pa proces traja dolgo ali je izredno intenziven, pa lahko povzroči porušitev. Na vseh mejah med materiali različnih granulacije je priporočljivo vgraditi peščene filtre. Tako sem tudi sam predvidel vgradnjo peščenih filtrov. Filtre bom vgradil povsod tam, kjer imam skalnate zložbe

in zajetja vode. To bom storil zato, da bo voda postopoma pridobivala na hitrosti, drugače bi se pojavila nevarnost spiranja. Ko bi voda pritekla na dan, bi na koncu imela že veliko hitrost in bi brez večjih težav najprej spirala najmanjše delce, nato malce večje, in ko bi nastopilo močno deževje, bi prav lahko prišlo do pojava potencialne nevarnosti glede porušitve skalnatih zložb.

Tako je na vseh mejah med različnimi granulacijami materiala priporočljivo vgraditi peščene filtre. Filtrska zaščita ni potrebna pred malo prepustnim materialom, saj sama voda izgubi moč in hitrost, ko se pretaka skozi to vrsto materiala in se ne pričakuje prenašanja delčkov iz debelo zrnatih materialov v drobno zrnate materiale. Filtri se vgrajujejo dol vodno od malo prepustnih in drobno zrnatih materialov ravno zaradi prej omenjenega znižanja vodnega potenciala.

Granulacija filtrskega sloja mora zagotavljati stabilnost proti notranji eroziji in njen koeficient enoličnosti oziroma razlika med premeri zrn ne sme biti prevelika. Da bi zaščitili drobnozrnati material pred erozijo na meji z debelozrnatim materialom, velja vgraditi filter v več slojih, katerih granulacija postopoma, zaporedno narašča. Filtrske prehodne cone so zgrajene v dveh ali treh kontroliranih slojih granulacije. Filtrska sestava sloja mora zadovoljevati naslednje pogoje:

- stabilnost pred notranjo erozijo;
- tako granulacijo, da manjše frakcije finega sloja ne more voda izpirati skozi pore debelejšega materiala;
- prepustnost debelejših frakcij naj bo desetkrat večja od prepustnosti finega sloja;
- takšno granulacijo, da material ne segregira pri vgrajevanju.

Vprašanje je, ali filter res »zadrži« erozijo! Tveganje se zmanjšuje z večanjem debeline sloja. Verjetnost, da drobni delci iz finega sloja gredo skozi debeli material in da se formirajo erozijski kanali, je odvisna od kontinuitete velikih por; te so večje, če je material večji. Če je sloj istega debelejšega materiala debelejši, manjša je verjetnost, da bi delci iz drobnega sloja prišli skozi debelejši sloj, saj na tej dolgi poti »ovire« vodi zbijajo njen vodni potencial.

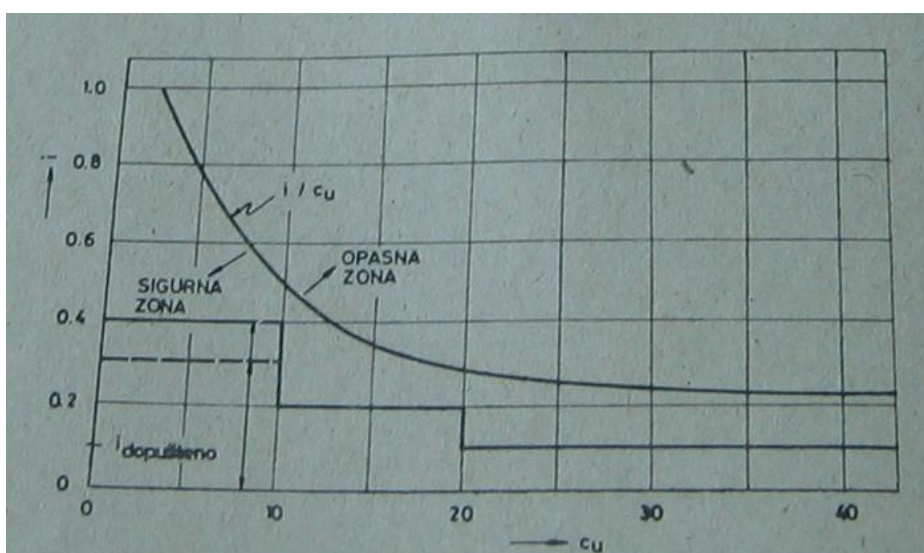
Problem napak nastane predvsem zaradi faktorja vgradnje. Praksa je pokazala, da minimalna debelina vodoravnih drenažnih slojev ne sme biti manjša od $d_{\min} = 0,5$ m. Vodoravna širina pokončnih filtrskih slojev pa ne sme biti manjša od širine vozila, ki nasipa material, a nikoli manjša od 1,5 m do 2,0 m pri bočnem raztovarjanju iz vozila.

Ugotovljeno je, da pri homogenih tleh prevladuje nevarnost hidravličnega loma tal, pri heterogenih tleh pa sufozija. Naravne zemljine so praviloma heterogene in imajo granulacijske linije. Zato je koeficient neenakomernosti $c_u = D_{60}/D_{10}$, izredno pomemben parameter pri ocenitvi nevarnosti sufozije in hidravličnega loma tal. D_{60} in D_{10} je material, ki ostane na situ pri sejalni analizi pri 60 % oziroma 10 % presejanega materiala, to pomeni, da ga na tem in prejšnjih sitih ostane 40 % oziroma 90 %. To so največkrat primerni premeri zrn, v materialu, ki nam je na razpolago v bližnji okolici vgradnje. Na osnovi merjenja na vzorcih različnih granulacij, s koeficientom neenakomernosti c_u v mejah $2,3 < c_u < 39,3$, so odkrili, da pride do hidravličnega loma oz. sufozije v naslednjih mejah:

- $c_u < 10$ hidravlični lom tal
- $10 < c_u < 20$ hidravlični lom in/ali erozija delcev (možni sta obe obliki)
- $c_u > 20$ erozija in odnašanje delcev (sufozija)

Koeficientom neenakomernost c_u pa je mogoče povezati tudi s hidravličnim gradientom, tako da dobimo tudi priporočljive oz. dopustne hidravlične gradiente, kateri so:

- $c_u < 10 \rightarrow i_{dop} = 0,3 - 0,4$ hidravlični lom tal
- $10 < c_u < 20 \rightarrow i_{dop} = 0,2$ hidravlični lom in/ali erozija delcev (možni sta obe obliki)
- $c_u > 20 \rightarrow i_{dop} = 0,1$ erozija in odnašanje delcev (sufozija)



Grafikon 8: Diagram Zamarina za dopustni gradient

Na mestih filtrskih slojev iz peska in proda pa se uporabljajo tudi folije iz sintetičnih materialov – geotekstila. Proizvajajo se kot tkani tekstil v različnih debelinah. Plasti pa je mogoče spajati s termično obdelavo, mehanično ali s spenjanjem. Lahko pa se zgodi, da se geotekstil s časom zablata in potem nastane nevarnost, da je vse skupaj neprepustno; ker za tem slojem voda zastaja, se tako njen potencial samo veča!

7 DODATNI UKREPI

Kadar pa bi nastopilo deževje z večjo povratno dobo, na katero je sama stvar zdimenzionirana (pojav 150-letnih, 200-letnih in večjih voda), kanalete in prepust ne bosta mogla odvajati odvečne vode. Odvečna voda se bo na spodnjem koncu, kjer je most, kateri povezuje domačiji Popelar in Horjak, prelila čez cesto na travnik. Na sami dovozni poti pa je smiselno urediti tudi jarke za odvodnjavanje vode, tako da se čimbolje zbere odvečno vodo in jo odvesti do struge Sevnične; oz. se bo voda prelila na drugo stran ceste na travnik, kjer ne bo ogrožala ljudi.

VIRI

F. Steinman, 1999. Hidravlika. Učbenik. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 281 str.

Pemič, Mikoš, 2005. Inženirska hidrotehnika. Učbenik. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 275 str.

M. Brilly, M. Šraj, 2005. Osnove hidrologije. Učbenik. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 309 str.

E. Nonveiller, 1983. Nasute brane. Zagreb, 359 str.

Agencija Republike Slovenije za okolje, <http://www.arso.gov.si>

M. Mikoš, 2005. Vodne zgradbe. Predavanja. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

G. Keržan, 2002. Uporaba in dimenzioniranje kanalet v gradbeništvu. Diplomaska naloga. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 136 str.

M. Komac, 2005. Napoved verjetnosti pojavljanja plazov z analizo satelitskih in drugih prostorskih podatkov. Ljubljana, Geološki zavod Slovenije, 317 str.

G. Vertačnik, M. Dolinar, 2006. Ujma, številka 20, 348 str.