

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo

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



Univerzitetni program Gradbeništvo,
Hidrotehniška smer

Kandidatka:

Katarina Sirk

OCENA NEVARNOSTI SNEŽNIH PLAZOV NA ŽELEZNIŠKEM ODSEKU PODBRDO - HUDAJUŽNA

Diplomska naloga št.: 3156

Mentor:
prof. dr. Franc Steinman

Somentor:
asist. Gašper Rak

Ljubljana, 3. 5. 2011

STRAN ZA POPRAVKE

<u>STRAN Z NAPAKO</u>	<u>VRSTICA Z NAPAKO</u>	<u>NAMESTO</u>	<u>NAJ BO</u>

IZJAVA O AVTORSTVU

Skladno s 27. členom Pravilnika o diplomskem delu UL Fakultete za gradbeništvo in geodezijo,

podpisana Katarina Sirk izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom: »Ocena nevarnosti snežnih plazov na železniškem odseku Podbrdo – Hudajužna.«.

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

Noben del tega zaključnega dela ni bil uporabljen za pridobitev strokovnega naziva ali druge strokovne kvalifikacije na tej ali na drugi univerzi ali izobraževalni inštituciji.

Ljubljana,

(podpis kandidata)

IZJAVE O PREGLEDU NALOGE

Nalogo so si ogledali naslednji profesorji:

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	624.144/.146: 625.16: 627.88 (043.2)
Avtor:	Katarina Sirk
Mentor:	prof. dr. Franci Steinman
Naslov:	Ocena nevarnosti snežnih plazov na železniškem odseku Podbrdo – Hudajužna.
Obseg in oprema:	97 strani, 14 preglednic, 42 slik, 18 enačb
Ključne besede:	snežni plaz, ocena nevarnosti, karta nevarnosti, AVAL 1D

Izveček

Snežni plazovi so vrsta naravnih nesreč, ki v Sloveniji največjo nevarnost, poleg zimskim obiskovalcem gora, predstavljajo poseljenim alpskim dolinam, smučarskim objektom in infrastrukturi, ki se jim s svojo povezovalno vlogo včasih praktično ne more izogniti. Za zagotovitev varnosti pred snežnimi plazovi, predvsem preventivno, bi bilo v Sloveniji treba storiti več. Upoštevati bi bilo treba smernice iz tujine in se osredotočiti na ocenjevanje nevarnosti snežnih plazov za celotno državo in posledično na izdelavo kart plazovne nevarnosti. Primer podajanja ocene nevarnosti območja je narejen v diplomski nalogi, in sicer za železniški odsek Podbrdo – Hudajužna. Končna ocena temelji tako na razpoložljivih zgodovinskih podatkih in pričevanjih lokalnih prebivalcev, ki so zajeta v katastru snežnih plazov, kot tudi na ogledih terena in računalniških simulacijah dinamike snežnih plazov. Z računalniškimi simulacijami, narejenimi v programu AVAL 1D, smo na podlagi topografije terena določili dosege plazov ob različnih plazovnih scenarijih ter njihovo hitrost in udarno moč. S tem smo pripravili osnovo za izdelavo kart plazovne nevarnosti za obravnavano področje v prihodnosti.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 624.144/.146: 625.16: 627.88 (043.2)
Author: Katarina Sirk
Supervisor: Prof. Ph. D. Franci Steinman
Title: Avalanche hazard assessment on the railway section Podbrdo - Hudajužna
Notes: 97 pages, 14 tables, 42 figures, 18 equations
Key words: avalanche, hazard assessment, hazard map, AVAL 1D

Abstract:

In Slovenia, natural hazards due to snow avalanches represent the biggest threat to winter mountaineers, populated Alpine valleys, ski facilities and infrastructure. Roads and railways with its connecting role are a type of infrastructure which are often impossible to built outside of a hazard zone. In Slovenia avalanche safety should be provided with greater care, especially with concentrating on preventive safety measures. The avalanche hazard assessment, considering foreign guidelines, should lead to a comprehensive avalanche hazard map including the whole country. In this thesis an example of an avalanche hazard assessment was made on the railway section Podbrdo – Hudajužna. The final assessment is formed on field examinations and computer simulations of snow avalanche dynamics, as well as on avalanche cadaster, which is based on available historical information and testimonies of local residents. The length of the avalanche runout zone as well as its maximum velocity and pressure were calculated based on terrain topography with computer simulations made with a program called AVAL 1D. With this the base for a future avalanche hazard mapping has been prepared.

ZAHVALA

Za usmerjanje in vso pomoč pri nastajanju diplomskega dela se iskreno zahvaljujem mentorju prof. dr. Franciju Steinmanu in somentorju asist. Gašperju Raku.

Posebna zahvala gre avtorjem programa AVAL 1D s švicarskega inštituta za snežne plazove SLF za podelitev brezplačne licence za uporabo programa tekom nastajanja diplomske naloge. Še posebej se zahvaljujem g. Marcu Christenu za vse neprecenljive nasvete in pomoč pri uporabi programa.

Hvala g. Branetu Trojerju za vse koristne informacije in pomoč pri terenskem delu ter za vse spodbudne besede. Za pomoč se zahvaljujem tudi doc. dr. Mojci Šraj in g. Zorku Vičarju.

Ne nazadnje se najlepše zahvaljujem mami, očetu, Nejcju, babici in Mariju za vso podporo in potrpežljivost tekom vseh let študija. Hvala vsem prijateljem, ki so tako ali drugače prispevali k nastanku tega dela.

ACKNOWLEDGEMENT

I would like to express my gratitude to the authors of AVAL 1D from the Institute for Snow and Avalanche Research SLF for a complete program licence free of charge. I owe my deepest gratitude to mr. Marc Christen for all the priceless guidance and help with the use of the program.

KAZALO VSEBINE

1 UVOD	1
2 TEORETIČNA IZHODIŠČA	3
2.1 Kaj je snežni plaz?	3
2.2 Vpliv vremena na nastanek snežnih plazov	4
2.2.1 Padavine	5
2.2.2 Veter in prenos snega	6
2.3 Vpliv topografije terena na nastanek snežnih plazov	8
2.3.1 Naklon pobočja.....	8
2.3.2 Hrapavost terena in prekritost z gozdom.....	11
2.3.3 Ekspozicija površja.....	11
2.4 Vpliv temperature in prenosa toplote na nastanek snežnih plazov	12
2.5 Nastanek snežink in njihova rast v atmosferi	14
2.5.1 Rast snežink.....	14
2.5.2 Oblika snežnih padavin	14
2.6 Preobrazba snega	16
2.6.1 Drobljenje	17
2.6.2 Zrnjenje.....	17
2.6.3 Sreženje	19
2.6.4 Srenjenje	21
2.7 Fizikalne lastnosti snega	22
2.7.1 Trenje snega.....	22
2.7.2 Gostota snega.....	23
2.8 Elementi snežnega plazu	24
2.9 Klasifikacija snežnih plazov	24
2.9.1 Plazovi nesprijetega snega.....	26
2.9.2 Plazovi sprijetega snega	26
2.9.2.1 Plazovi sprijetega mokrega snega	27
2.9.2.2 Plazovi sprijetega suhega snega	27

2.10	Ukrepi za zaščito pred snežnimi plazovi	27
2.10.1	Varnostni ukrepi.....	27
2.10.1.1	Sistem namernega proženja snežnih plazov s strelno cevjo GAZ-EX.....	28
2.10.2	Varstveni ukrepi	31
2.10.2.1	Pogozdovanje	31
2.10.2.2	Snežni mostovi.....	31
2.10.2.3	Snežni plotovi	33
2.10.2.4	Jezovi	34
2.10.2.5	Galerije.....	35
2.10.3	Zakonske podlage	35
2.10.3.1	Karte nevarnosti snežnih plazov v tujini.....	36
2.10.3.2	Karte nevarnosti snežnih plazov v Sloveniji.....	38
2.11	Nevarnost snežnih plazov v Sloveniji	39
2.11.1	Temeljni viri za preučevanje nevarnosti snežnih plazov v Sloveniji.....	40
2.11.2	Izvedeni ukrepi za zaščito pred snežnimi plazovi v Sloveniji	43
2.11.2.1	Protilavinski ukrepi na avtocestnem odseku Hrušica – Vrba	43
2.11.2.2	Sistem namernega proženja snežnih plazov na smučišču Kanin	44
2.12	Osnovne enačbe za izračun dinamike snežnih plazov	45
2.12.1	Voellmy–Salmov model	46
2.12.1.1	Enačbe za določitev maksimalne hitrosti plazu	46
2.12.1.2	Enačbe za določitev dosega plazu.....	49
2.12.1.3	Enačbe za določitev pritiska plazov	49
2.13	Modeli za simulacijo dinamike snežnih plazov	52
2.13.1	Programska oprema AVAL 1D.....	53
2.13.1.1	Struktura programa AVAL 1D	53
2.13.1.2	Vhodni podatki.....	55
3	ŽELEZNIŠKI ODSEK PODBRDO – HUDAJUŽNA NA ŽELEZNIŠKI PROGI JESENICE – SEŽANA	58
3.1	Geografske značilnosti področja.....	59
3.1.1	Podnebne značilnosti Baške grape	59

3.1.2 Značilnosti terena	60
3.2 Obremenitev železniškega odseka.....	62
3.3 Ocena nevarnosti obravnavanega železniškega odseka in do sedaj izvedeni ukrepi .	67
4 SIMULACIJE DINAMIKE SNEŽNIH PLAZOV S PROGRAMOM AVAL 1D	72
4.1 Priprava vhodnih podatkov.....	72
4.1.1 Določitev topografije terena	72
4.1.2 Določitev začetne višine snega.....	75
4.1.3. Izbira gostote snega	80
4.1.4 Izbira koeficienta kinetičnega in turbulentnega trenja	80
4.2 Plazovni scenariji.....	80
4.3 Predpostavke o nevarnosti proženja plazov in ogroženosti železnice.....	81
5 ANALIZA REZULTATOV IZ PROGRAMA AVAL 1D IN OCENA NEVARNOSTI OBMOČJA.....	83
5.1 Analiza rezultatov programa AVAL 1D	84
5.2 Končna ocena nevarnosti območja	87
5.3 Prikaz izdelave karte nevarnosti.....	88
6 ZAKLJUČEK.....	90
VIRI	92

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1:	Mednarodna klasifikacija snežnih kristalov.....	16
Preglednica 2:	Gostota različnih vrst snega.	23
Preglednica 3:	Delitev snežnih plazov.	25
Preglednica 4:	Prikaz odvisnosti faktorja lezenja od gostote snega.....	33
Preglednica 5:	Faktor zdrsa hrapavih in gladkih površin.....	33
Preglednica 6:	Koeficienti naklona za korigiranje osnovne višine snega.	57
Preglednica 7:	Statistka Slovenskih železnic za potniške vlake regionalnih prog za obdobje med letoma 1995 – 2009	63
Preglednica 8:	Statistka Slovenskih železnic za tovorniške vlake regionalnih prog za obdobje med letoma 1995 – 2009	63
Preglednica 9:	Prikaz povprečnega dnevnega števila potniških vlakov na dvajsetih najpomembnejših odsekih regionalnih prog v Sloveniji.....	64
Preglednica 10:	Prikaz povprečnega dnevnega števila tovornih vlakov na dvajsetih najpomembnejših odsekih regionalnih prog v Sloveniji.....	65
Preglednica 11:	Ogroženost prometnic zaradi snežnih plazov v Sloveniji.....	68
Preglednica 12:	Maksimalne višine snežne odeje za postaje Podbrdo, Bukovo in Rut v odvisnosti od povratne dobe.	77
Preglednica 13:	Maksimalne tridnevne količine novozapadlega snega na postaji Podbrdo v odvisnosti od povratne dobe.	78
Preglednica 14:	Vrednosti koeficientov kinetičnega in turbulentnega trenja v odvisnosti od povratne dobe, oblike plaznice in nadmorske višine:	80

KAZALO SLIK

Slika 1: Primer velikega snežnega plazov v gibanju.	4
Slika 2: Padavine nastajajo kadar se zračne vlažne mase dvigujejo zaradi termične konvekcije, ciklona, orografskega ali frontalnega dviga.	5
Slika 3: Vpliv vetra na prenos snega.....	7
Slika 4: Opast na grebenu Storžiča v Kamniško Savinjskih Alpah.....	8
Slika 5: Prikaz odvisnosti vrste snežnih plazov od nagiba terena.	9
Slika 6: Pogostost plazov sprijetega snega v odvisnosti od nagiba pobočja.....	10
Slika 7: Pod mikroskopom slikani dendriti.....	15
Slika 8: Fotografija sneženih kristalov pod mikroskopom.	15
Slika 9: Preobrazba dendrita se v naravi zgodi v nekaj dneh.	18
Slika 10: Povezovanje manjših okroglih snežink v sprijet sloj.	18
Slika 11: Globinski srež, katerega kristali so ostrih robov in piramidaste oblike.	19
Slika 12: Površinski srež.....	20
Slika 13: Nastanek srena povzroči sonce ali dež.	21
Slika 14: Ključni elementi snežnega plazov.	24
Slika 15: Plazina sprijetega snežnega plazov.....	26
Slika 16: Prikaz proženja snežnih plazov z eksplozivom.	28
Slika 17: Strelna cev sistema GAZ EX.....	29
Slika 18: Prikaz delovanja sistema GAZ-EX.....	30
Slika 19: Kontrolno mesto v obliki kupole.....	30
Slika 20: Zasuti snežni mostovi ne morejo več preprečevati zdrsa snega.	32
Slika 21: Snežni mostovi uspešno opravljajo svojo nalogo.....	32
Slika 22: Zdrs snega proti snežnemu mostu.	32
Slika 23: Snežni plotovi prerazporejajo sneg, ki ga prenaša veter.	34
Slika 24: Lavinska galerija na železniški progi Jesenice – Bohinjska Bistrica v Soteski.	35
Slika 25: Na primeru izrisana območja nevarnosti.	38
Slika 26: Snežni plazovi iz lavinskega katastra za Slovenijo.	41
Slika 27: Snežni plazovi iz lavinskega katastra za Slovenijo na območju Julijskih Alp.....	42
Slika 28: Štiri plazne drče na pobočju Mežakle, na katerih je bila izvedena protiplazovna zaščita.	44

Slika 29: Sistem Prestreljenik zgoraj.....	45
Slika 30: Sistem Prevala pod Prestreljeniškim vršičem.	45
Slika 31: Del železniške proge Jesenice – Sežana med Bohinjsko Bistrico in Bačo pri Modreju, na katerem se nahaja obravnavani odsek Podbrdo – Hudajužna.	58
Slika 32: Prikaz povprečnih letnih temperatur zraka v Sloveniji za obdobje med leti 1971 in 2000.....	59
Slika 33: Primer delno zaraščenega pobočja nad železniško progo, ki bi v snežnih razmerah s svojo naklonino lahko vodilo do zdrsa snežne odeje.....	61
Slika 34: Z južne strani fotografiran najdaljši vseslovenski predor med Podbrdom in Bohinjsko Bistrico, ki meri preko 6 kilometrov.	62
Slika 35: Avtovlak na poti iz Podbrda v Bohinjsko Bistrico.	67
Slika 36: Palisade zaustavljajo padec kamenja in preprečujejo zdrs plazov.....	69
Slika 37: Na levi sliki je primer potencialno nevarne grape, katere zaključek je speljan skozi kamnit prepust pod železnico.....	70
Slika 38: Poškodovani snežni mostovi nad železniško progo med Podbrdom in Hudajužno so očitno potrebni popravila.	70
Slika 39: Primer obdelave snežnih plazov iz lavinskega katastra s pomočjo programa ARC GIS. Na izbrani plaznici so na približno vsakih 10 metrov določene točke topografije. Barve v ozadju predstavljajo različne nadmorske višine terena v metrih, ki jih razlaga na desni strani prikazana skala.	73
Slika 40: Prikaz vnosa točk topografije plaznice 4 v tabelo programa Excel, ki bo primerna za uporabo programa AVAL 1D.	74
Slika 41: V zgornjem okencu je prikazan vzdolžni profil plaznice 4 v programu AVAL 1D na katerem je kot opazovana točka označena os železnice. V spodnjem okencu vidimo, kako se širina plaznice spreminja vzdolž profila.	74
Slika 42: Prikaz postaj, izbranih za statistično obdelavo podatkov maksimalne letne višine snežne odeje.	75

1 UVOD

Snežni plazovi so vrsta naravnih nesreč, ki največjo nevarnost predstavljajo v gorah pozimi. Sloveniji, s svojim razgibanim terenom in izpostavljenimi ter dokaj poseljenimi alpskimi dolinami, na širšem območju preti grožnja snežnih plazov. Ogroženi so tako planinci, alpinisti, pohodniki in ostali ljubitelji radosti na snegu, kot tudi različni objekti in infrastruktura, ki se nahajajo v vpadnicah plaznic.

Z izjemo nekaterih člankov, se je o snežnih plazovih v Sloveniji prvič začelo resneje govoriti po dveh zimah z obilico snežnih padavin v začetku petdesetih let prejšnjega stoletja, ki sta povzročili več žrtev in veliko gmotne škode. Naslednji bistven mejnik sega v leto 1983, ko je bil narejen začasen lavinski kataster (Bernot). Tega so tekom naslednjih let dopolnjevali in nadgrajevali številni drugi nadobudni lavinologi, kot sta Horvat (1994) in Pavšek (2002).

Pri preprečevanju žrtev in gmotne škode, kot posledic snežnih plazov, se zanašamo na različne ukrepe. Kot pri vseh naravnih nesrečah, je tudi pri snežnih plazovih ena izmed najpomembnejših metod preventiva. Tu gre predvsem za izdelovanje načrtov nevarnosti snežnih plazov in njihovo dosledno uporabo pri poseljevanju in načrtovanju rabe prostora. Takšni načrti so produkt združevanja pričevanj lokalnih prebivalcev, zgodovinskih zapisov, opazovanj vegetacije na potencialno plazovitih področjih in pa izvajanja dinamičnih računalniških simulacij plazov na njih. Te metode se prepletajo in vsaka zase h končnemu rezultatu prispeva pomemben delež. Računalniške simulacije so nujno potrebne, saj z njihovo pomočjo lahko določimo pritisk, hitrost in višino gibajoče se snežne gmote. S pomočjo ostalih naštetih metod pa območje nevarnosti proženja plazov sploh določimo, kasneje pa so pomembne pri končni interpretaciji rezultatov in evaluaciji dejanske nevarnosti.

V diplomski nalogi bomo najprej predstavili dejavnike, ki vplivajo na sam nastanek snežnih plazov in poskušali razložiti njegov fenomen. Predstavili bomo celoten cikel od nastanka snežinke do formacije različnih tipov snežnih odej in končnega nastanka nestabilnosti v snežni odeji, ki pripeljejo do proženja snežnih plazov.

V nadaljevanju se bomo osredotočili na objekt, kateremu preti nevarnost snežnih plazov. Natančneje bomo obravnavali železniški odsek Podbrdo – Hudajužna, ki se nahaja na železniški progi Jesenice – Sežana. Osnovna hipoteza diplomske naloge je, da je obravnavani železniški odsek ogrožen.

Namen diplomske naloge bo preučiti omenjeni odsek, na katerem bomo s pomočjo katastra snežnih plazov določili ključne predele nevarnosti na pobočjih, ki se nahajajo neposredno nad železniško progo. S pomočjo statističnih analiz podatkov iz arhiva Agencije republike Slovenije za okolje bomo poskusili čim natančneje določiti višine snežne odeje z različnimi povratnimi dobami, ki bi botrovale nastanku snežnih plazov, ki bi tako ali drugače lahko ogrozili predele odseka železnice.

Cilj diplomske naloge bo analizirati nevarnost snežnih plazov s pomočjo računalniškega programa AVAL 1D na obravnavanem odseku in potrditi oziroma ovreči hipotezo o ogroženosti železniškega odseka. Rezultate, dobljene s pomočjo programa AVAL 1D, bomo poskusili čim boljše interpretirati in podati oceno o nevarnosti s sočasnim upoštevanjem ostalih pomembnih vplivov na tem območju, ki jih v programu ne bo mogoče zajeti.

2 TEORETIČNA IZHODIŠČA

Da se lahko lotimo preučevanja nevarnosti snežnih plazov, moramo najprej poznati osnove. V teoretičnih izhodiščih je predstavljeno kaj plaz sploh je, kakšni so vplivi na njegov nastanek in kako pred njim zaščitimo ljudi, objekte in ostalo infrastrukturo. V poglavju je predstavljena splošna ocena nevarnosti snežnih plazov v Sloveniji in do sedaj izvedeni ukrepi na tem področju. Ker rezultati diplomske naloge temeljijo na programu za simulacijo dinamike snežnih plazov imenovanem AVAL 1D, so v teoretičnih izhodiščih predstavljene tudi osnovne enačbe na katerih program temelji in pa vhodni podatki, zahtevani za njegovo uporabo.

2.1 Kaj je snežni plaz?

Pavle Šegula v svoji knjigi »Sneg, led, plazovi,« (Šegula, 1986: str. 81) plaz definira na sledeči način: »Plaz je gibajoči se del snežne odeje ali ledene gmote, ki drsi, teče ali, zvrtničen v zrak, lebdeč nad tlemi pada v globino, dokler se ne ustavi, ko izgubi svojo gibalno energijo«. Primer snežnega plazu velikih dimenzij, ki se je sprožil na golih pobočjih nad in med gozdom in nezadržno drvi v dolino, je prikazan na Sliki 1.

Miha Pavšek (2002) plaz opredeli s temeljnega geografskega vidika kot naravni pojav in temeljno prvino procesa snežne erozije v pokrajinah ali njihovih manjših delih s stalno ali občasno snežno odejo, ki na območju njihovega delovanja pomembno vpliva na medsebojno povezovanje in oblikovanje tamkajšnjih pokrajinskih sestavin. Vplivi plazov na pokrajinske sestavine so lahko neposredni in posredni. V prvem primeru gre lahko za zasutje človeka, ceste, poškodovanost gozda in podobno, najpogosteje pa govorimo o škodi ali žrtvah. Med posrednimi, katerih je mnogo več, lahko omenimo vpliv na odločitev o poteku cestne ali železniške trase, o rabi tal in rastju, o zazidljivosti parcel pri širitvi naselij, o gradbenih ukrepih na ogroženem območju in drugem.



Slika 1: Primer velikega snežnega plazov v gibanju.

Vir: <http://homeboyski.com/2008/01/29/what-you-need-to-know-about-avalanches-part-1-basics-of-avalanches/> (24. 03. 2011).

Snežni plazovi nastanejo kot posledica treh osnovnih dejavnikov, ki se med seboj prepletajo in so neločljivo povezani. Gre za vreme, teren in snežno odejo. V tem poglavju bom opisala, kako ti dejavniki vplivajo na nastanek plazov in pa kakšne vrste snega in snežnih plazov poznamo (Tremper, 2008).

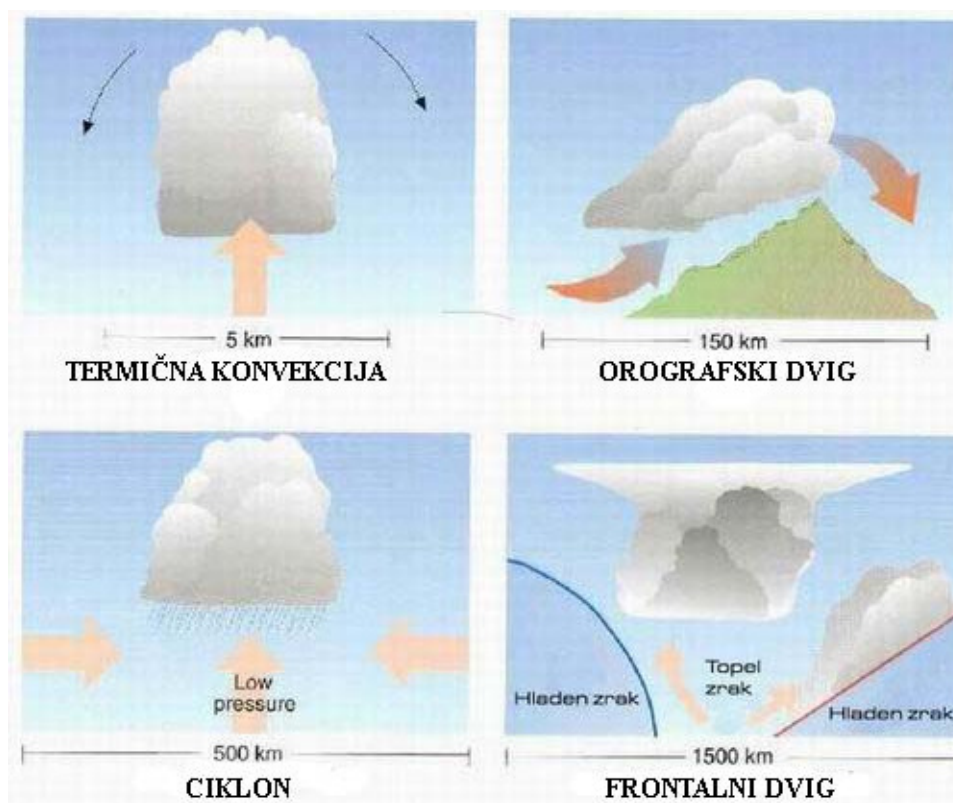
2.2 Vpliv vremena na nastanek snežnih plazov

Vreme je kot skupek pojavov, ki se dogajajo v atmosferi, eden izmed najpomembnejših faktorjev pri nastanku snežnih plazov. K nastanku snežne odeje in sprožanju snežnih plazov prispeva prav vse, kar štejemo pod pojem vreme, torej veter, vse vrste padavin, oblačnost, megla idr. (McClung, Schaerer, 2006).

2.2.1 Padavine

Osnovni pogoj za nastanek snežnih plazov je snežna odeja. Ta nastane kot posledica snežnih padavin. Z izrazom padavine označujemo vse oblike trde in tekoče vode, ki prileti iz oblakov. Ti nastanejo zaradi dvigovanja zračnih mas. Ko se vlažne zračne mase z vetrom dvigujejo, se delci zraka razširijo in ohlajajo. Ker topel zrak lahko vsebuje več vlage kot mrzel zrak, v neki točki dosežemo nasičenost zraka z vlago oziroma točko rosišča. Tako nastanejo oblaki (Vrhovec in sod., 2006).

Poznamo več različnih vrst nastanka oblakov in posledično padavin, saj se zračne mase dvigujejo iz različnih vzrokov. Vrste nastanka oblakov in padavin so prikazane na spodnji sliki in nato tudi podrobneje razložene.



Slika 2: Padavine nastajajo kadar se zračne vlažne mase dvigujejo zaradi termične konvekcije, ciklona, orografskega ali frontalnega dviga.

Vir: http://www.mihy.hostei.com/1_4_Novice.html (01. 04. 2011).

- Padavine zaradi termične konvekcije nastanejo, ko se zrak dviguje zaradi pregrevanja nad zemeljskim površjem.
- Padavine zaradi orografskega dviga nastanejo, ko se zrak dviguje zaradi gorske ovire pred njim.
- Ciklonske padavine nastanejo, ko se zračne mase dvigujejo od visokega k nizkemu zračnemu pritisku.
- Padavine zaradi frontalnega dviga nastanejo, ko hladne zračne mase izpodrivajo topel zrak oziroma se topel zrak dviguje nad hladnega (McClung, Schaerer, 2006 in Šegota, Filipčič, 1996).

Nastanek snežinke, kot najpomembnejše vrste padavin za nastanek snežnih plazov, je natančneje razložen v poglavju 2.5 Nastanek snežink in njihova rast v atmosferi.

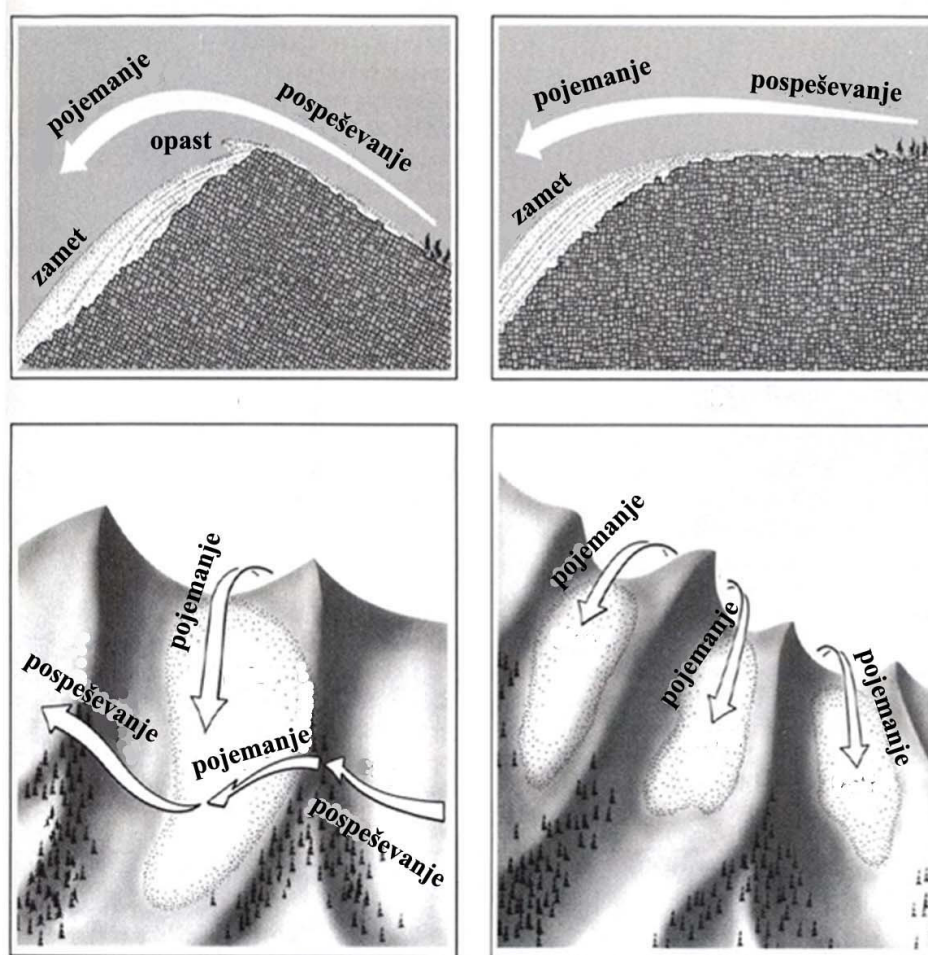
2.2.2 Veter in prenos snega

Veter je pretežno horizontalno gibanje zraka, ki ima pomembno vlogo pri oblikovanju snežne odeje. Kako vpliva na njeno debelino je prikazano na sliki 3. Veter prenaša sneg s privetrne strani, kjer njegova hitrost raste, v zavetrje, kjer njegova hitrost pojema. Hitrost vetra je odvisna od topografije terena. Veter s snegom zapolni zavetrno stran pod grebenom, votline, grape, doline, žlebove, kotanje in v splošnem vse poglobljene oblike terena ter s tem popolnoma spremeni prvotno obliko terena. Snežna odeja deluje enovito in brez izrazitih vdolbin, kakršne lahko opazimo v poletnem času, ko teren ni prekrit s snegom (McClung, Schaerer, 2006).

Veter med sneženjem dobesedno zmelje snežinke, razdrobljen sneg pa se hitro sprime. Delci se povežejo v trdo gmoto, ki pa je v resnici krhka. Tako plast snega imenujemo vetrna kloža, ki je vzrok za veliko večino plazov sprijetega snega (Šegula, 1986; McClung, Schaerer, 2006).

Kritična hitrost snega je hitrost, pri kateri začne veter s podlage dvigovati snežne kristale in jih prenašati na druga mesta. Povečuje se z naraščanjem temperature zraka in njegove

vlačnosti, odvisna pa je tudi od vrste snega. Če je sneg suh in nepovezan med seboj, se bo kritična hitrost v povprečju gibala okoli 5 m/s, pri sprijetem snegu se bo povečala na okoli 25 m/s (McClung, Schaerer, 2006).



Slika 3: Vpliv vetra na prenos snega.

Vir: prirejeno po McClung, Schaerer, 2006 in Šegula, 1986.

Opast je snežna skulptura, ki jo oblikuje veter. Veter nosi sneg iz privetrne strani čez greben ali kateri koli drug oster prehod naklona terena in se vrtinči pod njim na zavetrni strani, kjer nastane tako imenovana streha opasti, pod njo pa nastane vetrna kloža. Opasti so eden izmed najboljših pokazateljev smeri vetra in nevarnega terena (Šegula, 1986).

Opasti v gorah predstavljajo veliko nevarnost. Pozornost je potrebna pri hoji po grebenu, saj se lahko pod nami zrušijo. Prav tako so nevarne tudi, če hodimo pod njimi, saj se pogosto

zrušijo tudi brez dodatne obremenitve. Velik faktor ima pri tem segrevanje zaradi sončnega sevanja in toplote, ki lahko povzroči odlom opasti in posledično morda tudi sprožitev kložastega plazov pod njo (McClung, Schaerer, 2006). Primer opasti, ki se je formirala na grebenu je prikazan na spodnji sliki.



Slika 4: Opast na grebenu Storžiča v Kamniško Savinjskih Alpah (foto: Sirk, 2010).

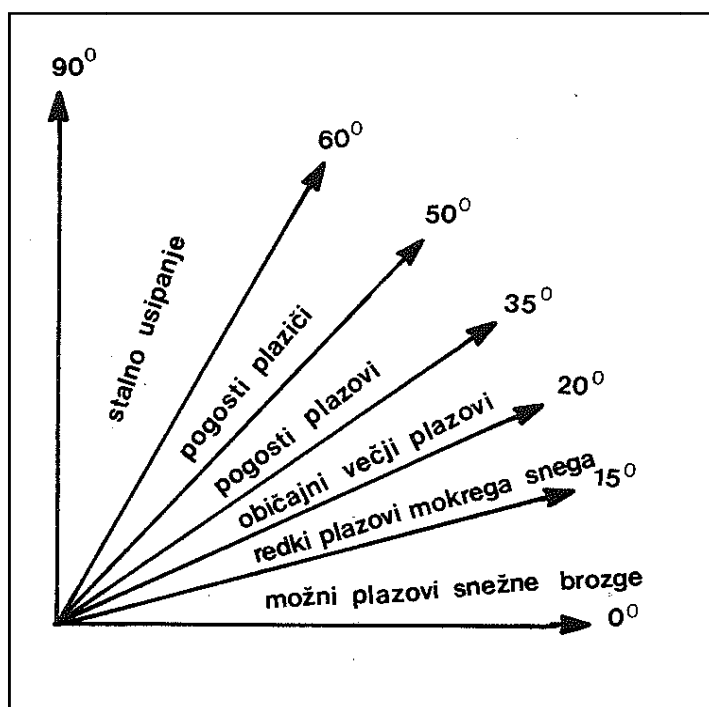
2.3 Vpliv topografije terena na nastanek snežnih plazov

V tem poglavju je predstavljeno, kako je nastanek snežnih plazov pogojen s topografijo terena in njenimi karakteristikami. Naklon pobočja, hrapavost terena in prekritost z gozdom ter ekspozicija glede na smer sonca ključno vplivajo na začetne in robne pogoje za nastanek snežnih plazov (Šegula, 1986).

2.3.1 Naklon pobočja

Naklon pobočja je pomemben dejavnik za nastanek plazov, saj pri različnih naklonih prihaja do različnih vrst plazov. Pri naklonu pobočja nas zanima naklonina, ki je potrebna da se sneg

splazi, poleg tega pa tudi naklonina pobočja, ki gibanje plazov ohrani in mu omogoča, da se nemoteno razvije in vzdržuje. Pomemben podatek je tudi naklonina, pri kateri se plaz začne ustavljati (Šegula, 1986).



Slika 5: Prikaz odvisnosti vrste snežnih plazov od nagiba terena.

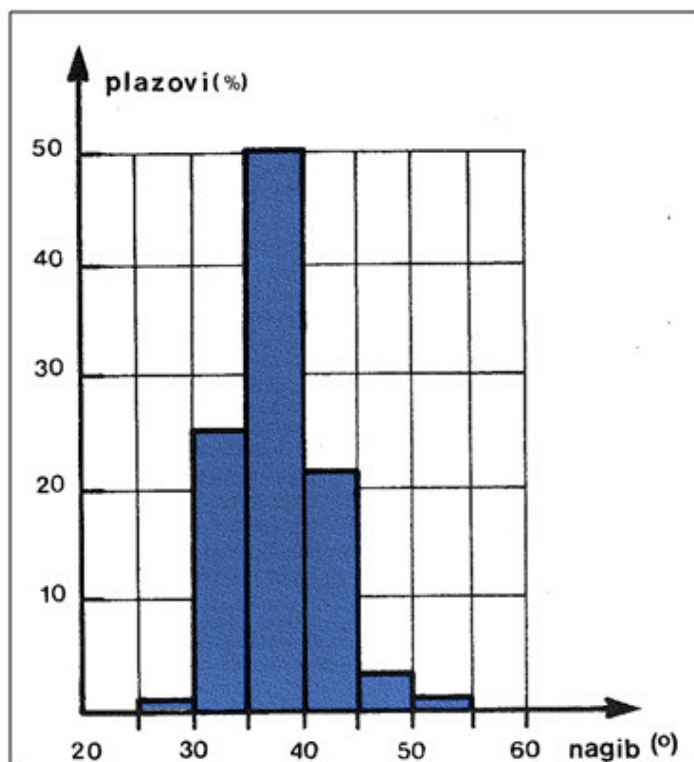
Vir: Šegula, 1986.

Kako veliki in pogosti so plazovi na določenem naklonu pobočja je prikazano tako na zgornji sliki, kot tudi razloženo v nadaljevanju.

- Pri nagibih do 25° so plazovi neobičajni, če do njih pride, so to plazovi snega, ki je popolnoma zasičen z vodo.
- Pri nagibih od 25° do 30° se v zelo nestabilnih pogojih pojavljajo plazovi sprijetega snega.
- V območju 30° do 35° se v nestabilnih pogojih pojavljajo plazovi sprijetega snega.
- Nagibi med 35° do 45° so nagibi, kjer se pojavlja največ snežnih plazov sprijetega snega. Najbolj nevaren kot je 38°.

- V naklonih med 45° in 55° pogosto nastajajo manjši plazovi, tako sprijetega, kot nesprijetega snega, ki tako preprečujejo pojav večjih in bolj nevarnih plazov sprijetega snega.
- Pri naklonih nad 55° med sneženjem praktično ves čas prihaja do zdrsavanja majhnih plazov sprijetega in nesprijetega snega, zato je nastanek večjih plazov sprijetega snega praktično onemogočen (Tremper, 2008).

Na spodnji sliki je prikazan diagram, na katerem je razvidna pogostost plazov sprijetega snega v odvisnosti od naklona pobočja za evropski alpski svet in s tem tudi za naše gore. Opazimo lahko, da se je 50 odstotkov plazov sprožilo na pobočjih z naklonom med 35° in 40° . Vidimo, da so plazovi med 30° in 35° ter med 40° in 45° še zelo pogosti, saj se je na teh nakloninah skupaj sprožilo okoli 45 odstotkov vseh plazov. Na naklonih manjših od 30° in večjih od 45° odstotek sproženih plazov drastično upade, saj se skupno na omenjenih naklonih sproži le še dobrih 5 odstotkov plazov (Šegula, 1986).



Slika 6: Pogostost plazov sprijetega snega v odvisnosti od nagiba pobočja.

Vir: prirejeno po Šegula, 1986.

2.3.2 Hrapavost terena in prekritost z gozdom

Šegula o vplivu hrapavosti terena na snežne plazove pravi takole: »Kopna tla imajo največji vpliv na trganje snežnih plazov na začetku zime, ko snežna odeja komaj nastaja. Hrapavost površine tal odloča o tem kolikšna mora biti debelina snežne odeje, da bi prekrila terenske nepravilnosti in ovire ter koliko lahko vpliva na polzenje in drsenje snežne odeje, kolikšen je njen vpliv na splazitev,« (Šegula, 1986: str. 115) Če je torej teren razvejan, na primer gosto prekrit z večjimi skalami in balvani, te preprečujejo splazitev sprijetih snežnih plazov, dokler niso popolnoma prekrite s snegom. V primerih, ko je pobočje prekruto z manjšimi skalami, čermi in kamni ter kadar je pobočje pretrgano z manjšimi potmi, cestami ali kolovozi, so možni plazovi nesprijetega snega. Najbolj nevarna so torej gladka pobočja, to so travnata in drobno peščena pobočja, na katerih se najlažje sprožajo plazovi sprijetega snega. Podoben vpliv kot skale in balvani imajo tudi drevesa, ki pa morajo biti prav tako gosto zaraščena, da dajo željen vpliv. Tako se v gostih gozdovih plazovi ne trgajo, možni so le, če se sprožijo nad gozdno mejo in se v gozd iztečejo. Tako lahko že s samim opazovanjem starosti dreves vidimo, ali so bila v zadnjem času oziroma sploh kdaj prizadeta zaradi plazov. Pri manjšem številu dreves je pomembno tudi kakšne vrste so. Zimzelena drevesa z gostimi in poraščenimi vejami, ki so zamrznjene v snežni odeji, veliko bolje zadržujejo sneg na mestu, kot pa gola drevesa listavcev (Pavšek, 2002 in Šegula, 1986).

2.3.3 Ekspozicija površja

Ekspozicija terena je osnovna značilnost vsakega neravnega površja, ki nam pove, kam je površje obrnjeno. Izražamo jo s smermi neba. Na snežno odejo različno vpliva pozimi oziroma spomladi. Posledično se torej sneg na različno orientiranih pobočjih preobraža popolnoma drugače, zaradi česar so določena pobočja bolj nevarna v določenem obdobju (Perko, 1998).

Pozimi je sonce najnižje na obzorju, zaradi česar je večina severnih pobočji praktično popolnoma skritih pred sončnimi žarki. Vzhodno orientirana pobočja so obsijana s soncem le zjutraj, ko je le to najšibkejša. To privede do nizkih temperatur v snežni odeji, ki preprečujejo

preobrazbo snega, kar je razlog, da so severna in severovzhodna pobočja v tem obdobju najbolj nevarna. Če so poleg tega pobočja še v zavetni strani, je to idealna kombinacija za nastanek nevarnih vetrnih klož in s tem posledično velikih plazov sprijetega suhega snega (Tremper, 2008).

Ravno obratno se zgodi spomladi, ko je sonce višje na obzorju in so severna in severovzhodna pobočja segreta ravno toliko, da je omogočeno postopno preobražanje snega in s tem nastanek stabilne snežne odeje. V nasprotju z njimi, je sonce ves dan močno uprto v južna pobočja in celotno popoldne v zahodna, kar privede do velikih otoplitev v snežni odeji in s tem do sprožanja mokrih snežnih plazov (Tremper, 2008).

2.4 Vpliv temperature in prenosa toplote na nastanek snežnih plazov

Stabilnost snežne odeje je na različne načine odvisna od temperature. Temperatura zraka je pomembna že pri nastajanju snežink, katerih velikost je odvisna od nje. Pri višjih temperaturah bo v zraku več vlage in velikost snežink bo večja kot pri nižjih temperaturah, ko opazimo manjše snežne kristale. Prav tako je pomembna temperatura snežne odeje in temperaturni gradient v njej. Ta dva faktorja vplivata na stabilnost snežne odeje, saj se zaradi njiju sneg preobraža na različne načine. Temperatura se v snežni odeji spreminja zaradi prenosa toplote znotraj snežne odeje in zaradi prenosa toplote med površino snežne odeje in atmosfero (Šegula, 1986).

Pomemben način prenosa toplote znotraj snežne odeje je prenos toplote s kondenzacijo, ki nastane zaradi difuzije vodne pare. Toplota se prenaša z območji z višjo koncentracijo vodne pare na območja z nižjo koncentracijo. Posledica tega je nastanek šibkih plasti v ali na snežni odeji (McClung, Shaerer, 2006).

Naslednji način prenosa toplote je prenos toplote z vetrom. Ta vpliva predvsem na spremembo temperature na površini snežne odeje. Če je zrak nad snežno odejo toplejši od njene površine, se bo sneg segreval, medtem ko se bo v primeru hladnejšega zraka, sneg ohlajal (McClung, Shaerer, 2006).

Sevanje ali radiacija je prav tako način prenosa toplote, ki vpliva predvsem na spremembo temperature na površju snežne odeje. Sevanje delimo na kratkovalovno, ki je energijsko bogatejše, in dolgovalovno sevanje. Spreminjanje ravnovesja med njima pripelje do sprememb temperature v snežni odeji, zaradi česar lahko nastanejo potencialno šibke plasti na površini, lahko pa te spremembe tudi neposredno povzročijo sprožitev plazu (McClung, Shaerer, 2006).

Kratkovalovno sevanje, ki vpliva na prenos toplote, je sončno sevanje. Vanj spadata ultravijolično sevanje in vidna svetloba. Prodiranje sevanja v snežno odejo eksponentno pada z globino in ima po 10 cm le še 10 odstotkov prvotne vrednosti, vendar pa kljub temu prodre veliko globlje od dolgovalovnega. V splošnem je večje v gostejšem snegu z večjimi kristali, kar pomeni, da v mokrem snegu prodre globlje kot v suhem. Dolgovalovno sevanje, ki vpliva na prenos toplote, je zemeljsko sevanje. Sneg lahko tako ogreva, kot tudi ohlaja. Več kot 50 odstotkov se ga absorbira v prvi centimeter snežne odeje. Je pogost vzrok za nastanek šibke plasti na površini snega. Odbija se tako od snega, kot tudi od oblakov. Najbolj ohladi snežno površino v jasni noči, ko se vse sevanje odbije v vesolje in so posledično temperature snežne površine tudi od 5 do 20 stopinj nižje od temperature zraka nad njo (McClung, Shaerer, 2006).

Preobrazba snežnih kristalov zaradi sevanja je običajen pojav v jasnem vremenu na južno orientiranih pobočjih nizkih zemljepisnih širin in visokih nadmorskih višin. Sončno sevanje preko dneva segreje zgornje centimetre snežne odeje, dolgovalovno sevanje pa ponoči močno ohladi njeno površino, saj se prav vse izgubi v vesolje. To povzroči velik toplotni gradient v tankem sloju snega, kar pripelje do preobrazbe snežnih kristalov in posledično do nastanka šibke plasti na površju. Sevanje ima prav tako velik pomen pri oblikovanju mokrih snežnih plazov. Kratkovalovno sevanje se prebije skozi sloj megle ali oblakov in segreva površino snega, dolgovalovno sevanje, ki ga oddaja snežna odeja, pa se od oblakov odbije nazaj vanjo in jo prav tako segreva. Tak pojav imenujemo učinek tople grede, ki je lahko krivec za sproženje mokrega snežnega plazu (McClung, Shaerer, 2006).

2.5 Nastanek snežink in njihova rast v atmosferi

Snežinke nastajajo v oblakih v atmosferi. Kadar so temperature v oblaku, nasičenem z vodno paro, nižje od 0°C, v njem začnejo iz ledenih oblačnih kristalov nastajati snežni kristali ali snežinke. Nižja kot je temperatura, več snežink bo nastalo v primerjavi z nastankom vodnih kapljic. Pri temperaturi -40°C snežni kristali zmrzujejo brez prisotnosti ledenih oblačnih kristalov (Vrhovec, 2006).

2.5.1 Rast snežink

Snežni kristali rastejo na dva načina:

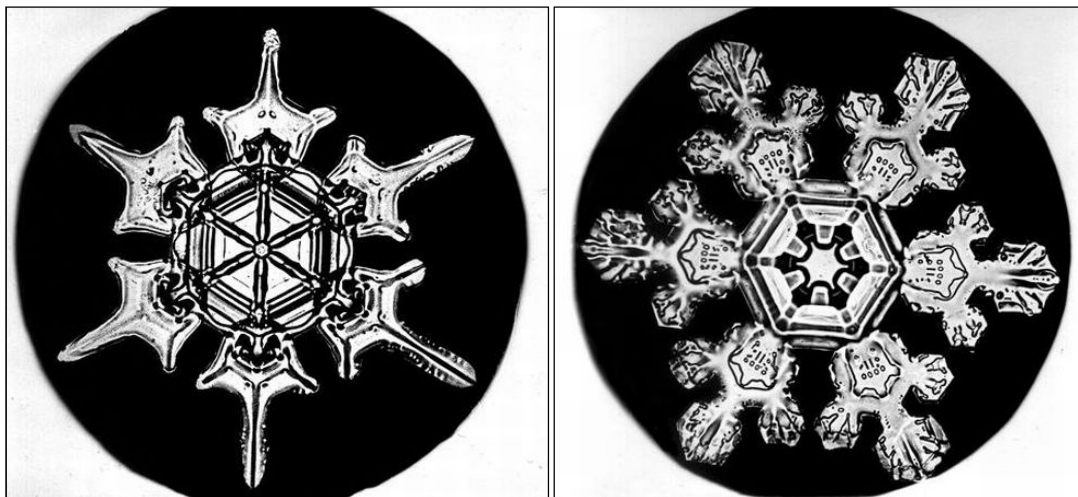
- Na površini vodnih kapljic je pritisk vodne pare večji kot na površini snežnih kristalov. Po principu difuzije tako vodna para potuje od večjega k manjšemu pritisku in s tem se povečuje velikost snežink. Ta pojav imenujemo kondenzacija (McClung, Schaerer, 2006).
- V zraku med seboj trkajo večji ledeni kristali, ki padajo skozi ozračje in oblačne kapljice v njem. Molekule vode na ohlajeni kristal primrznejo v trenutku, ko se ga dotaknejo. Na enak način iz snežnih kristalov nastajajo snežni kosmi. Večji kristali hitreje padajo skozi atmosfero kot manjši, ki se zatikajo v izrastke velikih (Rakovec, Vrhovec, 2000).

2.5.2 Oblika snežnih padavin

Oblika snežnih padavin je odvisna od temperature zraka in pa koncentracije vodne pare v oblaku, kjer je snežni kristal nastal in zrasel (Rakovec, Vrhovec, 2000). Snežinke so večje, če potujejo skozi toplejši zrak, saj ta vsebuje več vlage, poleg tega se v toplejšem ozračju procesi rasti praviloma dogajajo hitreje kot v hladnejšem (McClung, Schaerer, 2006).

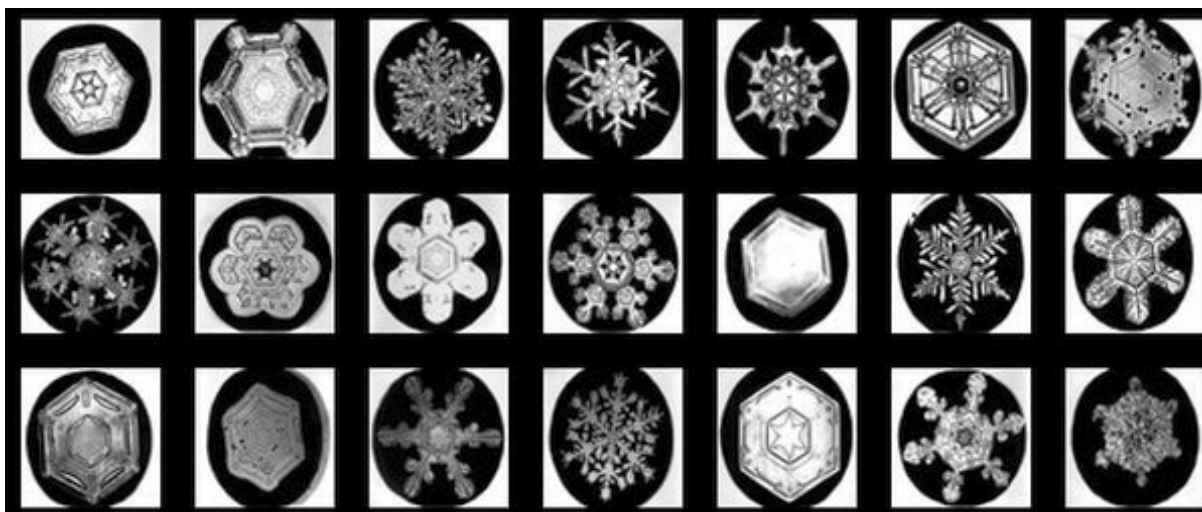
Pomemben preučevalec oblike snežnih kristalov je bil Wilson A. Bentley, ki je med svojimi preučevanji zapisal: »Vsak kristal je oblikovalska mojstrovina in nobena oblika se nikoli ne

ponovi.« Wilson A. Bentley se je davnega leta 1885 v zgodovino zapisal kot prvi človek, ki je pod mikroskopom fotografiral snežne kristale. Nekaj primerov snežnih kristalov, ki jih je posnel, si lahko ogledamo na slikah 7 in 8.



Slika 7: Pod mikroskopom slikani dendriti.

Vir: <http://www.rsi.si/kultura/novice/cudak-s-crnim-pladnjem-na-zasnezenem-pragu-in-z-mikroskopom-v-roki/221868> (12. 02. 2011).

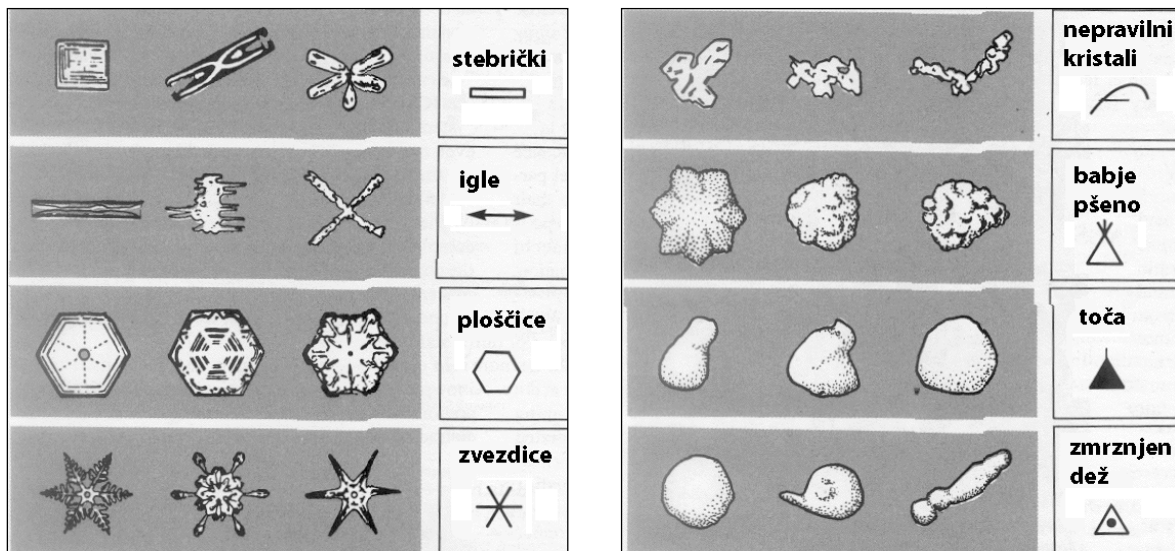


Slika 8: Fotografija sneženih kristalov pod mikroskopom.

Vir: <http://www.rsi.si/kultura/novice/cudak-s-crnim-pladnjem-na-zasnezenem-pragu-in-z-mikroskopom-v-roki/221868> (12. 02. 2011).

Za prepoznavanje lastnosti snežnih kristalov se od leta 1951 najpogosteje uporablja klasifikacija Mednarodne komisije za sneg in led (preglednica 1), ki je predlagala sedem glavnih oblik snežnih kristalov: ploščati, zvezdasti, stolpičasti, igličasti, prostorski dendriti, stolpci s krajci in nepravilne oblike. V klasifikaciji najdemo tudi tri zvrsti zmrznjenih padavin: zmrznjen dež, sodra (babje pšeno) in toča (Conradi, 2008).

Preglednica 1: Mednarodna klasifikacija snežnih kristalov.



Vir: prirejeno po McClung, Schaerer, 2006.

Novozapadli snežni kristali so zelo nestabilni. Da bi obdržali svojo prvotno obliko oziroma rasli naprej, bi potrebovali okolje, zasičeno z vodno paro, v kakršnem so nastali. Iz novozapadlega snega, ki predstavlja nepovezано in nesprijeto plast snežne odeje, se nato s preobrazbo lahko razvije tako šibka kot dobro sprijeta plast (Tremper, 2008).

2.6 Preobrazba snega

Sneg je spremenljiva in občutljiva snov, ki se zaradi vseh že omenjenih vplivov preobraža od trenutka nastanka do trenutka ko skopni. Poznamo štiri tipe preobražanja snega:

- drobljenje,

- zrnjenje,
- sreženje,
- srenjenje.

Star sneg je tisti, katerega delci imajo bolj ali manj okroglo ali oglato obliko. To je sneg, ki je šel skozi fazo preobrazbe, sneg na katerega so delovali tako sonce, toplota, veter, dež in sneg ter v katerem torej ne moremo več prepoznati prvotnih kristalov (Šegula, 1986).

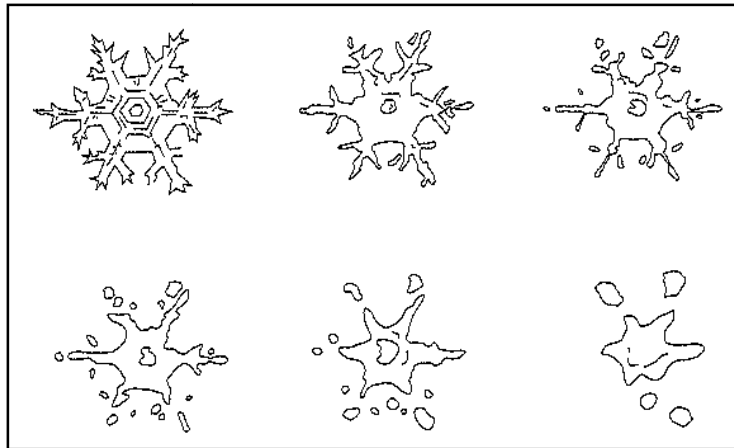
2.6.1 Drobljenje

Pri drobljenju gre za vrsto preobrazbe, ki se zgodi zaradi mehanskih vplivov vetra in lastne teže snežne odeje. Prvotni kristali se drobijo, na tleh pa se kopičijo njihovi ostanki. Tipičen primer snežne odeje, ki nastane zaradi drobljenja je **vetrna kloža**, za katero smo že omenili, kako nevarna je. Veter napiha velike količine snega v zavetrne pasti terena ter med tem s svojo močjo drobi snežinke v manjše delce. Ti delci imajo to lastnost, da se med seboj veliko hitreje vežejo kot pa snežinke v svoji prvotni velikosti, pravzaprav se delci med seboj zlepijo. Skupaj sestavijo plast snega, ki se obnaša kot krhko togo telo (Rakovec, Vrhovec, 2000).

2.6.2 Zrnjenje

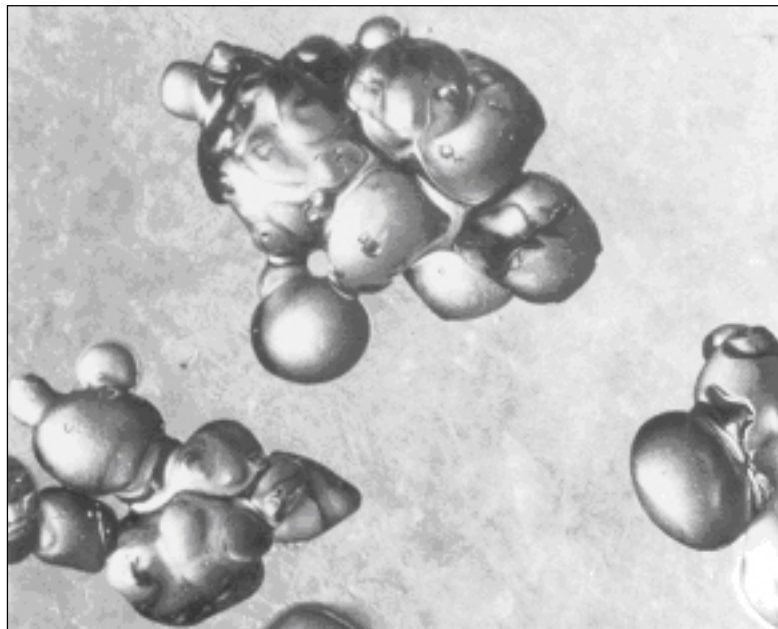
Zrnjenje je preobrazba novozapadlega snega, a tudi snega, ki je že prestal spremembe. V splošnem je razmerje med površino kristalov in njihovim volumnom, ko se njihova rast konča, nestabilno. Torej se bodo najhitreje začeli preobražati najbolj kompleksni kristali, kot so na primer dendriti. Fizikalni razlog za izginjanje razvejanih delov kristalov je visok pritisk vodne pare v zraku, ki je višji nad konveksnimi kot nad konkavnimi deli snežink. Zaradi tega pride do difuzije vodne pare, ki poteka od višjega k nižjemu pritisku, in snežinke postajajo vedno bolj okrogle oblike. Ta preobrazba se zgodi zaradi učinka krivinskega premera, temperaturni gradient v snežni odeji pa ne sme biti večji od 5 °C/m. S tem pa proces zrnjenja še ni končan, saj so tudi majhna zrna v naravi nezaželena. Snežinke, ki so se do sedaj površinsko zmanjševale, začnejo rasti. Razlog za to je temperaturni gradient v snežni odeji.

Ta povzroči, da se vodna para iz spodnjega dela snežne odeje, kjer so temperature višje, počasi začne premikati navzgor ter se kondenzira na snežinkah v višjih predelih snega. Tako nastajajo vedno večja zrna snega, ki se povezujejo s sosednjimi. Višina snežne odeje se niža, gostota se zvišuje, zaradi česar se izboljšuje stabilnost snežne odeje. Zrnjenje je prikazano na spodnjih dveh slikah.



Slika 9: Preobrazba dendrita se v naravi zgodi v nekaj dneh.

Vir: prirejeno po McClung, Schaerer, 2006.

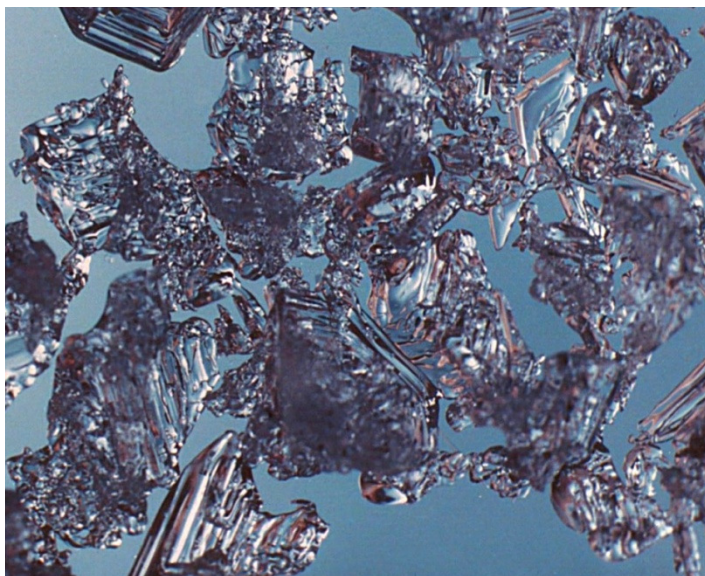


Slika 10: Povezovanje manjših okroglih snežink v sprijet sloj.

Vir: http://snow.usace.army.mil/heat_mass_transfer/ (12. 02. 2011).

2.6.3 Sreženje

Sreženje je proces, med katerim nastaja šibka plast čašastih votlih kristalov in grobih piramid s stopničasto oblikovanimi mejnimi ploskvicami in ostrimi stičnimi robovi. Ti kristali so med seboj slabo povezani, zato v snegu predstavljajo šibko plast. Tudi sreženje, podobno kot zrnjenje, nastaja zaradi difuzije vodne pare v snežni odeji, le da je za proces sreženja potreben večji temperaturni gradient znotraj snežne odeje, kot za proces zrnjenja. Kadar je torej temperaturni gradient večji od $20^{\circ}\text{C}/\text{m}$, se začne sreženje. Vodna para se iz spodnjega dela snežne odeje, kjer so temperature višje, začne premikati navzgor ter se kondenzira na snežinkah v višjih predelih snega. Ta proces se lahko odvija kjerkoli znotraj snežne odeje. Na začetku zime, ko je snežna odeja še tanka in zato temperaturni gradienti v njej dovolj visoki, nastane blizu zemeljskega površja sloj sreža, ki ga imenujemo **globinski srež** in je prikazan na spodnji sliki (Sergent, 2000/2001).



Slika 11: Globinski srež, katerega kristali so ostrih robov in piramidaste oblike.

Vir: <http://blog.jonessnowboards.com/2010/12/avalanche-awareness-first-flakes-to-first-facets/> (12. 02. 2011).

Zaradi velikega temperaturnega gradienta nad snežno odejo in zadostne količine vode v zraku, pa na površju snežne odeje začnejo nastajati kristali imenovani **površinski srež**, ki je prikazan na sliki 12. Proces se začne, ko pritisk vodne pare v zraku preseže ravnovesje pritiska vodne

pare na snežne kristale na površini snega. Iz tega razloga začnejo na njej, neposredno s sublimacijo vodne pare iz zraka, nastajati ledeni kristali, ki jih imenujemo površinski srež. Idealne razmere za njegov nastanek nastopijo v mrzli in skoraj brezvetrni noči. Takrat se vse dolgovalovno sevanje s površine snega odbije v vesolje, zaradi česar se snežna površina ohladi na veliko nižjo temperaturo, kot jo ima zrak nad njo. S tem torej dobimo potrební temperaturni gradient, ki se običajno giblje nekje med 100 in 300°C/m. Če je veter nad površino snega premočan, uniči temperaturni gradient in s tem prepreči nastanek sreža. Prav tako njegov nastanek preprečujejo oblaki na nebu, saj se od njih odbija dolgovalovno sevanje nazaj na površje snega, ki se zaradi tega ne bo ohladilo. Podoben učinek kot oblaki ima tudi prisotnost dreves, zato je nastanek sreža pod gozdno mejo, razen na odprtih jasah, neobičajen.



Slika 12: Površinski srež.

Vir: <http://climbmountains.wordpress.com/2010/02/22/curved-ridge-glencoe/> (12. 02. 2011).

Tako globinski kot tudi površinski srež, ko je enkrat zakopan pod novo plastjo snega, znotraj snežne odeje predstavljata šibko plast. Takšna plast je zelo vzdržljiva in mnogokrat odgovorna za sprožitev plazov. Razlog je v tem, da je sloj sreža anizotropen. Anizotropija je lastnost snovi, ki ima v različnih smereh različne fizikalne lastnosti. Tako srež lahko prenese velike tlačne obremenitve, strižne trdnosti pa praktično nima. Vsakršno nalaganje teže nanj se

zato prenaša iz tlaka v strig, kar povzroči nastanek razpoke. Ta se lahko širi že na skoraj povsem ravnem terenu oziroma na nizkem naklonu, poleg tega pa lahko potuje tudi navkreber. Nastane lahko že zaradi same teže snega, kar privede do spontane sprožitve plazov, lahko pa jo povzroči smučar, ki z dodatnim nanosom svoje teže poruši ravnovesje v snežni odeji (Tremper, 2008).

2.6.4 Srenjenje

Pri srenjenju gre za proces med katerim na površju snega nastaja skorja, ki vedno bolj prodira v notranjost snežne odeje. Do srenjenja prihaja zaradi razlike tlakov vodne pare, komaj zaznavnih temperaturnih razlik na delcih in med njimi ter nihanja temperature zraka. Nastanek srena oziroma površinskih skorij povzročita sonce ali dež.



Slika 13: Nastanek srena povzroči sonce ali dež.

<http://www.flickr.com/photos/supremecourtjester/5418958280/> (08. 04 2011)

Sonce podnevi segreje površino snega in nekoliko stopi vrhnje kristale, ki nato ob padcu temperature zamrznejo nazaj in ustvarijo gladko površino. Skorjo, ki nastane zaradi sončnega sevanja, najdemo izključno na sončnih ekspozicijah, torej na južno, jugovzhodno in jugozahodno obrnjenih pobočjih. Skorja, ki nastane zaradi dežja je običajno še bolj nevarna kot tista zaradi sonca, saj je bolj gladka, njun princip nastanka pa je podoben. Dež zmoči

površino snega, ki ob nizki temperaturi nato zmrzne. Gladek sren lahko predstavlja takšno šibko plast, ki je sposobna propagirati razpoko, kot tudi osnovno podlago za zdrs snega po njej (Šegula, 1986).

2.7 Fizikalne lastnosti snega

Poznavanje fizikalnih lastnosti snega je z vidika preučevanja snežnih plazov zelo pomembno. Fizikalne lastnosti snega so odvisne od vrste snega in s tem ena od druge. Naštejmo nekaj najpomembnejših:

- Albedo snega, ki pomeni, koliko sončnega sevanja se od snega odbije. Ta variira med suhim in mokrim snegom, ledom itd.
- Trenje snega.
- Poroznost snega, ki nam pove, koliko praznega prostora v obliki por je znotraj snežne odeje. Največja je pri pršiču.
- Prepustnost snežne odeje za vodo, ki se začne pri temperaturi snega 0°C in več. Voda prodre v sneg do nepropustnih plasti v notranjosti oziroma do tal.
- Toplotna prevodnost snežne odeje snega je majhna, torej je sneg dober izolator. Najmanj toplote prevaja suh sneg.
- Gostota snega.

V diplomskem delu smo bili osredotočeni na tisti lastnosti, ki sta v obliki številčnih parametrov potrebni za izračun dinamike snežnih plazov in posledično zahtevani za uporabo programa AVAL 1D. To sta trenje snega in gostota.

2.7.1 Trenje snega

Pri trenju snega ločimo zunanje in notranje trenje. Zunanje trenje predstavlja trenje med snegom, ki zdrsne in podlago po kateri zdrsi (sneg ali tla), notranje pa nastane znotraj plazua.

Zunanje trenje delimo na statično, to je trenje v trenutku, ko kos snega zdrsne po podlagi, in kinetično trenje, ki nastaja, ko kos enkrat drsi po podlagi. Pri notranjem trenju gre za trenje, ki nastane med delci snega v snežnem plazu. Določitev koeficientov trenja je podrobneje razložena v poglavju 2.11.1.1 Enačbe za določitev maksimalne hitrosti plazov (Šegula, 1986).

2.7.2 Gostota snega

Gostota snega je definirana kot masa na enoto volumna. Odvisna je od temperature med sneženjem, količine vode v snežni odeji in pa od starosti snežne odeje. Gostota snega je višja pri višji temperaturi zraka med sneženjem, saj so takrat snežinke večje. Viša se tudi z odstotkom vode oziroma vlage v njej, saj je takrat v snegu manj zraka in pa s staranjem snežne odeje, ki je skozi čas vedno bolj kompaktna. Kako se gostota spreminja pri različnih tipih snega je razvidno v preglednici 2.

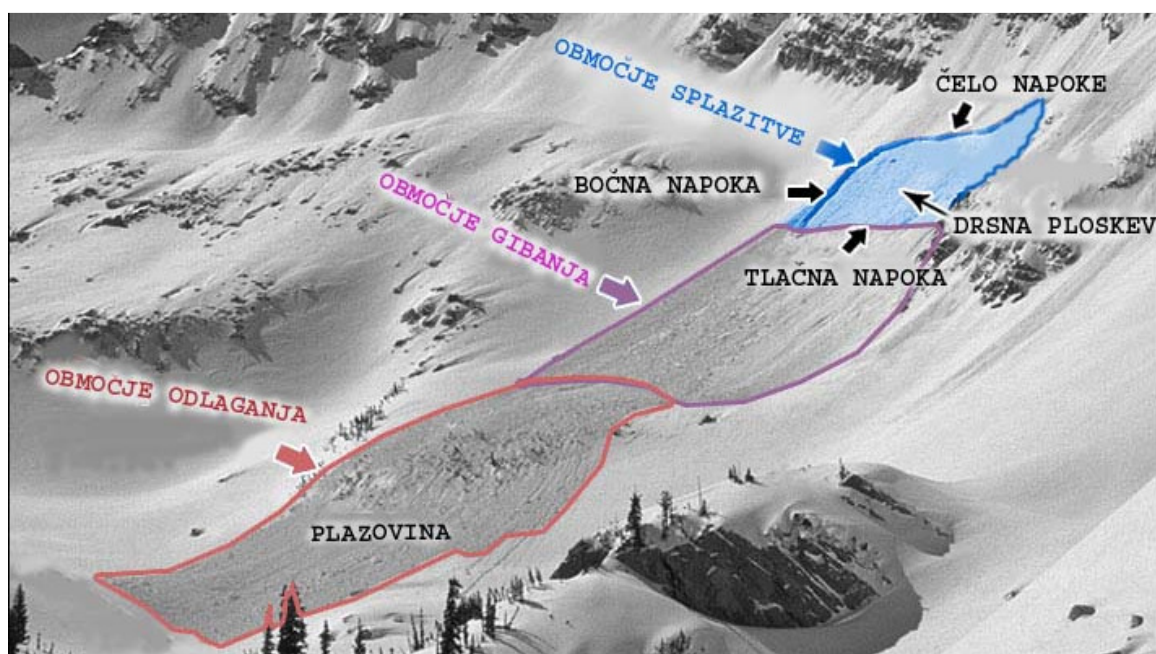
Preglednica 2: Gostota različnih vrst snega.

TIP SNEGA	GOSTOTA SNEGA [g/cm ³]
novo zapadel pršič	0,01 – 0,07
novo zapadel sneg	0,07 – 0,20
uležan sneg	0,20 – 0,30
kložast sneg	0,20 – 0,30
napihan sneg	0,35 – 0,40
moker sneg	0,40 – 0,65
ledeniški sneg	0,70 – 0,80
ledeniški led	0,85 – 0,91

Vir: Singh, 2001.

2.8 Elementi snežnega plazu

Pri snežnem plazju obravnavamo tri območja, to so območje splazitve, območje gibanja ali plaznica in območje odlaganja. Celotno površino oziroma traso plazov imenujemo plaznica. V območju splazitve se plaz sproži. To območje lahko dalje razdelimo na čelo napoke, bočni napoki, drsno ploskev in tlačno napoko. V območju gibanja se plaz giblje. Značilnosti tega območja sta oblika plazine in način gibanja. Plazina je del plazišča. Območje odlaganja je tisti del plazine, kjer se plaz ustavi in se nakopiči plazovina. Plazovina je torej odložena gmota splazelega snega (Šegula, 1986).



Slika 14: Ključni elementi snežnega plazju.

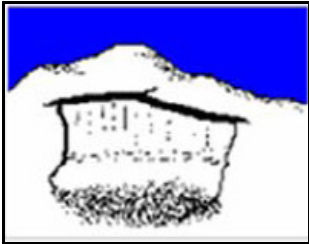

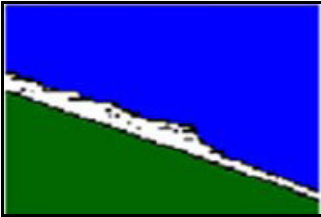
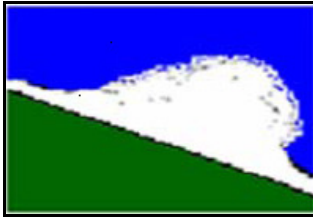
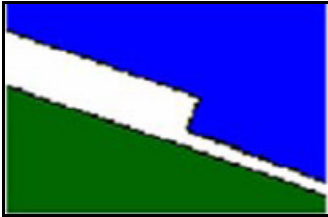
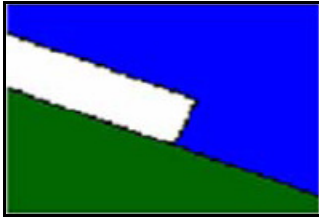
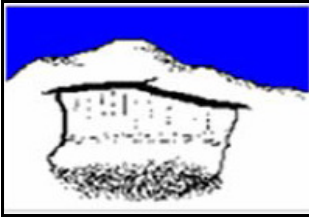
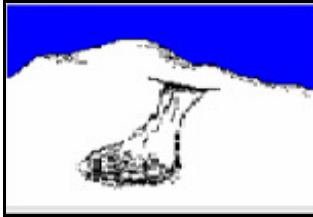
Vir: http://www.fsavalanche.org/Encyclopedia/avalanche_path.htm (12. 01. 2011).

2.9 Klasifikacija snežnih plazov

Osnovno delitev snežnih plazov si lahko ogledamo v preglednici 3. Plazove delimo glede na način trganja (sprijet ali nesprijet plaz), glede na obliko gibanja (tekoč ali pršni plaz), glede na lego drsne ploskve (vrhnji ali talni plaz), glede na obliko plazine (pobočen ali žlebast plaz) in

glede na vsebnost vode v snegu (moker ali suh plaz). Najbolj pogosto plaz definiramo glede na način trganja in glede na vsebnost vode v snegu (Šegula, 1986).

Preglednica 3: Delitev snežnih plazov.

Način trganja	<p style="text-align: center;">Sprijet snežni plaz</p> 	<p style="text-align: center;">Nesprijet snežni plaz</p> 
Oblika gibanja	<p style="text-align: center;">Tekoč snežni plaz</p> 	<p style="text-align: center;">Pršni snežni plaz</p> 
Lega drsne ploskve	<p style="text-align: center;">Vrhni snežni plaz</p> 	<p style="text-align: center;">Talni snežni plaz</p> 
Oblika plazine	<p style="text-align: center;">Pobočen snežni plaz</p> 	<p style="text-align: center;">Žlebast snežni plaz</p> 
Tekoča voda snegu	<p style="text-align: center;">Moker snežni plaz</p>	<p style="text-align: center;">Suh snežni plaz</p>

Vir: Prirejeno po Bacher, 2009.

2.9.1 Plazovi nesprijetega snega

Plazovi nesprijetega snega nastanejo v snežni odeji, ki praktično nima kohezije. Delimo jih na suhe in mokre, glede na vsebnost proste vode v snegu. Nastanejo v točki na ali blizu površja, plaznica pa ima tipično trikotno obliko. Mehanizem nastanka je strogo povezan s koeficientom trenja med zrnji snega, ki ga lahko določimo za vsak tip snega posebej in je odvisen od geometrije zrn, temperature, kohezije in količine vode. Ko naklon pobočja preseže koeficient trenja, je izpolnjen pogoj za zdrs. Sprožijo jih vplivi metamorfizma na kohezijo, sonce ali dež, zopet pa je lahko ključen vpliv človeka (Tremper, 2008).

2.9.2 Plazovi sprijetega snega

Plazovi sprijetega snega nastanejo kadar se na pobočju hkrati odtrga večja gmota snežne odeje in zdrsi v globino. Primer takšnega snežnega plazu je prikazan na spodnji sliki. Možne so splazitve na zelo velikih površinah. Tako kot plazove nesprijetega snega, tudi plazove sprijetega snega delimo na suhe in mokre.



Slika 15: Plazina sprijetega snežnega plazu.

Vir: http://www.trails.com/how_30_avoiding-an-avalanche.html (11. 02. 2011).

2.9.2.1 Plazovi sprijetega mokrega snega

Ko voda pronica skozi snežno odejo, jo destabilizira na dva različna načina in tako povzroči splazitev. Prva možnost je, da voda naleti na neprepustno oviro, nad katero se začne nabirati. Oviro lahko predstavlja na primer dovolj debela sončna ali dežna skorja. Drugi način za oslabitev predstavljajo sloji snega, ki vodo posrkajo vase kot goba (Tremper, 2008).

2.9.2.2 Plazovi sprijetega suhega snega

Plazovi te vrste zagotovo povzročijo največ gmotne škode in smrtnih žrtev. Običajno sestojijo iz treh plasti; dobro sprijeta plast leži na šibkem sloju, ki se nahaja nad temeljno plastjo, po kateri plaz zdrsne. Začetna strižna napoka je najpogostejši vzrok za nastanek te vrste plazu, do katere pride, ko strižna obremenitev preseže strižno nosilnost med seboj slabo sprijetih plasti. Druga možnost je začetna natezna napoka, ki nastane na predelih, kjer se teren prevesi v globino, napne ali izboči, tretja pa začetna tlačna razpoka, ki je posledica tlačne obremenitve (Šegula, 1986).

2.10 Ukrepi za zaščito pred snežnimi plazovi

Nesreče in škodo, ki jo povzročajo plazovi poskušamo preprečiti na več različnih načinov. Ukrepi, ki jih uporabljamo za zaščito pred snežnimi plazovi so bodisi varnostni, bodisi varstveni (Zagotovitev varnosti..., 1999).

2.10.1 Varnostni ukrepi

Varnostni ukrepi za zaščito pred snežnimi plazovi so:

- preventivni (izobraževanje, usposobljenost, obveščenost),

- vzdrževalni (pravočasne zapore cest in smučišč, namerno proženje snežnih plazov (Slika 16)),
- posledični (reševanje ljudi in dobrin v primeru nesreče).



Slika 16: Prikaz proženja snežnih plazov z eksplozivom.

Vir: <http://www.wsdot.wa.gov/Regions/SouthCentral/Avalanche/AvalanchePhotos.htm>
(11.2.2011).

2.10.1.1 Sistem namernega proženja snežnih plazov s strelno cevjo GAZ-EX

GAZ-EX je sistem za nadzorovano proženje manjših snežnih plazov z eksplozijo mešanice kisika in propana. Zaradi številnih prednosti, ki jih ponuja, počasi izpodriva alternativne načine namernega proženja plazov v Evropi in drugod. Je namreč daljinsko voden, zato lahko deluje na nedostopnih terenih in v vseh vremenskih in snežnih razmerah. Prav zaradi daljinske vodenosti, je v primerjavi z miniranjem tudi veliko varnejši za uporabnike. Pri sistemu GAZ-EX pa je, kot pri večini dobrih rešitev, problematični del relativno visoka začetna investicija.

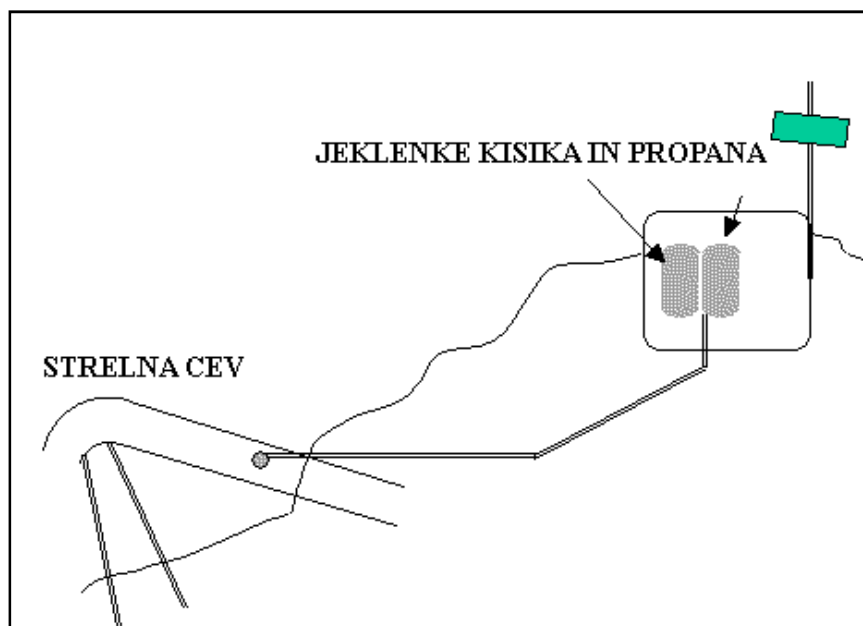
Poleg tega je treba upoštevati dejstvo, da je sistem nepremičen, kar pomeni, da je treba vnaprej kar najbolje predvideti, kam bo strelna cev usmerjena (Horvat, Papež, Cej, 2006).



Slika 17: Strelna cev sistema GAZ EX.

Vir: <http://www.timgood.net/?p=57> (08. 04. 2011).

Sistem je sestavljen iz kontrolnega mesta ter dovodnih in strelnih cevi. Standardno kontrolno mesto ima obliko kupole, v katerem se nahajajo jeklenke kisika in propana, nanj pa je lahko priključeno do pet strelnih cevi. Alternativno kontrolno mesto je v obliki skrinje. To je samostojen sistem, ki je povezan z največ dvema strelnima cevema in je namenjen delovanju v težjih pogojih. Po dovodnih ceveh, ki so od kontrolnega mesta lahko oddaljene največ 400 metrov, se do strelnih cevi ločeno dovajata kisik in propan. Na podlagi daljinskega ukaza se pomešata v strelno cev in s pomočjo električne vžigalne naprave povzročita eksplozijo. Udarni val plinov zadane snežno odejo s hitrostjo 500 do 600 m/s in sproži plaz (Horvat, Papež, Cej, 2006).



Slika 18: Prikaz delovanja sistema GAZ-EX.

Vir: Prirejeno po <http://pistehors.com/backcountry/wiki/Avalanches/Gazex> (11. 01. 2011).



Slika 19: Kontrolno mesto v obliki kupole.

Vir: <http://pistehors.com/backcountry/wiki/Avalanches/Gazex> (11. 01. 2011).

2.10.2 Varstveni ukrepi

Varstvene ukrepe delimo na aktivne in pasivne ukrepe za zaščito pred snežnimi plazovi. Aktivni ukrepi preprečujejo splazitev snega, medtem ko pasivni ukrepi preprečujejo, da bi plaz dosegel in poškodoval ljudi, objekte in infrastrukturo. Varstveni ukrepi torej trajno preprečujejo sam nastanek plazov oziroma plaz zaustavijo, ko se enkrat sproži. Takšna zaščita predstavlja predvsem velik začetni finančni zalogaj, vendar pa po drugi strani, v primeru dobre izvedbe, trajno varuje ljudi in objekte (Zagotovitev varnosti..., 1999).

- aktivni ukrepi: pogozdovanje, snežni mostovi, snežni plotovi ...
- pasivni ukrepi: galerije, predori, jezovi, nasipi ...

2.10.2.1 Pogozdovanje

Pogozdovanje je aktivni varstveni ukrep, ki je pogosto uporabljen v kombinaciji z ostalimi aktivnimi varstvenimi ukrepi v obliki konstrukcij. V začetku razraščanja gozda so ti dodatni ukrepi nujni, saj v nasprotnem primeru plaz mlada drevesa poškoduje in izruje. Ko se gozd enkrat dovolj razraste, je pobočje varno in potrebe po konstrukcijah, ki varujejo pred trganjem snežne odeje ni več, saj to vlogo prevzame gozd. Ta ukrep je seveda pogojen z nadmorsko višino, saj lahko pogozdujemo le do gozdne meje.

2.10.2.2 Snežni mostovi

Snežni mostovi, prikazani na slikah 20 in 21, so vrsta podporne konstrukcije, ki v snegu predstavlja določeno diskontinuiteto in s tem preprečuje nastanek plazov v območju trganja. Njihova osnovna naloga je nuditi podporo snežni odeji in s tem omejiti propagacijo razpoke v snegu ter zmanjšati začetni volumen plazov v primeru, ko do njega vendarle pride. (McClung, Schaerer, 2006).



Slika 20: Zasuti snežni mostovi ne morejo več preprečevati zdrsa snega.

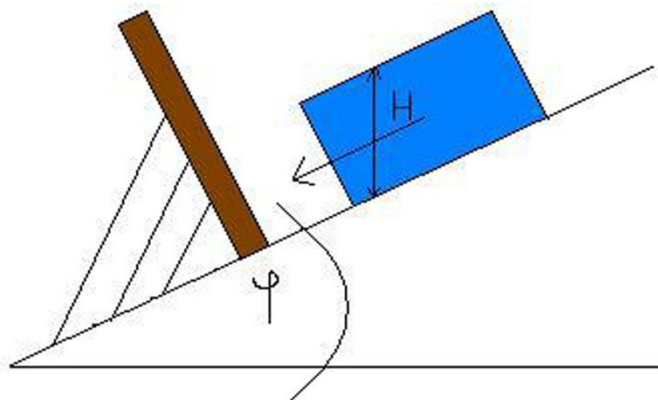
Vir: Bacher, 2009b.



Slika 21: Snežni mostovi uspešno opravljajo svojo nalogo.

<http://www.shutterstock.com/pic-38771569/stock-photo-avalanche-control-to-protect-against-snow-avalanches.html> (11. 02. 2011)

Najbolj običajen material za njihovo gradnjo je železo, gradimo pa jih pod kotom 90 do 105 stopinj glede na naklon pobočja. Gradimo jih v strnjenih linijah v medsebojnem razmaku 10 do 40 metrov. Medsebojni razmak je funkcija naklona pobočja in višine snežne odeje. Konstrukcija mora biti visoka vsaj toliko, kot je na specifičnem pobočju pričakovana višina snežne odeje s povratno dobo 100 let. Pri njenem dimenzioniranju je treba upoštevati sile, ki nastanejo pri zdrsu in lezenju snežne odeje ter pri udarcih manjših snežnih plazov. Zdrs snega proti snežnemu mostu je prikazan na spodnji sliki.



Slika 22: Zdrs snega proti snežnemu mostu.

$$S = \gamma \frac{H^2}{2} KN \dots\dots\dots(1)$$

Kjer so:

S ... sila v snegu, ki je vzporedna s podlago [N],

γ ... specifična teža snega, $\gamma = \rho g$, [N/m³]

ρ ... gostota snega [kg/m³],

H ... vertikalno merjena višina snega [m],

K ... faktor lezenja, prikazan v preglednici 4, ki je funkcija naklona in gostote [-].

Preglednica 4: Prikaz odvisnosti faktorja lezenja od gostote snega.

ρ (kg/m ³)	200	300	400	500	600
$K/\sin 2\varphi$	0.7	0.76	0.83	0.92	1.05

Kjer je:

N ... faktor zdrsa, prikazan v spodnji tabeli.

Preglednica 5: Faktor zdrsa hrapavih in gladkih površin.

Hrapavost in ekspozicija	N
Hrapave površine, obrnjene na sever	1.2
Gladke površine, obrnjene na jug	3.2

2.10.2.3 Snežni plotovi

Pavle Šegula (1986) v svoji knjigi »Sneg, led, plazovi« o snežnih plotovih pravi da snežni plotovi preprečujejo nastanek zametov in sploh nastanek preveč debele snežne odeje. Postavljamo jih predvsem na položnejših krajih in manjših strminah, visoki so do 5 metrov.

Plotovi, kot je ta prikazan na spodnji sliki, vplivajo na zračni tok. Ta odlaga sneg daleč od njih, zato so zelo uporabni za zaščito cest in železniških prog. Kadar so postavljeni na grebenskih slemenih, preprečujejo nastajanje opasti. Napihan sneg v odvetrju se pomakne niže na pobočje. Od grebena morajo biti oddaljeni za svojo 20- do 30-kratno višino. Za njihov optimalni učinek mora biti razmerje med površino plotov in odprtini v njih približno enako.



Slika 23: Snežni plotovi prerazporejajo sneg, ki ga prenaša veter. (foto: Procter, 2008)

2.10.2.4 Jezovi

Osnovna naloga snežnih jezov je, da prestrežejo ali preusmerijo snežni plaz. To so masivni objekti, ki so običajno zgrajeni iz zemlje, skal ali betona. Če želimo z njimi prestreči plaz, jih postavimo na tistem delu pobočja, kjer plaz že izgublja svojo moč in hitrost, če pa ga želimo preusmeriti, potem naj bodo zgrajeni v območju gibanja plazu in naj njegove smeri ne preusmerijo za več kot 30–35 stopinj (McClung, Schaerer, 2006).

2.10.2.5 Galerije

Snežne galerije, kot je galerija na železniški progi v Soteski, ki je prikazana na sliki 24, se uporabljajo za varovanje cest in železnic. Ob pravilni izgradnji predstavljajo popolno zaščito ogroženemu objektu. Njihova pomanjkljivost je predvsem cena, poleg tega pa tudi zmanjšujejo prometno preglednost (Pavšek, 2007).



Slika 24: Lavinska galerija na železniški progi Jesenice – Bohinjska Bistrica v Soteski.

Vir: Pavšek, 2007.

2.10.3 Zakonske podlage

V državah, kjer je nevarnost snežnih plazov velika je ena izmed najpomembnejših metod za zaščito pred snežnimi plazovi preventivni ukrep izdelovanja kart nevarnosti. Na takšnih kartah so natančno načrtana območja nevarnosti, glede na kriterije, ki jih posamezna država določi.

V Sloveniji ne obstaja zakon, ki bi obravnaval izključno snežne plazove. Ti so obravnavani v Zakonu o vodah¹, kjer je zapisano, da tako kot za poplavna območja, tudi za plazovita

¹ Zakon o vodah, UL RS 67/2002, členi: 83 – 85, 87, 89.

območja veljajo točno določene prepovedi, omejitve in zapovedi. Zakon je težko upoštevati, saj kljub 89. členu, ki pravi: »Za plazovito območje se določijo zemljišča, kjer zaradi klimatskih in topografskih razlogov redno prihaja do pojava snežnih plazov ali pa obstoja velika verjetnost, da se pojavijo,« več kot katastra snežnih plazov in nekaterih specifičnih področnih študij nimamo. V Sloveniji bi bilo nujno tudi na področju snežnih plazov, tako kot na področju poplavnih območij, izdelati karte nevarnosti. Karte nevarnosti sicer ne preprečijo nastanka snežnih plazov, vendar pa prispevajo levji delež k zmanjšanju verjetnosti škodnih posledic.

2.10.3.1 Karte nevarnosti snežnih plazov v tujini

V Avstriji in Švici je izdelovanje kart nevarnosti že postalo stalna praksa. Za njihovo izdelavo sta pomembna dva kriterija, in sicer povratna doba plazu in njegova moč, izražena kot pritisk plazu na primer na steno stavbe (Höller, 2007).

Pri izdelavi zemljevidov nevarnih območij uporabljamo rezultate dveh metod. Prva je zgodovinska metoda, druga pa metoda z računalniškimi modeli. Pri zgodovinski metodi se zbira in ocenjuje podatke o preteklih dogodkih. Te podatke najdemo v pisni obliki v starih časopis, arhivih cerkva, šol in knjižnic. Pri ustnem izročilu se obračamo na ljudi, ki dobro poznajo določena ogrožena območja, kot so lovci, kmetje in gozdarji. Veliko informacij lahko dobimo tudi na samih območjih in sicer z opazovanjem vegetacije in nanosov snega v območju odlaganja plazu. Pri tej metodi problem predstavlja subjektivna interpretacija dogodkov, tako v pisni obliki kot v podatkih ustnega izročila. Predvsem se ne more natančno določiti števnih parametrov, kot so velikost odlagalne cone plazu, pritisk s katerim plaz zadane stavbo in njegova povratna doba. V nekaterih predelih pa podatki sploh ne obstajajo, tako zaradi nezainteresiranosti prebivalstva kot tudi zaradi kratke poseljenosti območja. Iz zgoraj naštetih razlogov je torej treba zbirati podatke tudi z računalniškimi modeli, s pomočjo katerih poskušamo določiti velikost odlagalne cone, to je območja v katerem se plaz ustavi in odloži ves material, ki ga je v začetku odnesel in med potjo potegnil za seboj. Rezultate teh modelov lahko primerjamo s podatki o dobro znanih plazovih, kar nam pomaga umeriti model. To je bistvenega pomena za ocenjevanje območij, za katera ne obstajajo zgodovinski

podatki (Sauer Moser, 2006). Modeli za simulacijo dinamike snežnih plazov so podrobneje omenjeni v poglavju 2.13 Modeli za simulacijo dinamike snežnih plazov.

Kot opisujeta Ammann in Föhn (1999) so v Švici zemljevidi razdeljeni v naslednja območja oziroma cone:

- Rdeča cona velja za plazove s povratno dobo do 300 let in pritiskom nad 30 kN/m^2 in za plazove s povratno dobo do 30 let, neodvisno od pritiska, ki ga povzročijo.
- Modra cona velja za plazove s povratno dobo med 30 in 300 let s pritiskom do 30 kN/m^2 .
- Rumena cona se nanaša na pršne plazove s povratno dobo večjo od 30 let in pritiskom manjšim od 3 kN/m^2 in na suhe snežne plazove s povratno dobo večjo od 300 let.

V Avstriji od leta 1999 veljajo naslednja pravila, ki so razložena tudi na internetnih straneh Avstrijskega ministrstva za okolje, cone pa so razvidne tudi na sliki 25.

- Rdeča cona se nanaša na območja, v katerih je nevarnost plazov tako velika, da poseljenost območja ter uporaba območja za infrastrukturo in promet ni dovoljena. Sem spadajo plazovi s povratno dobo od enega do 150 let, ki na objektu ustvarijo pritisk večjim ali enakim 10 kN/m^2 . Rdeča cona vključuje tudi območja, ki so ogrožena z manjšimi vendar bolj pogostimi plazovi.
- Rumena cona zajema območja z reducirano nevarnostjo med rdečo cono in mejo območja, kjer se končajo škodne posledice plazovnih dogodkov s povratno dobo med 100 in 150 let. V tem območju je dovoljena gradnja stavb in infrastrukture pod pogojem, da je ta ustrezno zavarovana in primerno ojačana (stavbe morajo imeti ojačane zidove, okna in vrata ne smejo biti obrnjena v smer plaznice, streha mora biti ustrezno pričvrščena). Ljudje na tem območju naj bi bili varni znotraj stavb, na prostem pa so kljub vsemu ogroženi. Sem spadajo plazovi s povratno dobo od enega do 150 let, ki na objektu ustvarijo pritisk med enim in 10 kN/m^2 .
- V rjavi coni ni nevarnosti snežnih plazov in poplav, pač pa nevarnost padca kamenja in zemeljskih plazov.

- Modra cona zajema območja, ki so potrebna za izgradnjo varovalnih konstrukcij v prihodnosti, sem pa spadajo tudi gozdovi z varovalno funkcijo, ki potrebujejo posebno skrb, da bodo svojo vlogo opravljali tudi v nadaljnje.
- Vijolična cona je območje, v katerem je narava sama ustvarila zaščito, kot na primer naravni zemeljski jez, za okoliške naselbine. Takšno območje je zaščiteno in v njem niso dovoljeno nikakršne spremembe (Austrian service..., 2009).



Slika 25: Na primeru izrisana območja nevarnosti.

Vir: Austrian service..., 2009.

2.10.3.2 Karte nevarnosti snežnih plazov v Sloveniji

Na osnovi dosedanjih izkušenj v Sloveniji Horvat (2001) predlaga našim razmeram ustrezno prirejeni švicarski način izdelave načrtov nevarnosti snežnih plazov, ki je teoretično bolj utemeljen in v praksi že bolj razvit od avstrijskega ter omogoča praktično uporabo.

Načrte nevarnosti je razdelil na naslednji dve območji:

- Rdeča območja so območja močne intenzitete pojava. Sem spadajo površine, na katerih lahko pride do uničenj objektov ali njihovih delov. V objektih je pričakovati tudi smrtne žrtve. To so površine, kjer doseže pritisk snežnega plazov 30kN/m^2 in več.

- Rumena območja so območja majhne in srednje intenzitete pojava. Sem spadajo površine, na katerih ni pričakovati uničenj objektov ali njihovih delov, če so le zgrajeni skladno z zahtevanimi proti plazovnimi pogoji, kar pomeni, da zdržijo obremenitve do 30kN/m^2 . Pričakovani pritiski se na teh površinah gibljejo med 3 in 30kN/m^2 .

V Sloveniji povratna doba ni uporabljena kot kriterij za določanje meja območij nevarnosti, saj ne obstaja dovolj dolg niz podatkov za realno, strokovno utemeljeno določitev povratne dobe.

2.11 Nevarnost snežnih plazov v Sloveniji

Po oblikah površja razgibani in pokrajinsko raznoliki Sloveniji nevarnost predstavljajo številne naravne nesreče, med drugim tudi snežni plazovi. To še posebej velja za gorate in hribovite alpske pokrajine z vmesnimi, bolj ali manj obljudenimi dolinami in kotlinami. V naseljenih področjih se torej srečujemo z nevarnostjo snežnih plazov in posledično z ogroženostjo objektov, infrastrukture in ljudi.

Da lahko nek objekt definiramo kot ogrožen in neko območje kot nevarno, moramo najprej poznati nekatere osnovne pojme, kot so plazovna nevarnost, plazovna ogroženost, elementi ogroženosti in njihova ranljivost. Pri definicijah teh pojmov sta nam v pomoč Pravilnik² in Uredba³, ki sta bila izdana na podlagi Zakona o vodah (2002), saj podoben zakon, ki bi obravnaval izključno plazove, zaenkrat pri nas še ne obstaja.

- Plazovna nevarnost je možnost nastanka snežnih plazov predvsem kot posledica naravnih dejavnikov, vključuje pa tudi posledice človekovega delovanja.

² Pravilnik, UL RS 60/2007.

³ Uredba, UL RS 89/2008.

- Plazovna ogroženost je možnost škodnih posledic, predvsem za življenje in zdravje ljudi, okolje, gospodarske in negospodarske dejavnosti ter kulturno dediščino zaradi njihove izpostavljenosti plazovni nevarnosti.
- Elementi ogroženosti so predvsem ljudje, okolje, gospodarske in negospodarske dejavnosti ter kulturna dediščina.
- Ranljivost elementov ogroženosti pomeni njihovo izpostavljenost in dovzetnost za poškodbe zaradi snežnih plazov in je odvisna od fizičnih, socialnih in gospodarskih elementov in procesov (npr. prostorske lege, strukturne odpornosti, časovne izpostavljenosti).
- Povratna doba T je verjetnost, da se nek dogodek (v našem primeru snežni plaz) v T letih povprečno ponovi enkrat (Brilly, Šraj, 2005).

Pojma nevarnost in ogroženost sta postala natančno definirana z že omenjenim Pravilnikom iz leta 2007 in Uredbo iz leta 2008. Zavedamo se torej, da šele nevarnost in ranljivost skupaj vodita v ogroženost. V študijah, omenjenih v nadaljevanju, ki so bile kot viri uporabljene v tej nalogi in so bile napisane pred sprejetjem teh dveh dokumentov, ta pojma torej še nista strogo ločena. Iz tega razloga so nekateri izrazi temu primerno prirejani.

2.11.1 Temeljni viri za preučevanje nevarnosti snežnih plazov v Sloveniji

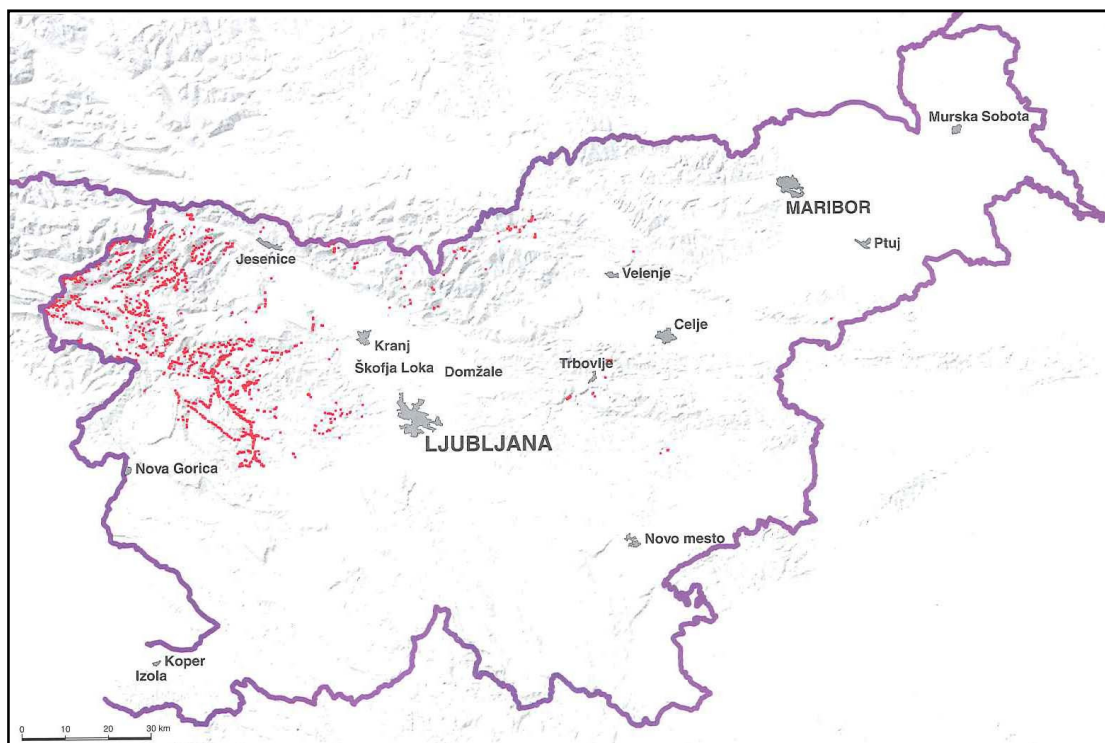
Temeljni vir za preučevanje snežnih plazov v Sloveniji je kataster snežnih plazov, ki so ga leta 1994 pripravili Bernot in sodelavci (Pavšek, 2002). Ta je nastajal v okviru sodelovanja Hidrometeorološkega zavoda Slovenije in Podjetja za urejanje hudournikov (PUH) (Gams, 2003/2004). Namen izdelave lavinskega katastra je bila predvsem podrobnejša prostorska predstavitev dejanske ogroženosti slovenskega površja zaradi snežnih plazov na tematskih zemljevidih in osnovna analiza sestavin lavinske ogroženosti (Pavšek, 2002).

V Sloveniji je bila leta 1994 izdelana tudi študija z naslovom »Ogroženost Slovenije s snežnimi plazovi«, ki so jo pripravili Horvat in sodelavci s Podjetja za urejanje hudournikov. Študija temelji na katastru snežnih plazov in je pokazala, da je v Sloveniji bistveno večja nevarnost snežnih plazov, kot so kazali rezultati dotedanjih raziskav. Na podlagi podatkov je

bilo opisanih, kartiranih in računalniško obdelanih 1246 plazov. Pregledane so bile plaznice, meteorološki podatki, ogroženost prometa in drugih objektov. Na podlagi dobljenih podatkov je bil nato izdelan natančen pregled o njih.

Leta 1999 je bila izdelana študija »Zagotovitev varnosti pred snežnimi plazovi na državnih cestah republike Slovenije« s ciljem pregleda varnosti na cestnih prometnicah v Sloveniji. Na Podjetju za urejanje hudournikov jo je za Ministrstvo za promet pripravil dr. Aleš Horvat. V njej so bile na podlagi študije iz leta 1994 predstavljene konkretne rešitve za vsak posamezni obravnavani odsek oziroma plaz ter finančna analiza sredstev, potrebnih za ukrepanje.

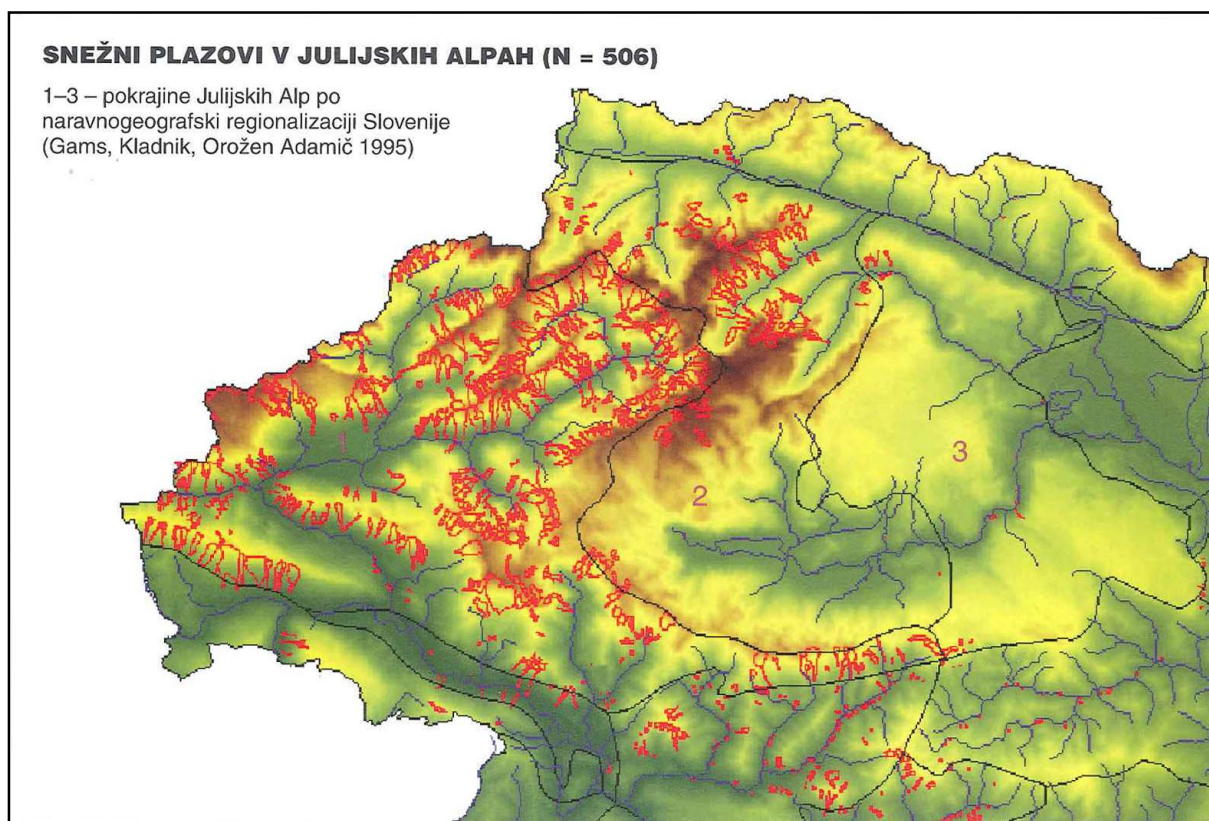
Leta 2002 je Miha Pavšek v knjigi Snežni plazovi v Sloveniji nadgradil kataster snežnih plazov. Avtor je v njej vsako od 1257-ih plaznic obdelal s 47-imi kriteriji, produkt tega dela pa so številni kartografski prikazi za Slovenijo, Predalpsko in Alpsko hribovje ter preglednice in grafikoni v povezanosti z njim (Gams, 2003/2004). Prikaz snežnih plazov iz lavinskega katastra je prikazan na spodnji sliki.



Slika 26: Snežni plazovi iz lavinskega katastra za Slovenijo.

Vir: Pavšek, 2002.

Pavšek (2002) se je v svojem delu osredotočil na plazove na območju Julijskih Alp, saj je delež pri skupni površini plazov na tem območju, upoštevajoč njihov maksimalen obseg, kar 94odstoten. Podroben prikaz snežnih plazov na območju Julijskih Alp iz lavinskega katastra je prikazan na sliki 27.



Slika 27: Snežni plazovi iz lavinskega katastra za Slovenijo na območju Julijskih Alp.

Vir: Pavšek, 2002.

Leta 2004 so dr. Aleš Horvat in sodelavci s Podjetja za urejanje hudournikov pripravili študijo »Izdelava ocene ogroženosti s snežnimi plazovi in ukrepov zaščite in reševanja ob povečani ogroženosti s snežnimi plazovi – na vzorčni občini Bovec,» v kateri so obdelali 278 snežnih plazov, od katerih najmanj sto štirje ogrožajo ceste, stanovanjske in poslovne objekte, organizirana smučišča in daljnovode. V študiji so podali načrt zaščite in reševanja pred snežnimi plazovi in predloge za zapore državnih, regionalnih in gozdnih cest.

2.11.2 Izvedeni ukrepi za zaščito pred snežnimi plazovi v Sloveniji

V Sloveniji je bilo do danes izdelanih več različnih študij za zagotovitev varnosti in na njihovi podlagi podanih več raznovrstnih rešitev. Tako se uporabljajo različni varnostni in varstveni ukrepi. Pod varnostne ukrepe spadajo pravočasne zapore ogroženih območij, kot so ceste, železnice in organizirane smučarske površine ter namerno proženje snežnih plazov. Med varstvene ukrepe pa štejemo oporne objekte v samem predelu sprožanja snežnih plazov, kot so snežni mostovi, ki preprečujejo trganje snežne odeje in jo obdržijo na svojem mestu. Sem spadajo tudi galerije in mostovi nad ogroženimi odseki ceste, s katerimi premostimo plazne drče (Zagotovitev varnosti..., 1999).

V Sloveniji bi morali delati predvsem na tem, da bi se nevarna območja varovalo s celovito, sistemsko zaščito, saj je zaprtje odsekov cest in železnic za daljši čas finančno predrag zalogaj (Zagotovitev varnosti..., 1999).

Med pomembnejše izvedene ukrepe v Sloveniji spadajo:

- protilavinski objekti na Vitrancu,
- protilavinski objekti na Zasavski cesti med Renkami in Zagorjem,
- protilavinski ukrepi na avtocestnem odseku Hoče – Arja vas,
- protilavinski objekti v Dolžanovi soteski,
- protilavinski objekti na avtocestnem odseku Hrušica – Vrba,
- usmerjevalni nasip ob C postaji kaninske žičnice,
- sistem namernega proženja snežnih plazov na smučišču Kanin,
- in številni drugi.

2.11.2.1 Protilavinski ukrepi na avtocestnem odseku Hrušica – Vrba

Kot prvi primer uspešnega varstva pred snežnimi plazovi bomo predstavili ukrepe, izvedene na avtocestnem odseku Hrušica – Vrba, saj je to edina celovita zaščita ogroženega objekta do sedaj pri nas (Horvat, Papež, Koren, 2006).

Izgradnja zaščite ogroženega objekta, katerega je bilo nemogoče zgraditi drugje kot na nevarnem območju, je bila dokončana leta 1995. Gre za avtocestni odsek Hrušica – Vrba pod pobočjem Mežakle. Projekt »Zaščita avtoceste Hrušica – Vrba« so leta 1991 pripravili na Podjetju za urejanje hudournikov. Za zaščito so bili uporabljeni protilavinski oporni objekti v štirih plaznih drčah neposredno nad avtocesto in pa povečanje hrapavosti terena z zaraščanjem med tehničnimi elementi. Promet na avtocesti sedaj poteka varno, potrebno je le nadziranje tehničnih objektov in njihovo vzdrževanje (Horvat, Papež, Koren, 2006).



Slika 28: Štiri plazne drče na pobočju Mežakle, na katerih je bila izvedena protiplazovna zaščita.

Vir: Horvat, Papež, Koren, 2006.

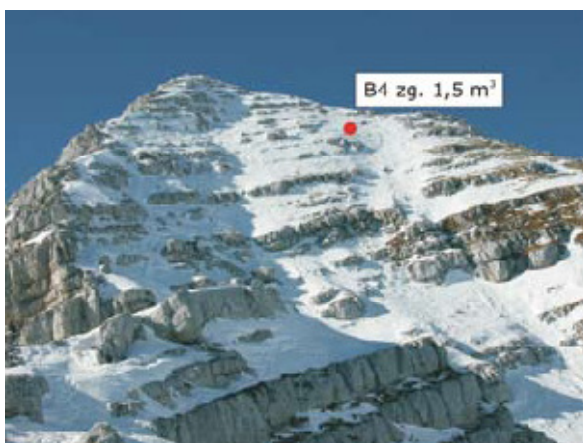
2.11.2.2 Sistem namernega proženja snežnih plazov na smučišču Kanin

Kot drugi primer zaščite pred snežnimi plazovi bomo kot alternativo ustaljenim varstvenim ukrepom predstavili sistem namernega proženja snežnih plazov na smučišču Kanin.

Leta 2005 so na Podjetju za urejanje hudournikov pripravili projektno dokumentacijo »Štirisedežnica in smučarska proga Prevala – načrt varovanja pred snežnimi plazovi« na podlagi katere je bil zgrajen sistem namernega proženja snežnih plazov GAZ-EX na smučišču

Kanin. Izgradnja zaščite je bila nujno potrebna, ko je ATC Kanin zgradil novo štirisedežnico, ki povezuje obstoječe smučišče s smučarskim središčem Sella Nevea v Italiji (Horvat, Papež, Cej, 2006).

Postavljena sta bila dva ločena sistema varovanja. Prvi, z imenom Prestreljenik zgoraj (slika 29), ima obliko kupole s katero sta povezani dve strelni cevi. Drugi sistem z imenom Prevala (slika 30) pa je samostojen sistem s kontrolnim mestom v obliki skrinje, na katerega je priključena ena strelna cev. Projekt je zastavljen tako, da ga je po potrebi možno nadgraditi (Horvat, Papež, Cej, 2006).



Slika 29: Sistem Prestreljenik zgoraj.

Vir: Horvat, Papež, Cej, 2006.



Slika 30: Sistem Prevala pod
Prestreljeniškim vršičem.

Vir: Horvat, Papež, Cej, 2006.

2.12 Osnovne enačbe za izračun dinamike snežnih plazov

Pri snežnih plazovih želimo definirati naslednje tri bistvene vrednosti:

- hitrost plazov,
- doseg plazov,
- pritisk oziroma udarno silo plazov.

2.12.1 Voellmy–Salmov model

Voellmy–Salmov model je med uporabniki močno priljubljen predvsem zato, ker je relativno preprost za uporabo, saj zahteva majhno število vhodnih parametrov. Pri njegovi uporabi pa se moramo zavedati, da dostikrat preveč poenostavi tok plaznice in seveda ne smemo pričakovati preveč natančnih rezultatov. Kot pri vseh numeričnih modelih moramo biti torej dovolj strokovno podkovani, da lahko dobljene rezultate pravilno interpretiramo (Christen, Bartelt, Gruber, 2002).

Ko začnemo razmišljati o sami dinamiki snežnih plazov, moramo najprej definirati njihov tip gibanja. Ta je nestalen in neenakomeren, saj se vzdolž celotne plaznice spreminjata pospešek in trenje ter globina in prerez. Pri sprijetih plazovih govorimo o enakomerni porazdelitvi hitrosti v prerezu, česar pri pršnih plazovih ni (Bacher, 2009a). Voellmy je tok plaz poenostavil v stalni enakomerni tok in sicer v točki, kjer plaz že doseže maksimalno hitrost (Rajar, 1979).

2.12.1.1 Enačbe za določitev maksimalne hitrosti plaz

Osnovni problem pri modeliranju gibanja plazov je prav pravilna določitev maksimalne hitrosti plaz. Ta je v Voellmy–Salmovem modelu odvisna od debeline snega, naklona pobočja in dveh koeficientov trenja. Poleg hitrosti nas zanimata še doseg plaz ter pritisk, ki ga ta povzroči, vendar pa bomo kmalu razjasnili, da sta ti dve komponenti le funkciji hitrosti (Rajar, 1979).

Najprej moramo razjasniti, o kakšni hitrosti sploh govorimo. Ker je gibanje plaz nestalen pojav, nam zagotovo hitro postane jasno, da nas v primeru snežnega plaz zanimata njegova maksimalna hitrost. Ko se plaz sproži, je njegova začetna hitrost praktično enaka nič, vendar pa v zelo kratkem času močno naraste. Gre torej za pospešeno gibanje, ki v neki točki P doseže maksimalno hitrost, nato pa se, ko vse sile upora (zrak, trenje ...) presežejo sile gravitacije in vztrajnosti, to gibanje prevesi v pojemajoče, vse dokler se plaz ne ustavi (Rajar, 1979).

Voellmy je torej postavil osnovno enačbo za maksimalno hitrost in jo razložil takole: »Na snežno plast, ki ima vertikalno merjeno debelino H' in drsi po pobočju s konstantnim naklonom ψ , deluje ob dnu upor trenja, ki je proporcionalen ploščini kontaktne površine (koeficient drsenja ξ) in pri turbolentnem odtoku proporcionalen srednji hitrosti v in prostorninska teža snega γ . Razen tega nanj deluje še upor trenja, ki je proporcionalen ploščini površine in sili, ki deluje normalno na površino. Ta proporcionalnostni faktor je μ , koeficient trenja« (Rajar, 1979).

Z upoštevanjem prostorninske teže zraka $\gamma_z = 12,5 \text{ N/m}^3$ je Voellmy zapisal enačbo za del drseče plasti snega, katere horizontalna projekcija je enaka enoti površine (R. Rajar, 1979).

Velja, da je vsota sil enaka zmnožku mase in pospeška:

$$\sum F = m a \quad (2)$$

$$(\gamma - \gamma_z)H' \sin \psi - (\gamma - \gamma_z)\mu H' \cos \psi - \frac{\gamma}{\xi} v^2 = \frac{\gamma H'}{g} \frac{dv}{dt} \quad (3)$$

Z rešitvijo diferencialne enačbe dobimo:

$$v_{max} = \sqrt{\xi H' \left(1 - \frac{\gamma_z}{\gamma}\right) (\sin \psi - \mu \cos \psi)} \quad (4)$$

Kjer so:

v ... hitrost [m/s^2]

H' ... vertikalno merjena višina napoke snežne odeje [m]

γ ... prostorninska teža snega [N/m^3]; $\gamma = \rho g$

γ_z ... prostorninska teža zraka [N/m^3]

ρ ... gostota snega [kg/m^3],

ψ ... naklonski kot pobočja [$^\circ$]

μ ... Colombov koeficient kinetičnega (ali statičnega) trenja [-]

ξ ... koeficient turbulentnega trenja ali koeficient hitrosti kot ga imenuje Voellmy [m/s^2] (Rajar, 1979).

Ker je γ_z v primerjavi z γ zanemarljivo majhen, lahko člen $\frac{\gamma_z}{\gamma}$ zanemarimo. Naredimo tudi manjšo poenostavitev in namesto vertikalno merjene višine napoke snežne odeje H' uporabimo kar pravokotno merjeno višino napoke snežne odeje H (Rajar, 1979).

Iz tega sledi končna enačba za izračun maksimalne hitrosti snežnega plazua, ki se glasi:

$$v_{max} = \sqrt{\xi H (\sin \psi - \mu \cos \psi)} \quad (5)$$

To enačbo lahko razložimo s hidravličnega vidika, saj se plaz do določene mere obnaša kot tekočina. Ker pa se do določene mere obnaša tudi kot trdno telo, se torej lahko ustavi na nagnjenem pobočju (kar je npr. pri vodi nemogoče), je Voellmy v svoji enačbi upošteval dva koeficienta trenja in s tem dve sili upora (Rajar, 1979).

Prva sila upora je odvisna samo od kinetičnega koeficienta μ in od sile, ki deluje pravokotno na pobočje. Člen $\mu \cos \psi$ je torej enak členu, ki ga upoštevamo pri drsenju togega telesa po podlagi in ni odvisen od hitrosti. Druga sila upora je odvisna od kvadrata hitrosti in zajema tekočinske lastnosti snega. Tako smo torej upoštevali gibanje plazua delno kot gibanje tekočine in delno kot gibanje trdnega telesa (Rajar, 1979).

Razponi prej omenjenih koeficientov se pri različnih avtorjih razlikujejo. V programu AVAL 1D se predlagane vrednosti za koeficient μ gibajo med $0.16 \leq \mu \leq 0.43$ in za koeficient ξ med $400 \leq \xi \leq 2500$ in so odvisne od:

- velikosti plazua (majhen, srednji, velik),
- oblike plaznice (pobočna, žlebasta),
- nadmorske višine (nad 1500 m.n.v., med 1000 in 1500 m.n.v. in pod 1000 m.n.v.),
- povratne dobe plazua (300 in 30 let).

2.12.1.2 Enačbe za določitev dosega plazu

Pri določanju dosega plazu, je najbolj pomembna izbira že prej omenjene točke P. To je točka, v kateri plaz doseže svojo maksimalno hitrost. Poleg tega bo točnost izračuna zopet temeljila tudi na izbiri obeh koeficientov trenja (Rajar, 1979).

Enačba za doseg plazu, na kateri temelji program AVAL 1D je nekoliko spremenjena Voellmyjeva enačba, ki jo je zapisal Frutiger.

$$S = v_{max}^2 / [-2g\phi_u + 10g^2\phi / (10gH_p + R\xi\phi)] \quad (6)$$

kjer so:

S ... razdalja dosega od točke P do končne točke [m]

v_{max} ... maksimalna hitrost [m/s]

$\phi = (\sin \psi - \mu \cos \psi)$ v točki P

$\phi_u = (\sin \psi_u - \mu \cos \psi_u)$ v coni izteka

R ... hidravlični radij [m]

H_p ... debelina snega v točki P [m]

ψ ... naklon cone bližanja plazu nad točko P, ki mora biti dovolj dolga (od 150 do 200 metrov), da lahko plaz v njej doseže maksimalno hitrost [%]

ψ_u ... naklon cone izteka [%]

μ ... koeficient kinetičnega trenja [-]

ξ ... koeficient turbulentnega trenja [m/s²]

g ... gravitacijski pospešek, 9.81 m/s² (Rajar, 1979).

2.12.1.3 Enačbe za določitev pritiska plazov

Za izračun pritiskov, ki jih povzroči plaz oziroma t. i. udarne sile plazu, se uporablja dve različni teoriji, ki ju je podrobneje povzel Rajar (1979):

- izrek o ohranitvi energije,
- izrek o gibalni količini.

Izrek o ohranitvi energije

Pri zakonu o ohranitvi energije se opiramo na Bernoullijevo enačbo in za energijo plaz v preseku pred udarcem ob oviro zapišemo:

$$E = H' + \frac{v^2}{2g} \quad (7)$$

kjer sta:

v ... hitrost [m/s^2]

H' ... vertikalno merjena višina napoke snežne odeje [m].

Predpostavimo, da plaz ovire ne more niti obiti niti prečiti in se torej ob njej popolnoma ustavi. To pomeni, da se vsa energija pretvori v pritisk plaz na oviro:

$$p = \gamma \left(H' + \frac{v^2}{2g} \right) \quad (8)$$

Upoštevamo še:

$$\gamma = \frac{\gamma_z - \gamma_k}{2} \quad (9)$$

γ ... srednja prostorninska teža snega med stiskanjem [N/m^3]

γ_z ... začetna prostorninska teža snega [N/m^3]

γ_k ... končna prostorninska teža snega [N/m^3].

Enačbo za pritisk plaz na oviro zapišemo v končni obliki:

$$p = \rho \gamma \left(H' + \frac{v^2}{2g} \right) = \rho g H' + \frac{\rho v^2}{2} \quad (10)$$

Izrek o gibalni količini

Izrek o gibalni količini pravi, da je sunek sile enak spremembi gibalne količine:

$$F dt = m dv \quad (11)$$

kjer velja, da je masa enaka zmnožku gostote in spremembe prostornine:

$$m = \rho dV \quad (12)$$

Enačbo (11) zapišemo v naslednji obliki:

$$F = \frac{\rho dV dv}{dt} \quad (13)$$

Upoštevamo, da je pretok enak:

$$\frac{dV}{dt} = Q = S v \quad (14)$$

in, da je končna hitrost enaka 0:

$$dv = v \quad (15)$$

Z upoštevanjem enačb (14) in (15) lahko enačbo (13) sedaj zapišemo kot:

$$F = \rho S v^2 \quad (16)$$

oziroma v končni obliki za pritisk:

$$p = \frac{F}{S} = \rho v^2 \quad (17)$$

Enačbi (10) in (17) se bistveno razlikujeta. Z enačbo (10) bolje definiramo pritisk plazov, ki nastane, ko sneg zadane oviro, z enačbo (17) pa pritisk za kasnejši tok snega.

2.13 Modeli za simulacijo dinamike snežnih plazov

Dandanes na tržišču obstaja pestra ponudba različnih računalniških programov in metod za proučevanje snežnih plazov, ki igrajo pomembno vlogo pri izdelavi načrtov nevarnosti za območja s potencialno nevarnostjo snežnih plazov.

Poznamo takšne in drugačne numerične in empirične modele, s katerimi pridobivamo ključne podatke o plazovih, kot so hitrost plazov, njegov doseg, pritisk, ki ga povzroči in drugo. Ti modeli se razlikujejo tako po temeljnih enačbah, na katerih temeljijo, in s tem po načinu izračuna pomembnih končnih rezultatov, kot tudi glede na tip snežnega plazov, ki ga lahko v določenem programu obravnavamo.

Za simuliranje pršnih snežnih plazov velikih razsežnosti je na primer v Avstriji v uporabi tridimenzionalen numerični program SAMOS, ki so ga razvili na njihovem inštitutu za snežne plazove (Gruber, Bartelt, 2007).

Kot enega najbolj razširjenih empiričnih modelov lahko izpostavimo Norveško metodo za določanje dosegov snežnih plazov. Norveška metoda je v nasprotju z dinamičnimi modeli veliko bolj enostavna, saj za njeno uporabo potrebujemo izključno topografske podatke, ki se na določenem območju ne spreminjajo (Lied, Bakkehoi, 1980).

Program, ki je uporabljen v diplomski nalogi, se imenuje AVAL 1D in je, kot nam že ime pove, enodimenzionalen program. Razvili so ga znanstveniki v Švicarskem inštitutu za raziskavo snega in snežnih plazov SLF (Institut für Schnee- und Lawinenforschung) v Davosu. Program AVAL 1D je namenjen izračunu dosegov plazov, njihovih hitrosti in

pritisikov. Uporablja se ga tako za izračun sprijetih kot nesprijetih snežnih plazov (Christen, Bartelt, Gruber, 2002).

2.13.1 Programska oprema AVAL 1D

Računalniški program AVAL 1D je rezultat dolgoletnih raziskav numeričnih modelov za določanje dinamike snežnih plazov. V SLF so leta 1995 prvič začeli uporabljati enodimenzionalne numerične programe za določitev maksimalnih dosegov in dinamičnih pritisikov sprijetih snežnih plazov. Do leta 1997 je bil razvit numerični model za sprijete snežne plazove, kateremu so dodali grafični vmesnik za vizualni pregled rezultatov. Prva verzija AVAL-a je bila tako testirana na zgodovinskih primerih snežnih plazov in do leta 1998 preverjena na več kot 100 različnih primerih ter tako pripravljena za uporabo širši javnosti (Christen, Bartelt, Gruber, 2002).

AVAL 1D je program, ki temelji na tako imenovanem Voellmy-Salmovem modelu snežnih plazov. Tega je leta 1955 osnoval Voellmy, leta 1990 nadgradil Salm, končno različico pa leta 1993 predstavil Gubler. Seveda moramo upoštevati, da je AVAL 1D numerični model, ki Voellmy-Salm-ov model nadgrajuje, njegov izračun končnih rezultatov pa temelji na metodi končnih elementov. Za razumevanje ozadja diferencialnih enačb končnih elementov za modeliranje sprijetih snežnih plazov, je na voljo članek: Sartoris, Bartelt, 2000 (Christen, Bartelt, Gruber, 2002).

2.13.1.1 Struktura programa AVAL 1D

Program AVAL 1D je enodimenzionalen program, kar pomeni, da je njegovo gibanje opisano z eno samo komponento vektorja hitrosti, ki je ves čas vzporedna s terenom, po katerem teče plaznica. Plaznica je opisana z dvodimenzionalno topografijo terena in znano širino plazov, ki se lahko od koordinate do koordinate spreminja (Christen, Bartelt, Gruber, 2002).

Program sestavljajo tri komponente:

- model za dimenzioniranje sprijetih snežnih plazov FL-1D,
- model za dimenzioniranje pršnih snežnih plazov SL-1D,
- grafični vmesnik.

Na opazovanih pobočjih, ki se dvigajo nad železnico, ki jo bomo obravnavali, so potencialno nevarni plazovi. Vzroki za to so podrobneje razloženi v poglavju 3.1.2 Značilnosti terena. Glede na te razmere, bo diplomska naloga torej obravnavala model za dimenzioniranje sprijetih snežnih plazov.

FL-1D je kvazi enodimenzionalen model, s katerim pridobivamo rezultate vse od same sprožitve plazu do njegove zaustavitve. Iz tega podatka je razvidno, da model ne moremo popolnoma enačiti z Voellmy-Salmovim modelom, s katerim pridobimo le tri ključne informacije (maksimalno hitrost, doseg plazu in udarno silo). Model FL-1D namreč numerično izračunava hitrosti in pritiske plazu vzdolž celotne plaznice in sicer z reševanjem diferencialnih enačb prve in druge stopnje (Christen, Bartelt, Gruber, 2002).

Poraja se vprašanje, zakaj sploh izdelava in uporaba enodimenzionalne programske opreme, če na tržišču že obstajajo dve in tridimenzionalne programske opreme in se obenem zavedamo, da se ukvarjamo z večdimenzionalnim problemom. Razlogi so sledeči:

- enodimenzionalen program je veliko bolj primeren za ugotavljanje maksimalnih dosegov plazu, saj ne upošteva »širjenja« plazu (2D) in s tem plaz ne izgublja na energiji,
- predstavlja manjši strošek nakupa, kot konkurenčni večdimenzionalni programi,
- je prvi in najbolj enostaven korak prenosa praktičnega znanja v programsko opremo in s tem bolj zanesljiv (seveda z upoštevanjem določenih predpostavk) za izračun, kot naprednejši in še ne dovolj preizkušeni programi (Christen, Bartelt, Gruber, 2002).

Predpostavke in poenostavitve, ki so osnova modela FL-1D so sledeče:

- tok plazu je modeliran kot tekočina (continuum) s konstantno povprečno gostoto,

- širina plazu je poznana,
- zgornja površina plazu je jasno razvidna (za razliko od pršnih plazov),
- višina plazu v izbranem prečnem preseku je konstantna povprečna vrednost tega preseka,
- vertikalna porazdelitev tlakov v prerezu plazu je hidrostatična,
- hitrost in višina toka plazu sta nestalni in neenakomerni,
- masa plazu je konstantna in se s časom ne spreminja (Christen, Bartelt, Gruber, 2002).

2.13.1.2 Vhodni podatki

AVAL 1D je uporabniku prijazen program, ki med drugim za pravilno delovanje zahteva vnos naslednjih vhodnih podatkov:

- topografije terena,
- plazovnih parametrov.

Topografija terena, na kateri določimo potek plaznice je prvi podatek, ki ga potrebujemo za delo z AVAL-om. Vnesemo jo lahko s posameznimi točkami, katerim določimo x, y in z koordinato ter širino plazu v posamezni točki. Druga možnost vnosa topografije je, da v programu odpremo sliko topografije. Na tej sliki nato štirim poljubno izbranim točkam ročno določimo x in y koordinato, nato pa program ti dve koordinati sam določi vsem preostalim točkam na sliki. Temu sledi ročna definicija plaznice, kjer vsaki izbrani točki določimo še nadmorsko višino oziroma z koordinato. Glede na to, da za uporabo druge možnosti vnosa topografije potrebujemo zelo natančen zemljevid, ki ga nimamo na voljo ter obilico izkušenj in mirno roko, bomo v tem diplomskem delu točke v celoti vnesli ročno.

Pri vnosu točk plaznice imamo možnost, da določene točke označimo kot »opazovalne točke«. To so točke, kjer nas še posebej zanima dogajanje v plazu, v našem primeru je to na primer os železnice. V tej točki si bomo kasneje lahko ogledali večje število rezultatov kot v ostalih točkah.

Plazovni parametri so naslednji potreben podatek. Določitev plazovnih parametrov je opisana v meniju pomoč v programu AVAL 1D. V območju splazitve je treba določiti višino snežne odeje, širino plazov in gostoto snega.

Začetno višino snežne odeje d_0 , ki se bo splazila po pobočju določimo iz osnovne višine snežne odeje, ki jo izračunamo glede na tridnevno količino novozapadlega snega v odvisnosti od povratne dobe ter jo prevedemo v pravokotno vrednost glede na naklon pobočja 28° . To vrednost nato reguliramo glede na naslednje parametre:

- nadmorsko višino,
- vpliv vetra,
- naklon pobočja.

Osnovno višino snežne odeje zaradi nadmorske višine reguliramo, kadar je opazovana vremenska postaja, s katere smo pridobili zahtevane podatke o tridnevni količini novozapadlega snega, na drugačni nadmorski višini kot območje splazitve obravnavanega plazov. Za vsakih sto metrov kolikor smo višje od vremenske postaje, osnovni višini dodamo 5 cm oziroma jih odzhamemo v kolikor smo na nižji nadmorski višini.

Če je opazovano pobočje pod vplivi vetra, osnovni višini snega dodamo od 30 do 50 cm.

Osnovno višino snega korigiramo zaradi stabilnosti snežne odeje v odvisnosti od naklona pobočja. Vrednosti koeficientov naklona so navedene v preglednici 6.

Končna enačba za izračun začetne višine snega, ki se bo splazila po pobočju:

$$d_0 = (d \cos(28^\circ) + d_H + d_V) f(\varphi) \quad (18)$$

kjer je:

d_0 ... začetna višina snega, ki se bo splazila po pobočju [m],

d ... osnovna količina snega, pridobljena z verjetnostno analizo [m],

d_H ... višina snega, ki jo prištejemo zaradi vpliva nadmorske višine [m],

d_V ... višina snega, ki jo prištejemo zaradi vpliva vetra [m],

$f(\varphi)$... koeficient naklona [-].

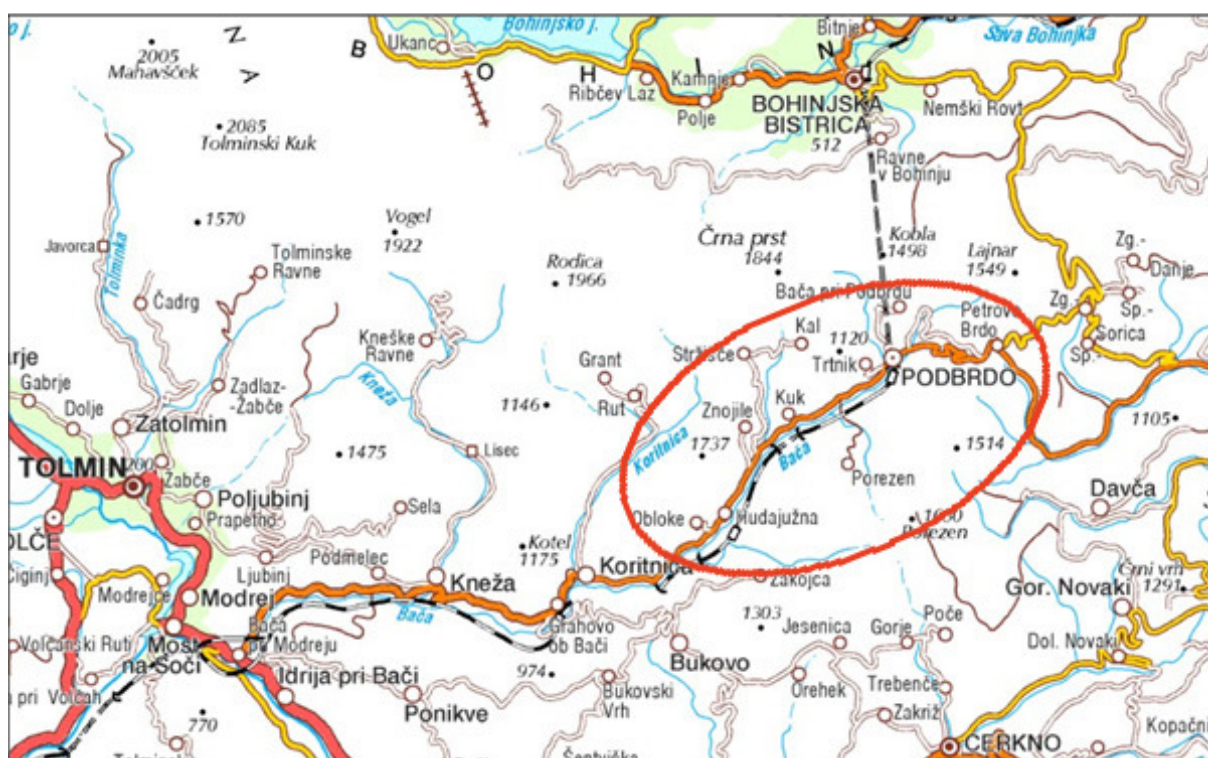
Preglednica 6: Koeficienti naklona za korigiranje osnovne višine snega.

φ	$f(\varphi)$	φ	$f(\varphi)$	φ	$f(\varphi)$	φ	$f(\varphi)$
28,00	1,00	33,50	0,76	39,00	0,62	44,50	0,52
28,50	0,97	34,00	0,74	39,50	0,61	45,00	0,52
29,00	0,94	34,50	0,73	40,00	0,60	45,50	0,51
29,50	0,92	35,00	0,71	40,50	0,59	46,00	0,50
30,00	0,90	35,50	0,70	41,00	0,58	46,50	0,50
30,50	0,87	36,00	0,69	41,50	0,57	47,00	0,49
31,00	0,85	36,50	0,67	42,00	0,56	47,50	0,48
31,50	0,83	37,00	0,66	42,50	0,55	48,00	0,48
32,00	0,81	37,50	0,65	43,00	0,54	48,50	0,47
32,50	0,79	38,00	0,64	43,50	0,54	49,00	0,47
33,00	0,78	38,50	0,63	44,00	0,53	49,50	0,46
33,50	0,76	39,00	0,62	44,50	0,52	50,00	0,46

Za celoten plaz moramo poleg osnovne višine snežne odeje določiti še oba koeficienta trenja in obliko plaznice. Vrednosti koeficienta turbulentnega trenja ξ in koeficienta kinetičnega trenja μ , nam predlaga program sam in sicer glede na nadmorsko višino, povratno dobo in obliko plaznice. Pri obliki plaznice izbiramo med pobočno in žlebasto obliko.

3 ŽELEZNIŠKI ODSEK PODBRDO – HUDAJUŽNA NA ŽELEZNIŠKI PROGI JESENICE – SEŽANA

V diplomski nalogi je obravnavana železniška proga Jesenice – Sežana in sicer približno pet kilometrov dolg odsek Podbrdo – Hudajužna, ki se nahaja v Baški grapi. Del celotne železniške proge med Bohinjsko Bistrico in Bačo pri Modreju, ki zajema tudi obravnavani odsek, je prikazan na sliki 31.



Slika 31: Del železniške proge Jesenice – Sežana med Bohinjsko Bistrico in Bačo pri Modreju, na katerem se nahaja obravnavani odsek Podbrdo – Hudajužna.

Vir: Geopedia.

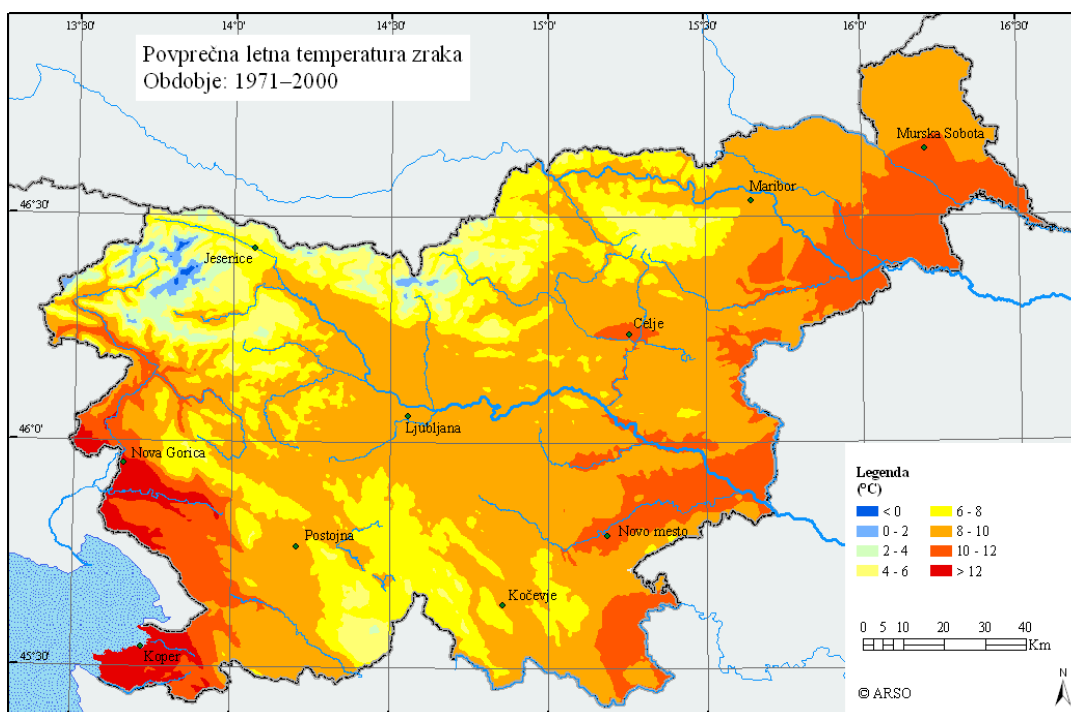
Na omenjenem odseku se nad železnico nahaja 12 plaznic, katere so bile interno poimenovane s številkami od 1 do 12 in z imeni iz katastra snežnih plazov. Plaznica 1 se nahaja najbližje Hudajužni, plaznica 12 pa najbližje Podbrdu.

3.1 Geografske značilnosti področja

Baška grapa je 30 km dolga dolina reke Bače med Petrovim Brdom in reko Idrijco, vrezana globoko med vrhove alpskega roba. Dolina se v zgornjem delu vije v smeri severovzhod – jugozahod, v južnem delu pa preide v smer vzhod – zahod.

3.1.1 Podnebne značilnosti Baške grape

Dolina Baške grape deli Julijske Alpe od Cerkljanskega in Škofjeloškega hribovja. V njeni neposredni bližini se torej nahajajo hribi zmerne višine, tja do 1844 metrov, kolikor meri Črna prst na severni strani doline (Slovenija...,1998). Prav iz njene vloge razmejevanja dveh različnih gorskih svetov, dolini ne moremo pripisati enega samega tipa podnebja. Tako se v njej prepletata podnebje nižjega gorskega sveta in zmerno kontinentalno podnebje zahodne in južne Slovenije. V skrajnem zahodnem delu Baške grape ti dve podnebji preideta v submediteransko zaledno podnebje (Ogrin, 1996).



Slika 32: Prikaz povprečnih letnih temperatur zraka v Sloveniji za obdobje med leti 1971 in 2000.

Vir: ARSO.

Letna količina padavin v Baški grapi je po navedbah Maura Hrvatina (1995) povprečno enaka 2500 mm. Glede ostalih pomembnih podnebnih podatkov se žal lahko opremo le na preglednice Klimatoloških povprečij Agencije Republike Slovenije za okolje (v nadaljevanju ARSO) nekoliko oddaljenih postaj Vojsko in Bovec. Primerljivi podatki namreč niso zbrani za noben kraj, ki leži v Baški grapi. V pomoč so nam lahko tudi ARSO-ve podnebne karte, iz katerih lahko pridobimo različne podatke o povprečnih vrednostih. Tako lahko ugotovimo, da se povprečne letne temperature v dolini gibljejo med 6 in 9 stopinj Celzija, kar je prikazano tudi na sliki 32.

Glede na tematiko diplomske naloge je eden najpomembnejših podatkov, potrebnih za njeno izdelavo, količina snežnih padavin oziroma višina snežne odeje na dotičnem področju. Ker nam ti podatki, v klimatoloških letopisih niso dostopni, so bili postopoma razbrani iz arhiva ARSO in statistično obdelani, kar je podrobno razloženo v poglavju 4.1.2 Določitev začetne višine snega.

3.1.2 Značilnosti terena

V diplomski nalogi so obravnavana pobočja, ki se na jugovzhodni strani dvigujejo nad železniško progo. Ta pobočja so torej severno in severozahodno usmerjena, delno zaraščena, nadmorske višine plazov na njih pa se gibljejo od približno 400 do 600 metrov nadmorske višine. Nakloni območij proženja snežnih plazov se gibljejo med 29° in 46°. Primer takšnega pobočja, ki je potencialno nevaren in se nahaja v katastru snežnih plazov, je prikazan na sliki 33.

Na teh območjih so, glede na zgoraj opisane značilnosti, obravnavani sprijeti suhi in mokri snežni plazovi. Razlog, zaradi katerega lahko že v osnovi izključimo pršne plazove, je majhna razlika v spremembah nadmorske višine pri obravnavanih plazovih. Za razvoj pršnih plazov z uničujočim učinkom so namreč potrebne relativno dolge plaznice in velike količine snega, česar pa na tako nizkih in kratkih pobočjih seveda ni.



Slika 33: Primer delno zaraščenega pobočja nad železniško progo, ki bi v snežnih razmerah s svojo naklonino lahko vodilo do zdrsa snežne odeje. (foto: Sirk, 2011).

Osnovna pogoja za nastanek suhih sprijetih snežnih plazov, ki bi se na obravnavanem področju lahko pojavili, sta nizke zimske temperature in vetrni zameti. Pogoja sta ob mrzli zimi zagotovo izpolnjena, dopolnjuje pa ju še možnost relativno visokega nanosa novih količin snega, ki je pogost razlog nastajanja nestabilnosti v snežni odeji. Nanos nove obtežbe lahko poruši ravnovesje sil v snežni odeji in s tem povzroči njeno porušitev oziroma privede so snežnega plazov. Možnost nastanka mokrih snežnih plazov je prav tako, če ne celo bolj verjetna. Ti se običajno pojavljajo v spomladanskih mesecih. Pogoji za njihov nastanek so v Baški grapi izpolnjeni iz več razlogov. Prvi razlog je nizka nadmorska višina pobočij. Ta vpliva na nižjo višino snega v zimskih mesecih, kasneje pa na relativno visoke temperature v zgodnje spomladanskih mesecih v primerjavi z visokogorjem. Kot drugi razlog velja omeniti submediteransko podnebje, ki v grapo prinaša tople fronte z zahoda in s tem prav tako zvišuje temperaturo zraka.

3.2 Obremenitev železniškega odseka

Svojevrstna arhitektonska in zgodovinska znamenitost doline je železnica, zgrajena v letu 1906, ki je del že prej omenjene proge med Jesenicami in Sežano. Na odseku Bohinjska Bistrica – Podbrdo je železnica speljana skozi Bohinjski predor, ki je s 6.327,4 metri dolžine najdaljši povsem slovenski železniški predor (Dolina Soče..., 2009 in Bohinj, 2007).



Slika 34: Z južne strani fotografiran najdaljši vseslovenski predor med Podbrdom in Bohinjsko Bistrico, ki meri preko 6 kilometrov (foto: Sirk, 2011).

Železnica Jesenice – Sežana spada med regionalne proge Slovenskih železnic (Priloga A). Po njej potujejo tako potniški, kot tudi tovorni vlaki. Iz podatkov Slovenskih železnic lahko razberemo, da se število potniških vlakov med leti 1995 in 2009 giblje med 5.005 in 10.509 vlakov na leto. Z upoštevanjem letnega števila vlakov med leti 2004 in 2009 smo ugotovili, da je povprečno število potniških vlakov, ki dnevno prevozijo relacijo Podbrdo – Grahovo, približno 26 (arhiv Slovenskih železnic, 2010).

Preglednica 7: Statistika Slovenskih železnic za potniške vlake regionalnih prog za obdobje med letoma 1995 – 2009 (rumeno je obarvan obravnavani odsek)

1	80	12	Skupaj N.mesto-Metlika	11.843	11.528	11.051	10.845	10.684	10.629	10.516	10.545
2	21	80	Skupaj Kamnik-L.Šiška	15.327	10.740	9.521	9.377	9.268	9.258	9.835	9.960
3	80	15	Skupaj Ljubljana-Grosuplje	8.618	8.945	9.481	9.361	9.318	9.309	9.811	9.835
4	80	13	Skupaj Trebnje-N.mesto	11.093	10.497	10.044	9.920	9.861	9.590	9.680	9.715
5	70	69	Skupaj Jesenice-Anhovo	5.005	7.955	9.441	9.405	10.509	9.459	9.287	9.395
6	80	14	Skupaj Grosuplje-Trebnje	8.582	9.025	8.458	8.386	8.332	8.318	8.572	8.583
7	31	43	Skupaj Šoštanj-Celje	5.709	5.197	5.356	5.501	5.458	5.431	5.496	5.576
8	31	45	Skupaj Velenje-Šoštanj	5.368	5.161	5.351	5.495	5.452	5.423	5.489	5.562
9	34	29	Skupaj Ruše-M.Studenci	4.631	4.703	4.860	4.704	4.657	4.829	4.879	4.952
10	32	39	Skupaj Lupinjak-Stranje	5.926	4.393	4.841	4.770	4.740	4.726	4.734	4.768
11	70	68	Skupaj Anhovo-N.Gorica	4.855	4.864	4.853	4.864	5.416	4.615	4.678	4.755
12	70	67	Skupaj N.Gorica-Mark c.	4.274	4.478	5.026	4.907	4.525	4.262	4.324	4.750
13	70	66	Skupaj Mark c.-Prvačina	4.273	4.476	5.000	4.870	4.486	4.240	4.297	4.718
14	33	41	Skupaj Imeno-Stranje	3.383	4.169	4.162	4.099	4.052	4.045	4.113	4.510
15	80	11	Skupaj Metlika-Metlika m.	4.998	3.735	3.532	3.509	3.499	3.496	3.509	3.416
16	81	16	Skupaj Trebnje-Sevnica	3.907	2.865	3.327	3.391	3.351	3.351	3.396	3.404
17	70	64	Skupaj Prvačina-Kreplje c.	3.444	3.726	3.773	3.702	3.353	3.286	3.286	3.244
18	70	63	Skupaj Kreplje c.-Sežana	3.439	3.720	3.771	3.702	3.351	3.279	3.277	3.231
19	34	30	Skupaj Dravograd-Ruše	2.884	2.907	2.789	2.553	2.517	2.524	2.555	2.605
20	34	33	Skupaj Prevalje-Dravograd	2.773	2.861	2.301	2.529	2.505	2.506	2.549	2.530

Vir: Arhiv Slovenskih železnic.

Iz podatkov Slovenskih železnic lahko na enak način razberemo tudi število tovornih vlakov med leti 1995 in 2009. Zopet smo upoštevali obdobje med leti 2004 in 2009 in prišli do ugotovitve, da je povprečno število tovornih vlakov, ki dnevno prevozijo relacijo Podbrdo – Grahovo, približno osem.

Preglednica 8: Statistika Slovenskih železnic za tovorniške vlake regionalnih prog za obdobje med letoma 1995 – 2009 (rumeno je obarvan obravnavani odsek)

Zap. št.	Št. proge	Št. odseka	Progovni odsek	Letno število tovornih vlakov							
				1995	2000	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1	34	29	Skupaj Ruše-M.Studenci	11.220	11.165	9.813	8.095	8.367	8.280	7.478	6.641
2	80	12	Skupaj N.mesto-Metlika	5.034	4.890	6.093	5.992	5.745	5.862	5.518	5.274
3	70	67	Skupaj N.Gorica-Mark c.	5.744	6.853	7.069	6.944	6.591	6.758	6.619	4.974
4	70	68	Skupaj Anhovo-N.Gorica	2.606	2.439	2.099	2.256	2.587	3.388	3.438	4.220
5	70	69	Skupaj Jesenice-Anhovo	3.773	3.612	2.131	2.516	2.474	3.206	3.157	3.969
6	70	64	Skupaj Prvačina-Kreplje c.	3.143	4.242	3.995	3.859	3.661	3.809	3.970	3.472
7	70	66	Skupaj Mark c.-Prvačina	3.089	4.370	4.491	4.356	4.150	4.357	4.390	3.438

Se nadaljuje ...

... nadaljevanje

Zap. št.	Št. proge	Št. odseka	Progovni odsek	Letno število tovornih vlakov							
				1995	2000	2004	2005	2006	2007	2008	2009
8	21	80	Skupaj Kamnik-Lj.Šiška	2.082	3.280	3.013	2.794	3.128	3.039	3.133	3.391
9	70	63	Skupaj Kreplje c.-Sežana	3.046	4.076	3.955	3.822	3.559	3.699	3.800	3.346
10	80	15	Skupaj Ljubljana-Grosuplje	3.368	3.016	3.122	2.771	2.208	2.393	2.484	1.836
11	80	13	Skupaj Trebnje-N.mesto	2.241	2.341	2.226	2.195	2.054	2.223	2.126	1.784
12	34	30	Skupaj Dravograd-Ruše	2.407	2.419	1.967	2.012	1.792	1.785	1.674	1.577
13	70	70	Skupaj N.Gorica m.-Mark c.	2.443	2.488	2.590	2.592	2.441	2.404	2.236	1.534
14	32	39	Skupaj Lupinjak-Stranje	2.982	3.072	1.842	1.804	1.479	1.338	1.377	1.393
15	80	14	Skupaj Grosuplje-Trebnje	2.176	1.958	1.720	1.773	1.531	1.716	1.772	1.326
16	34	33	Skupaj Prevalje-Dravograd	992	924	775	957	941	991	999	1.258
17	61	56	Skupaj Prešnica c.-Rakitovec	1.793	1.666	1.269	1.113	1.274	1.245	1.278	1.021
18	31	45	Skupaj Velenje-Šoštanj	2.250	2.291	1.725	1.493	1.366	1.305	1.182	775
19	33	41	Skupaj Imeno-Stranje	441	724	771	727	691	745	723	760
20	31	43	Skupaj Šoštanj-Celje	2.906	2.272	1.641	1.539	1.471	1.359	1.305	753

Vir: Arhiv Slovenskih železnic.

Iz zgornjih števil ugotovimo, da je povprečno skupno število vlakov, ki dnevno prevozijo odsek Podbrdo – Grahovo, približno 34.

Po krajši statistični obdelavi podatkov ostalih prog Slovenskih železnic na enak način in njihovi primerjavi, smo prišli do zaključka, da je proga Jesenice – Anhovo tretja najbolj obremenjena proga s potniškimi vlaki, po obremenjenosti s tovornimi vlaki pa se uvršča približno v sredino obremenjenosti slovenskih regionalnih železniških prog. Zaradi pomembnosti te regionalne železniške proge je ključno, da promet na njej poteka tekoče in brez prekinitev in s tem ocena nevarnosti tudi s tega stališča upravičena.

Preglednica 9: Prikaz povprečnega dnevnega števila potniških vlakov na dvajsetih najpomembnejših odsekih regionalnih prog v Sloveniji (obravnani odsek je rumen)

Vrstni red prog od najmanj do najbolj obremenjene	Ime proge	Skupno število potniških vlakov v obdobju med leti 2004 – 2009	Povprečno število potniških vlakov na dan
1	Prevalje-Dravograd	14.920,00	6,79
2	Dravograd-Ruše	15.543,00	7,08
3	Trebnje-Sevnica	20.220,00	9,21

Se nadaljuje ...

... nadaljevanje

Vrstni red prog od najmanj do najbolj obremenjene	Ime proge	Skupno število potniških vlakov v obdobju med leti 2004 – 2009	Povprečno število potniških vlakov na dan
4	Kreplje c.-Sežana	20.611,00	9,39
5	Prvačina-Kreplje c.	20.644,00	9,40
6	Metlika-Metlika m.	20.961,00	9,55
7	Imeno-Stranje	24.981,00	11,38
8	Mark c.-Prvačina	27.611,00	12,57
9	N.Gorica-Mark c.	27.794,00	12,66
10	Lupinjak-Stranje	28.579,00	13,01
11	Ruše-M.Studenci	28.881,00	13,15
12	Anhovo-N.Gorica	29.181,00	13,29
13	Velenje-Šoštanj	32.772,00	14,92
14	Šoštanj-Celje	32.818,00	14,94
15	Grosuplje-Trebnje	50.649,00	23,06
16	Ljubljana-Grosuplje	57.115,00	26,01
17	Kamnik-L.Šiška	57.219,00	26,06
18	Jesenice-Anhovo	57.496,00	26,18
19	Trebnje-N.mesto	58.810,00	26,78
20	N.mesto-Metlika	64.270,00	29,27

Preglednica 10: Prikaz povprečnega dnevnega števila tovornih vlakov na dvajsetih najpomembnejših odsekih regionalnih prog v Sloveniji (obravnavani odsek je rumen)

Vrstni red prog od najmanj do najbolj obremenjene	Ime proge	Skupno število tovornih vlakov v obdobju med leti 2004 – 2009	Povprečno število tovornih vlakov na dan
1	Imeno-Stranje	4.417,00	2,01
2	Prevalje-Dravograd	5.921,00	2,70
3	Prešnica c.-Rakitovec	7.200,00	3,28

Se nadaljuje ...

... nadaljevanje

Vrstni red prog od najmanj do najbolj obremenjene	Ime proge	Skupno število tovornih vlakov v obdobju med leti 2004 – 2009	Povprečno število tovornih vlakov na dan
4	Velenje-Šoštanj	7.846,00	3,57
5	Šoštanj-Celje	8.068,00	3,67
6	Lupinjak-Stranje	9.233,00	4,20
7	Grosuplje-Trebnje	9.838,00	4,48
8	Dravograd-Ruše	10.807,00	4,92
9	Trebnje-N.mesto	12.608,00	5,74
10	N.Gorica m.-Mark c.	13.797,00	6,28
11	Ljubljana-Grosuplje	14.814,00	6,75
12	Jesenice-Anhovo	17.453,00	7,95
13	Anhovo-N.Gorica	17.988,00	8,19
14	Kamnik-Lj.Šiška	18.498,00	8,42
15	Kreplje c.-Sežana	22.181,00	10,10
16	Prvačina-Kreplje c.	22.766,00	10,37
17	Mark c.-Prvačina	25.182,00	11,47
18	N.mesto-Metlika	34.484,00	15,70
19	N.Gorica-Mark c.	38.955,00	17,74
20	Ruše-M.Studenci	48.674,00	22,16

Na omenjeni železniški progi lahko kot zanimivost omenimo tudi muzejski vlak, s katerim se lahko od spomladi do jeseni odpravimo na dve uri dolgo vožnjo med Jesenicami in Kanalom. Ker je na voljo le 32 vlakov letno v obe smeri, poleg tega pa je večina izletov na sporedu v mesecih brez snega, tega podatka ne bomo vključili med skupno povprečno dnevno število vlakov (Slovenske železnice..., 2010).

Še ena zanimivost proge je, da lahko na vlaku skozi predor peljemo tudi kolesa, osebna vozila, kombije in tovornjake in tako na najhitrejši način potujemo z Gorenjske v Primorsko regijo in obratno (Slovenske železnice..., 2010a). Poleg tega, da ta podatek posredno

zagotovo vpliva na večjo obremenjenost proge (v smislu, da je ta bolj uporabna in zato bolj uporabljena), nam tudi jasno govori o tem, kako pomembna ta proga je. Avtovlak na poti iz Podbrda v Bohinjsko Bistrico je prikazan tudi na sliki 35.



Slika 35: Avtovlak na poti iz Podbrda v Bohinjsko Bistrico (foto: Sirk, 2011).

3.3 Ocena nevarnosti obravnavanega železniškega odseka in do sedaj izvedeni ukrepi

Da je podajanje ocene nevarnosti za železniško progo v Baški grapi s pomočjo programske opreme AVAL 1D upravičeno, nam govorijo ne samo geografske značilnosti in obremenjenost dotične proge, temveč tudi sam lavinski kataster in utemeljitve drugih študij in literature na to temo. Tako se lahko opremo na podatke študije »Zagotovitev varnosti pred snežnimi plazovi na državnih cestah RS«, (1999) v kateri je odsek Kneža – Podbrdo definiran kot najbolj ogrožen odsek med regionalnimi cestami drugega reda. Regionalne ceste drugega reda so po številu plazov najbolj ogrožene ceste v Sloveniji. Kljub temu, da študija govori o ogroženosti ceste, pa jo lahko zlahka apliciramo tudi na železnico, saj se ta tekom grape praktično ves čas vije vzdolž ceste. Obe tako bolj ali manj potekata po samem »dnu« doline.

Preglednica 11: Ogroženost prometnic zaradi snežnih plazov v Sloveniji.

zaporedna številka	cesta oziroma železniška proga	število plazov	zaporedna številka	cesta oziroma železniška proga	število plazov
1	Dolenja Trebuša–Spodnja Idrija (Oblakov vrh)	34	45	Planina pri Cerknem–Gorenji Novaki	5
2	Bača pri Modreju–Podbrdo	26	46	Plužnje–Mlake	5
3	Želin–Spodnja Idrija	25	47	Tolmin–Zadlaz–Žabče	5
4	Dolenja Trebuša–Želin	21	48	Ušnik–Plave	5
5	Spodnja Idrija–Godovič	21	49	Zakriž–Ravne pri Cerknem	5
6	Idrija–Idrijska Bela	15	50	Zalog–Potrebuježev graben	5
7	Podrošt–Železniki	15	51	Bača pri Modreju–Kneža	4
8	Žaga–Učaja	15	52	Baška grapa–Stržišče	4
9	Trenta–Bovec	14	53	Bukovo–Zakojca	4
10	Most na Soči–Jesenice (železniška proga)	14	54	Čepovan–Dolenja Trebuša	4
11	Spodnja Idrija–Žiri	13	55	Javorski Potok–Ludranski Vrh	4
12	Zali Log–Davča	13	56	Kal–Sedlo	4
13	Kropa–Železniki	11	57	Krnica–Zgornja Radovna	4
14	Kneža–Kneške Ravne	10	58	Ljubelj–Bistrica	4
15	Koritnica–Rut	10	59	Ljubljaničica–Ljubljana–Vič	4
16	Predel–Bovec	10	60	Logatec–Žiri	4
17	Spodnje Jezersko–Preddvor	10	61	Mokronog–Boštanj	4
18	Cerkno–Gorenji Novaki	9	62	Robič–Staro selo	4
19	Črna–Koprivna	9	63	Zadlaz–Žabče–Tolminske Ravne	4
20	Gozd Martuljek–Srednji Vrh	9	64	Trbovlje–Dobovec	4
21	Kranjska Gora–Vršič	9	65	Trbovlje–Mrzlica	4
22	Litija–Zagorje	9	66	Trenta–Vršič	4
23	Luče–Sestre Logar	9	67	Vrsno–Krn	4
24	Čepovan–Most na Soči	8	68	Žaga–Kobarid	4
25	Ljubinj–Planina Kuk	8	69	Bača pri Modreju–Dolenja Trebuša	3
26	Trebija–Sovodenj	8	70	Črna na Kor.–Šentvid pri Zavodnju	3
27	Bukovo–Jesenica	7	71	Dom v Kamniški Bistrici–Konec	3
28	Cerkno–Želin	7	72	Gorenja vas–Ljubljaničica	3
29	Idrija–Vojsko	7	73	Jesenica–Zakriž	3
30	Masore–Jazne	7	74	Kobarid–Drežnica	3
31	Otalež–Cerkljanski Vrh	7	75	Kobarid–Idrsko	3
32	Bled–Bohinjska Bistrica	6	76	Kranj–Nemilje	3
33	Tolmin–Kobarid (prek Kamnega)	6	77	Osojna Davča–Podporezen	3
34	Log Čezsoški–Prevejk	6	78	Poljane–Vinharje	3
35	Otalež–Plužnje	6	79	Sestre Logar–Pavličovo Sedlo	3
36	Reka–Bukovo	6	80	Soča–Na Skali	3
37	Sovodenj–Cerkno	6	81	Spodnja Idrija–Šebrelje	3
38	Staro selo–Breginj	6	82	Trenta–Zadnjica	3
39	Predel–Mangartsko sedlo	6	83	Zali Log–Zgornja Davča	3
40	Tržič–Jelendol	6	84	Zatolmin–Čadrg	3
41	Vresje–Sorica	6	85	Žičnica Velika planina–Korošica	3
42	Dolenja Trebuša–Gorenja Trebuša	5	86	Žiri–Trebija	3
43	Grahovo–Bukovo	5	87	Božna–Mačkov Graben	2
44	Mejni prehod Učja–Planina Božica	5	88	Češnjica–Škofja Loka	2
			89	Črna–Bistra	2
			90	Gorenji Novaki–Zgornja Davča	2

Vir: Pavšek, 2002.

Teme ogroženosti prometnic se je v svoji knjigi lotil tudi Pavšek (2002), ki je cestne oziroma železniške odseke razporedil pa številu plazov, ki jih ogrožajo. Odsek Bača pri Modreju –

Podbrdo je s šestindvajsetimi plazovi drug najbolj ogrožen cestni oziroma železniški odsek v Sloveniji, kar je prikazano v preglednici 11.

Omenjeni plazovi so vrisani v katastru snežnih plazov. Diplomsko delo je osredotočeno na dvanajst zaporednih plazov, ki se nahajajo med Podbrdom in Hudajužno. V prilogi C se zanje nahajajo vsi pomembnejši podatki iz katastra snežnih plazov.

Razmere v okolici železnice v Baški grapi smo si konec februarja 2011 tudi ogledali. Na terenu je bilo ugotovljeno, da je železnica na nekaterih delih že zavarovana s palisadami. Palisada je oblika zaščite, narejena iz lesa in postavljena vertikalno na teren. Namenjena je tako zaustavljanju padcev kamenja in skal, kot tudi preprečevanju zdrsa snežne odeje. Primer takega varovanja je prikazan na sliki 36.



Slika 36: Palisade zaustavljajo padec kamenja in preprečujejo zdrs plazov (foto: Sirk, 2011).

V prilogi F si lahko ogledamo načrte celovite zaščite železnice v plaznici 9.

Na nekaterih mestih je železniška proga zavarovana tako, da poteka skozi krajše predore, pred plazenjem večjih grap oziroma žlebastih plaznic, pa je zavarovana tako, da so te speljane skozi obokane prepuste pod železniško progo (slika 37).



Slika 37: Na levi sliki je primer potencialno nevarne grape, katere zaključek je speljan skozi kamnit prepust pod železnico (foto: Trojer, 2010).



Slika 38: Poškodovani snežni mostovi nad železniško progo med Podbrdom in Hudajužno so očitno potrebni popravila (foto: Trojer, 2010).

Zaščita pred plazovi je na mestih, kjer je postavljena, po pričanju nadzornika Slovenskih železnic v Podbrdu g. Trojerja, učinkovita, seveda ob predpostavki, da je redno pregledovana in po potrebi sanirana. Palisade na sliki 38 so poškodovane in potrebne popravila.

Pomemben faktor pri zaščiti železnice je tudi zaraščenost z gozdom. Ta se v Baški grapi, podobno kot tudi v drugih predelih Slovenije, s časom vedno bolj razrašča po nekoč golih pobočjih in s tem prispeva k povečanju varnosti železniške proge.

Kljub zaščiti na določenih mestih, pa so v hujših zimah z več snega nezavarovani deli proge ogroženi. Zaposleni na Slovenskih železnicah v Podbrdu sneg, nakopičen na železnico, sproti odstranjujejo s posebno plužno lokomotivo. Do danes ni podatka, da bi plaz kdaj zadel potujoči vlak (Trojer, 2010).

4 SIMULACIJE DINAMIKE SNEŽNIH PLAZOV S PROGRAMOM AVAL 1D

Za izvedbo simulacij dvanajstih izbranih snežnih plazov med Podbrdom in Hudajužno je bilo najprej treba pripraviti vhodne podatke. Nato so bili izbrani različni scenariji, na podlagi katerih so bile simulacije izvedene. V tem poglavju so opisane tudi predpostavke, na katerih temeljijo komentarji simulacij.

4.1 Priprava vhodnih podatkov

Za uspešno delovanje programa AVAL 1D je bilo treba pripraviti naslednje podatke:

- topografijo terena posameznih plaznic,
- začetno višino snega pri splazitvi,
- gostoto snega,
- koeficienta trenja.

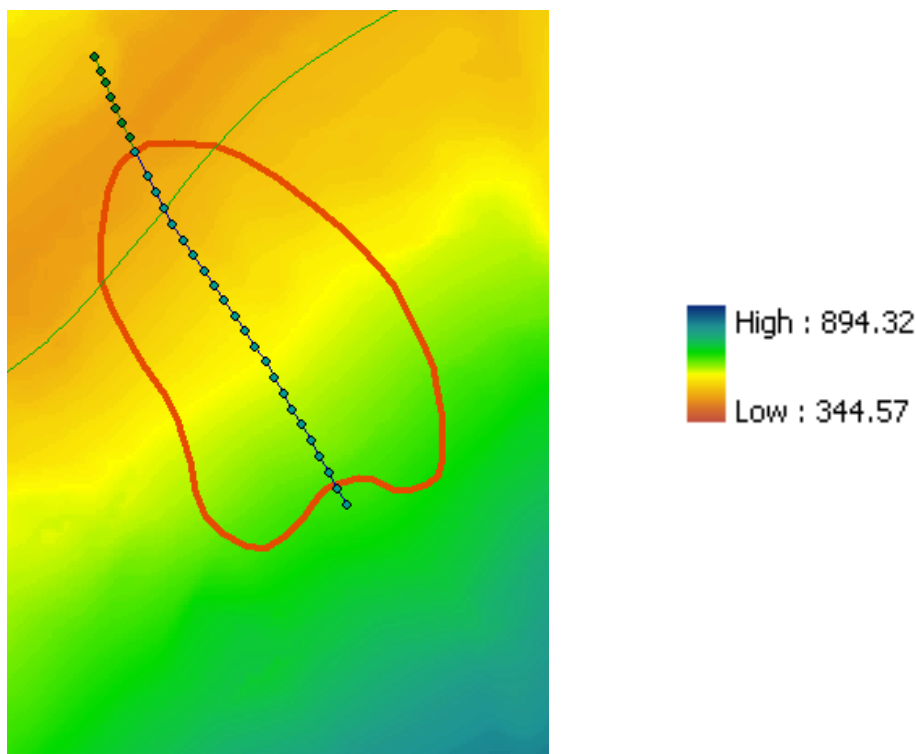
4.1.1 Določitev topografije terena

Za uporabo programa AVAL 1D je bilo najprej treba določiti topografijo terena. Pri tej nalogi nam je bil v pomoč program ARC GIS in kataster snežnih plazov.

ARC GIS je geografski informacijski program, s katerim lahko prikazujemo, analiziramo in obdelujemo različne podatke, ki imajo kakršenkoli geografski značaj. V njem lahko torej obdelujemo tudi podatke iz katastra snežnih plazov.

Iz katastra snežnih plazov je bilo izbranih dvanajst zaporednih plazov, katerim so v katastru načrtane meje. To pomeni, da so v katastru zarisani potencialni plazovi od območja proženja do konca izteka. Ti plazovi se nahajajo med Podbrdom in Hudajužno, in sicer na pobočjih južno od železnice, katera imajo severozahodno ekspozicijo.

Vsakemu od plazov je bila s pomočjo programa ARC GIS določena pot gibanja ali t. i. plaznica. Na plaznici je bila nato na vsakih 10 metrov zarisana točka, kateri smo določili x, y in z koordinato ter širino plazov v tej točki. Poleg tega je bila za vsak plaz določena še kontrolna točka, in sicer točka v kateri se stikata plaznica in železnica.

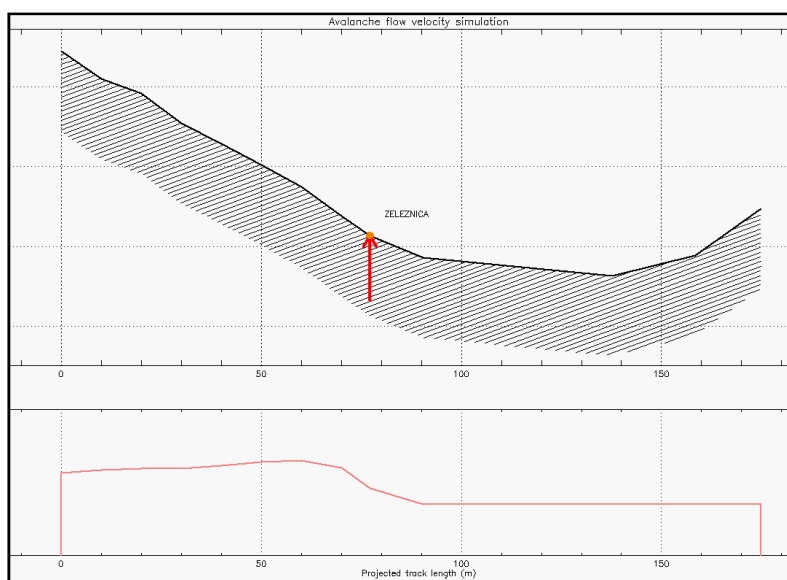


Slika 39: Primer obdelave snežnih plazov iz lavinskega katastra s pomočjo programa ARC GIS. Na izbrani plaznici so na približno vsakih 10 metrov določene točke topografije. Barve v ozadju predstavljajo različne nadmorske višine terena v metrih, ki jih razlaga na desni strani prikazana skala (High pomeni visoko, Low pa pomeni nizko).

Vse dobljene točke so bile nato prenesene v Excelove tabele in tam urejene v obliko, ki jo sprejme AVAL 1D. Pri tem je bil potreben manjši popravek, ki za kasnejši izračun ni bistven, je pa pomembno, da se ga zavedamo. X in y koordinati, ki sta bili pridobljeni iz ARC GIS-a, sta koordinati globalnega koordinatnega sistema in sta šestmestni številki. Programu AVAL 1D to v kombinaciji s trimestno koordinato z povzroča težave pri izrisu topografije zaradi prevelikih razmerij, zato je bilo smotrno koordinati x in y prav tako zmanjšati na trimestno število in to vzeti v obzir pri interpretaciji rezultatov. Seveda ta popravek na koordinati x in y kot rečeno nima vpliva, saj se gibamo v razdaljah, ki vplivajo le na njune zadnje tri cifre.

Workbook Views		fx 50				
D11		A	B	C	D	E
1	Topography: Podbrdo4					
2	705.31	705.11	468.92	80		
3	697.54	711.40	461.96	83		
4	689.77	717.70	458.43	84.5		
5	682.00	724	450.79	84.5		
6	674.23	730.29	445.72	87		
7	666.46	736.59	440.41	91		
8	658.69	742.88	434.85	92		
9	650.92	749.18	427.52	85		
10	645.35	753.72	422.71	65		
11	642.30	756.19	421.36	50		
12	635.11	762	417.25	50		
13	598.55	792.14	412.65	50		
14						
15						

Slika 40: Prikaz vnosa točk topografije plaznice 4 v tabelo programa Excel, ki bo primerna za uporabo programa AVAL 1D.



Slika 41: V zgornjem okencu je prikazan vzdolžni profil plaznice 4 v programu AVAL 1D na katerem je kot opazovana točka označena os železnice. V spodnjem okencu vidimo, kako se širina plaznice spreminja vzdolž profila.

4.1.2 Določitev začetne višine snega

Naslednji bistven podatek za izračun dosega, hitrosti in pritiska snežnih plazov je začetna višina snega, ki se bo splazila po pobočju. Za izračun tega podatka so bili ključni arhivi ARSO. V njih najdemo podatke o maksimalnih višinah snežne odeje in maksimalnih višinah novozapadlega snega za klimatološke, vremenske in padavinske postaje, ki segajo v leto 1961.

Naslednji korak je bil torej izbira prave postaje, pri čemer so bili ključni naslednji kriteriji: tem bolj podobna geografska širina in dolžina ter nadmorska višina postaj v primerjavi z začrtanimi območji plazov v katastru.



Slika 42: Prikaz postaj, izbranih za statistično obdelavo podatkov maksimalne letne višine snežne odeje.

Vir: Geopedia.

Za začetno obdelavo podatkov so bile izbrane naslednje štiri postaje, katerim so v oklepaju pripisani metri nadmorske višine (v nadaljevanju m.n.v.): Podbrdo (512 m.n.v.), Bukovo (710 m.n.v.), Rut (710 m.n.v.) in Davča (960 m.n.v.). Te postaje so bile, kot je razvidno tudi iz

slike 42, v neposredni bližini opazovanega območja. Poleg tega relativno dobro ustrezajo tudi njihove nadmorske višine, saj se nadmorske višine opazovanih območij splazitve iz katastra gibljejo med 486,92 m.n.v. in 622,27 m.n.v.. Z obdelavo podatkov iz omenjenih štirih postaj, smo želeli potrditi tezo, da se količina snežnih padavin, maksimalne višine novozapadlega snega in višine snežne odeje na tako majhnem območju med seboj bolj ali manj ujemajo in da bodo enake razmere kot na obdelovanih postajah tudi na pobočjih nad železnico.

Po določitvi maksimalnih letnih višin snežne odeje iz arhiva podatkov o maksimalnih mesečnih višinah snežne odeje za preteklih 50 let je bilo ugotovljeno, da postaja Davča močno izstopa. Višina snega na tej postaji je namreč kar dva- do trikrat višja v primerjavi z ostalimi obdelovanimi postajami. To lahko pripišemo nekoliko višji nadmorski višini in temu, da postaja leži na drugi strani hriba, kar zagotovo pripomore k različnemu gibanju zračnih mas in s tem posledično različni količini padavin. Davča je bila torej odstranjena iz nadaljnje statistične analize podatkov, v kateri so torej ostale tri postaje.

Po izločitvi Davče iz nadaljnje statistične obdelave podatkov so bile analizirane preostale tri postaje. Uporabljeno je bilo orodje Opisne statistike, ki ga ponuja program Microsoft Excel in z njim izračunani podatki, kot so povprečna in srednja vrednost, standardna deviacija, minimum ter maksimum in drugo. Nato so bile s pomočjo Gumbelove porazdelitve, izračunane maksimalne višine snežne odeje za različne povratne dobe.

Gumbelova dvojna eksponentna porazdelitev spada v skupino ekstremnih porazdelitev vrednosti tipa I. Je dvoparametrna, asimetrična, teoretična porazdelitev. V hidrologiji se uporablja pri analizi visokih vod in maksimalnih padavin. Z Gumbelovo porazdelitvijo lahko določimo verjetnost dogodka zunaj intervala analiziranega vzorca, kar pomeni, da lahko podatkom za obdobje petdesetih let pripišemo verjetnost dogodka za več kot petdeset let. (Brilly, Šraj, 2005) Porazdelitev uporabljajo tudi za določitev maksimalnih višin snega na švicarskem inštitutu v Davosu (Christen, 2011).

Pomembno je, da se zavedamo, da je porazdelitev teoretična in da verjetno nikoli ne bomo povsem zadeli realnih vrednosti. Pomembno pa je tudi, da imamo ves čas v mislih, da za vzorec petdesetih let iščemo verjetnost tristoletnega dogodka. Zaradi relativno majhnega

vzorca v primerjavi z iskanim torej lahko pride do napak. Misliti moramo tudi na to, da je lahko že med samim merjenjem prišlo do napak.

Pri zbiru povratnih dob dogodka, ki so nujne za določitev višine snega pri sproženju plazov, smo se ozirali na švicarske standarde iz poglavja 2.10.3.1 Karte nevarnosti snežnih plazov v tujini. Povratne dobe v diplomski nalogi so za določitev vzorčnih vrednosti višin snega torej bistvenega pomena, vendar pa, kot že rečeno v poglavju 2.10.3.2 Karte nevarnosti snežnih plazov v Sloveniji ne bodo igrale neposredne vloge pri določanju območij nevarnosti. Za izračun višine snega sta bili torej izbrani povratni dobi 30 in 300 let. Za primerjavo smo poleg teh dveh povratnih dob, vzeli še višine snežne odeje pri povratni dobi 100 let.

Z grafa v prilogi D so bile odčitane naslednje vrednosti:

Preglednica 12: Maksimalne višine snežne odeje za postaje Podbrdo, Bukovo in Rut v odvisnosti od povratne dobe.

		PODBRDO	BUKOVO	RUT
Povratna doba T dogodka	Verjetnost dogodka	Višina snežne odeje	Višina snežne odeje	Višina snežne odeje
[let]	/	[cm]	[cm]	[cm]
30	0,97	74	100	97
100	0,99	90	132	120
300	0,997	105	154	139

Kot je razvidno iz zgornje tabele, se rezultati med Podbrdom in ostalima dvema postajama razlikujejo. Višina snega v Rutu in Bukovem je tretjino do polovico višja kot v Podbrdu. Ker ti rezultati porušijo naša predvidevanja, da naj bi bile višine snega med postajami podobne, so bili v arhivu ARSO poiskani še podatki o količini padavin na omenjenih treh postajah. Po primerjavi podatkov je bilo zaključeno, da je količina padavin na vseh treh postajah skozi leto približno enaka, kar je pripeljalo še do večjega nerazumevanja dejanske situacije. Po posvetu z meteorologom smo sklenili primerjati še obliko padavin, ki se je izkazala za ključni faktor

pri razlikah v višini snežne odeje. Ugotovljeno je bilo, da v Podbrdu v primerjavi z Bukovim in Rutom veliko več dežuje kot pa sneži (Vičar, 2010).

Po vsem tem pa je bilo še vedno nejasno, podatke katere postaje naj uporabimo za pobočja nad železnico, ki se vendarle nahajajo nekje vmes med obdelovanimi postajami. Za razjasnitev tega problema je bil bistven obisk Baške grape, kjer so lokalni prebivalci in uslužbenci Slovenskih železnic v Podbrdu potrdili meteorologovo in našo domnevo. Ta je bila, da očitno Baška grapa premore specifično mikroklimo, verjetno prav zaradi vplivov s Primorske. Tako se dostikrat zgodi, da v Podbrdu sneži, nekaj kilometrov navzdol, proti Hudajužni, pa že dežuje. Prav tako je bilo v sosednjih dolinah, le nekaj kilometrov oddaljenih od Podbrda, moč opaziti še kar nekaj snega, medtem ko je v Baški grapi vladala že prava pomlad. Očitno imajo torej kraji, pa naj bodo še tako malo oddaljeni, čim niso več v Baški grapi, precej drugačne podnebne značilnosti.

Za pobočja nad železnico so bile torej vzete vrednosti iz Podbrda, ki je njim najbližji kraj s podobnimi podnebnimi značilnostmi, saj prav tako leži v Baški grapi. Poleg tega se Podbrdo nahaja na koncu grape in ima najmanj vplivov s Primorske glede na samo grapo, zaradi česar smo z višino snežne odeje tudi na varni strani kar se tiče dimenzioniranja.

Preglednica 13: Maksimalne tridnevne količine novozapadlega snega na postaji Podbrdo v odvisnosti od povratne dobe.

		PODBRDO
Povratna doba T dogodka	Verjetnost dogodka	Maksimalna tridnevna količina novozapadlega snega
[let]	/	[cm]
30	0,97	71
100	0,99	87
300	0,997	101

V nadaljevanju so bili obdelani podatki o tridnevni maksimalni količini novozapadlega snega, tokrat le za postajo Podbrdo, saj so bile ostale postaje izločene na podlagi zgoraj naštetih

razlogov. Ta del statistične analize je zahteval več ročnega dela, saj je bil zanj potreben pregled dnevni količin novozapadlega snega za preteklih 50 let. Iz teh podatkov smo določili letne maksimalne tridnevne količine novozapadlega snega in jih zopet obdelali s pomočjo orodja Opisne statistike in z Gumbelovo porazdelitvijo. Z grafa v prilogi E so bili odčitani rezultati, navedeni v preglednici 13.

Sedaj nam je preostala le še odločitev, ali bomo v programu AVAL 1D uporabili začetno višino snega, ki bo enaka maksimalni višini snežne odeje v odvisnosti od povratne dobe ali pa višino snega, ki bo enaka maksimalni tridnevni količini novozapadlega snega glede na povratno dobo. Dilema nastopi zato, ker je v primeru sprijetih suhih plazov bolj pomembna nova količina zapadlega snega, ki običajno plaz tudi sproži, pri mokrih spomladanskih plazovih pa se največkrat splazi kar celotna snežna odeja.

Poleg tega, da so si vrednosti pri obeh višinah zelo podobne, sta nam odločitev olajšala še naslednja razloga:

- na švicarskem inštitutu SLF v Davosu za izračun snežnih plazov s pomočjo programa AVAL 1D vedno uporabljajo maksimalne količine novozapadlega snega,
- mokre plazove pričakujemo spomladi, ko so temperature višje; takrat je snežna odeja nižja od maksimalne, ki je tipična za zimske mesece.

Predvidevanja o nižji snežni odeji v spomladanskih mesecih so bila tudi preverjena s statistično obdelavo maksimalnih letnih višin snežne odeje, kjer sta bila upoštevana le meseca marec in april. Prišli smo do zaključka, da je bila maksimalna višina snežne odeje po koledarskem začetku pomladi visoka največ 30 cm, od tega le štirikrat višja od 20 cm. V mesecu marcu se je trikrat sicer pojavila višina snežne odeje nad 40 cm, vendar nikoli kasneje kot v prvem tednu marca.

Zgornji razlogi so privedli do odločitve, da smo za osnovno višino snega, ki se bo splazila po pobočjih, upoštevali maksimalne tridnevne količine snežnih padavin na postaji Podbrdo in jih nato za vsak plaz posebej korigirali po navodilih za uporabo programa AVAL 1D, ki so

razložena v poglavju 2.13.1.2 Vhodni podatki. Začetne, t. j. korigirane osnovne, višine vseh obdelovanih plazov so prikazane v Prilogi G.

4.1.3. Izbira gostote snega

V diplomski nalogi je pričakovati tako suhe kot mokre plazove sprijetega snega. Ker je moker sneg težji in zato posledično udarna sila plazov višja, je bila za vse primere dinamičnih simulacij izbrana vrednost gostote snega $0,50 \text{ g/cm}^3$ oziroma 500 kg/m^3 .

4.1.4 Izbira koeficienta kinetičnega in turbulentnega trenja

Iz priporočenih vrednosti programa AVAL 1D in priporočilih švicarskega inštituta so bile izbrane naslednje vrednosti za povratne dobe 30, 100 in 300 let:

Preglednica 14: Vrednosti koeficientov kinetičnega in turbulentnega trenja v odvisnosti od povratne dobe, oblike plaznice in nadmorske višine

Povratna doba T [let]		30		100		300	
oblika plaznice	nadmorska višina [m]	koef. kinetič. trenja μ	koef. turbulent. trenja ξ	koef. kinetič. trenja μ	koef. turbulent. trenja ξ	koef. kinetič. trenja μ	koef. turbulent. trenja ξ
pobočna	≤ 1000	0,35	1000	0,34	1100	0,34	1200
žlebasta	≤ 1000	0,37	600	0,36	700	0,36	800

4.2 Plazovni scenariji

Po vnosu vhodnih podatkov v program AVAL 1D so bili obravnavani naslednji scenariji različnih povratnih dob plazov:

- plaz s povratno dobo 30 let,

- plaz s povratno dobo 100 let,
- plaz s povratno dobo 300 let,

v kombinaciji z naslednjimi scenariji različnih velikosti območij trganja plazov:

- plaz z majhnim območjem trganja, ki je manjše od 30 odstotkov načrtanega območja plazov v katastru, ki se dviga nad železnico,
- plaz s srednjim območjem trganja, ki je med 30 in 70 odstotki načrtanega območja plazov v katastru, ki se dviga nad železnico,
- plaz z velikim območjem trganja, ki je večje od 70 odstotkov načrtanega območja plazov v katastru, ki se dviga nad železnico.

4.3 Predpostavke o nevarnosti proženja plazov in ogroženosti železnice

Že pogled na samo lego železnice nam da misliti, da je ta ogrožena pod prav vsako obravnavano plaznico. Proga namreč ves čas teče po ali tik pod pobočjem, zato je logično pričakovati, da bo vsak plaz bržkone končal na njej oziroma še nižje v dolini.

Glede na pogostost proženja plazov, ki je v snežnem katastru definirana s povratno dobo, ugotovimo, da se plazovi 2, 5, 7, 8, 9, 10 in 12 prožijo na vsakih 2 do 10 let, plazovi 1, 3, 6 in 11 pa na vsakih 10 do 25 let. Izjema je plaz 4, ki se proži vsakih 25 do 50 let.

Glede na zaraščenost terena posameznih plaznic, ki je razvidna iz ortofoto posnetkov in specifikacije tipa zaraščenosti na območju proženja, definirane v katastru, lahko sklepamo naslednje:

- plaznici 4 in 10 sta praktično goli, t. j. poraščeni izključno s travišči, katera predstavljajo odlično površino za trganje večjih sprijetih plazov;
- plaznice 5, 6 in 9 so deloma zaraščene, vendar pa velik del njihove površine še vedno predstavljajo le travišča;

- plaznici 2 in 3 sta sicer zaraščeni, vendar pretežno le z grmičevjem, ki slabo preprečuje trganje plazov;
- plaznice 1, 7, 8, 11 in 12 so popolnoma zaraščene, poleg tega je zarast na območju proženja plazov gozd, ki močno povečuje hrapavost in manjša trganje večjih plazov.

Pomemben faktor pri določanju nevarnosti igra že postavljena zaščita. Iz tega razloga lahko izločimo plazove 7, 9 in 12. Plaznici 7 in 12 sta skozi obokan kamnit prepust speljani pod železniško progo in s tem izključeni iz območij uvrščenih najvišje na lestvici potrebe po sanaciji. Plaznica 9 je v preteklosti povzročala nemalo nevšečnosti tako zaradi snežnih plazov, kot tudi padca kamenja in zdrsov zemljine, zato je že ustrezno zavarovana (priloga F).

5 ANALIZA REZULTATOV IZ PROGRAMA AVAL 1D IN OCENA NEVARNOSTI OBMOČJA

Vsi rezultati dinamičnih simulacij snežnih plazov, pridobljenih s pomočjo programa AVAL 1D se nahajajo v prilogi G, v nadaljevanju pa bomo pomembnejše izvlečke predstavili še nekoliko podrobneje.

Plazovom, ki železnici predstavljajo večjo nevarnost (plazovi 4, 5 in 6), so za različne povratne dobe in velikosti območja trganja plazov v prilogah H (1–5), I (1–5), J (1–5) in priloženi tudi rezultati dinamičnih simulacij v grafični obliki. Vsakemu od izbranih plazov je tako dodanih pet prilog z naslednjo vsebino:

- V zgornjem okencu prve priloge je izrisan vzdolžni profil plaznice s prikazom osi železnice in višine snežne odeje, ki se splazi po pobočju. V spodnjem okencu je prikazano spreminjanje širine plazov vzdolž plaznice.
- V drugi prilogi je v zgornjem okencu prikazano časovno spreminjanje maksimalne višine plazov vzdolž plaznice med simulacijo. V spodnjem okencu je prikazan koeficient turbulentnega trenja ξ .
- V zgornjem okencu tretje priloge najdemo časovno spreminjanje maksimalne hitrosti plazov vzdolž plaznice med simulacijo. V spodnjem okencu je prikazan koeficient kinetičnega trenja μ .
- V zgornjem okencu četrte priloge je na grafu izrisano časovno spreminjanje maksimalnega pritiska vzdolž plaznice med simulacijo. V spodnjem okencu so prikazana različna območja doseženega pritiska. S svetlo zeleno je obarvano območje pritiska med 3 in 30 kPa, s temno zeleno pa območje pritiska nad 30 kPa. Z belo je obarvano območje pritiska pod 3 kPa.
- V peti prilogi so zbrani rezultati za izbrano točko – os železnice. V zgornjem okencu je prikazano časovno spreminjanje višine snega v tej točki, v srednjem okencu je prikazano časovno spreminjanje hitrosti plazov v tej točki, v spodnjem okencu pa časovno spreminjanje pritiska na os železnice, ki ga povzroča plaz.

Prve štiri izmed naštetih prilog so informativnega značaja in se nanašajo na dogajanje vzdolž izbrane plaznice. Peta priloga se nanaša na dogajanje v osi železnice. Rezultati pete priloge so torej prikazani tudi v tabelarični obliki priloge G.

5.1 Analiza rezultatov programa AVAL 1D

- **PLAZ 1 ali PLAZ ZA ŽELEZNIŠKO POSTAJO HUDAJUŽNA**

Izračuni kažejo, da je plaz 1 nenevaren tudi v primeru, ko bi se splazilo praktično celotno pobočje naenkrat. Tudi takrat pritisk na železnico namreč ne bi bil večji od 13 kPa, problematična pa bi bila lahko le višina nanosa snega na samo prog. Ob upoštevanju še zgoraj naštetih predpostavk lahko sklepamo, da bo tudi dogodek celotnega plazenja pobočja na enkrat precej neverjeten, saj bo gozd na območju proženja in na območju celotne plaznice preprečil trganje tako velike količine snega naenkrat. Predvidevamo lahko, da se plaznica nahaja v katastru zaradi proženja manjših plazov, ki pa železnici niso nevarni.

- **PLAZ 2 ali PLAZ POD PRAPROTNICO**

Pri plazu številka 2 določitev območja trganja ne predstavlja toliko težav, saj jo lahko logično določimo iz katastrskega zarisa oblike plazu. Najbolj verjetno se bo torej splazil del plaznice pred zoženjem njene širine. Za železnico bo takrat nevaren že plaz s povratno dobo 30 let, pri plazovih s povratno dobo 100 in 300 let pa se bo ta nevarnost samo še stopnjevala, saj bo tudi višina snega večja. Grmičevje na pobočju bo tak plaz preprečevalo le do trenutka, ko ga bo snežna odeja prekrila.

- **PLAZ 3 ali ČIPEL I**

Pri tretji plaznici lahko iz katastrske oblike plazu zopet predvidevamo, kako veliko bi lahko bilo območje trganja. V takšnem primeru bi se splazila približno polovica pobočja. Vsi manjši plazovi na tem pobočju so nenevarni. Za kakršnokoli povzročitev nevarnosti bi bil torej potreben najmanj plaz srednje velikosti in povratne dobe višje od 100 let. Podobno kot pri

plaznici 1 je tudi ta plaznica močno zaraščena, vendar po katastrskih podatkih v območju proženja le z grmičevjem in redkim drevjem. Tak plaz torej je mogoč, vendar zopet kadar snežna odeja prekrije grmičevje.

- **PLAZ 4 ali ČIPEL II**

Pobočje nad železnico, kjer se nahaja četrta plaznica, je nevarno že v primeru najmanjšega zdrsa snega, pri čemer že plaz s 30-letno povratno dobo skoraj doseže mejo 30 kPa. Ta meja je pri plazu s 100-letno povratno dobo enakih dimenzij presežena že za več kot 7 kPa. Zaradi kratke dolžine plaznice je povsem razumljivo v določenih okoliščinah pričakovati, da bo območje trganja enako kar celotni površini začrtanega katastrskega območja nad železnico. Če zraven upoštevamo še travnato podlago z majhno hrapavostjo, lahko zaključimo, da je pobočje nevarno in železnica pod njim ogrožena. Ker se torej plaz Čipel II uvršča med nevarne, so v prilogah H1–H5 dodani rezultati dinamičnih simulacij v grafični obliki za primer plazu z večjim območjem trganja in tridesetletno povratno dobo.

- **PLAZ 5 ali PLAZ PODPERTELE**

Plaz 5 se uvršča v podobno kategorijo nevarnosti kot plaz 4. Nevarnost zopet predstavljajo že plazovi manjših razsežnosti s 30-letno povratno dobo, kjer pritisk na železnico preseže 40 kPa. Prav tako lahko zaradi delno travnate površine predpostavimo splazitev praktično celotne dolžine plaznice nad železnico naenkrat, kar bi pripeljalo do ogromnih pritiskov in velike višine gibajoče se snežne mase. Rezultati dinamičnih simulacij v grafični obliki za plaz s stoletno povratno dobo in srednjo velikostjo območja proženja so priloženi v prilogah I1–I5.

- **PLAZ 6 ali PLAZ OB ZVENTEL GRABNU I**

Pri plazu 6 je situacija zopet podobna. Predvsem v zgornjih dveh tretjinah razmeroma kratke plaznice gre za pretežno travnato pobočje, ki ga v samem vrhu območja proženja plazu prekine posamezno drevo ali grm. To seveda ni dovolj za preprečitev proženja tako manjših kot tudi večjih snežnih plazov, ki bodo v vsakem primeru predstavljali grožnjo železnici, ki

teče precej visoko po pobočju. Za železnico bodo nevarni plazovi s 30-letno povratno dobo in srednjim oziroma velikim območjem trganja, pri plazovih višjih povratnih dob pa bodo nevarni že plazovi z majhnim območjem trganja. Za plaz 6 so v prilogah J1–J5 dodani rezultati dinamičnih simulacij v grafični obliki za plaz s 300-letno povratno dobo in majhno velikostjo območja proženja.

- **PLAZ 8 ali PLAZ PRED PREDOROM KUK**

Plaznica številka 8 je nekoliko daljša, plazovi, ki bi se po njej splazili, pa bi morali biti precej velikih dimenzij, da bi železnici lahko predstavljali grožnjo. Pri 30-letni povratni dobi bi se morali namreč splaziti vsaj dve tretjini pobočja nad tiri oziroma pri povratni dobi 100 let vsaj polovica. Zaradi močne zaraščenosti z gozdom, ki je konstantna vzdolž celotne plaznice, predvidevamo, da je tak dogodek malo verjeten.

- **PLAZ 10 ali PLAZ LAJTA**

Plaz 10 spominja na plazova 4 in 6. Brez pomislekov lahko predvidevamo, da se bo splazilo celotno kratko pobočje nad železnico, ki se nahaja precej visoko na njem. Nevarni bodo plazovi vseh povratnih dob. Plazovi s 100- in 300-letno povratno dobo bodo za več kot enkrat prekoračili mejo 30 kPa, res pa je, da bo maksimalna višina zasutja železnice v vseh primerih nizka.

- **PLAZ 11 ali PLAZ PRI MILOBARU**

Pri plazu 11 sta lokacija železnice na pobočju in njegov naklon praktično enaka kot pri prejšnjem primeru, le plaznica je za odtenek daljša, kar pripomore k nekoliko višjim maksimalnim količinam zasutja železnice. Bistvena razlika med obravnavanima plaznicama je v zaraščenosti terena, saj je enajsta plaznica popolnoma zaraščena z gozdom, zaradi česar je dogodek plazenja celotnega pobočja malo verjeten.

5.2 Končna ocena nevarnosti območja

Pri podajanju ocene nevarnosti področja, bi bili ob upoštevanju le dinamičnih simulacij zagotovo preveč na varni strani, zaradi česar je pomembno da v obzir vzamemo vse obravnavane predpostavke iz poglavja 4.3 Predpostavke o nevarnosti proženja plazov in ogroženosti železnice.

Pri podajanju končne ocene nevarnosti področja lahko glede na upoštevane podatke zaključimo naslednje:

Za plazove 4, 5 in 6 lahko trdimo da so nevarni in vlaki pod njimi ogroženi, zato bi se železnica v izrisanih kartah nevarnosti nahajala v rdeči coni. To bi zaradi prikazanih rezultatov iz programa AVAL 1D lahko trdili tudi za plaz 10, vendar pa se tu poraja vprašanje višine snega, s katero plaz zadane železnico. Ali je višina 40 cm dovolj, da območje uvrstimo v rdečo cono, kljub temu, da plaz preseže pritisk 30 kPa, je na podlagi količine podatkov, ki so bili za analizo uporabljeni, težko trditi. Zavedati se je treba, da je železnica od terena v povprečju dvignjena na gramoznem nasutju za ravno 40 cm, tako majhnih lokalnih sprememb pa v programu AVAL 1D na žalost ne moremo upoštevati. Programi dinamičnih simulacij so v svojem bistvu namenjeni predvsem izračunom večjih in bolj rušilnih plazov, čemur botruje dejstvo, da so razviti v državah, kjer so takšni večji plazovi pričakovani na naseljenih področjih. Iz tega razloga lokalne spremembe v topografiji povzročajo njihovo nepravilno delovanje.

Predlagamo, da se plazove 4, 5 in 6 sanira s pomočjo trajnih varstvenih ukrepov. Kot se je v preteklosti že pokazalo, je bila v podobnih primerih najbolj učinkovita kombinacija trajnih varstvenih ukrepov. V primeru varovanja avtocestnega odseka Hrušica – Vrba so bili uporabljeni varstveni objekti (snežni mostovi, mreže) ob sočasnem pogozdovanju terena. Tudi na obravnavanem odseku Podbrdo – Hudajužna so se tako gozd, kot tudi umetna zaščita v obliki snežnih mostov in zidov, že izkazali za učinkovite. Iz navedenih razlogov bi bili podobni ukrepi na ostalih nevarnih plaznicah smotrni.

Pri plazovih 2 in 3 govorimo o pogojni nevarnosti. Ta bi nastopila, če bi višina snega prekrila grmičevje, poraja pa se vprašanje, ali je tak dogodek sploh mogoč. Če bi želeli za plaznici 2 in 3 podati natančnejšo oceno nevarnosti, bi bilo treba bolje preučiti teren ter ugotoviti, kako gosto je grmičevje ter kako visoko sega. Pomembno bi bilo tudi strokovno mnenje o vplivu grmičevja na intercepcijo snega med sneženjem, zaradi česar je višina snežne odeje lahko nižja od predvidene.

Še posebej je vprašljiva nevarnost plazov 3, pri katerem bi bila v najslabšem možnem primeru višina maksimalnega zasutja železnice enaka 50 cm, kjer je zopet vprašljivo, kako bi taka višina snega vplivala na železnico, ki je dvignjena na gramoznem nasutju.

Za plazova 8 in 11 bi ob upoštevanju izključno dinamičnih simulacij zagotovo zaključili, da sta nevarna in da se uvrščata v rdečo cono nevarnosti. Ob pogledu na poraščenost terena teh dveh plaznic se hipno zavedamo, da temu morda ni tako. Gozd je namreč, kot je bilo omenjeno v poglavju 2.10.2.1 Pogozdovanje, najboljša naravna zaščita proti proženju snežnih plazov. Za realnejšo oceno nevarnosti teh dveh območij bi bila potrebna analiza tipa in gostote dreves, pregled znakov plazov na njih, primerjava gozdnosti območja nekoč in danes, pregled obstoja zgodovinskih zapisov oziroma pričevanj lokalnih prebivalcev o velikostih plazov na teh dveh področjih in njihovih posledicah itd.

Za plaz 1 in predel železnice pod njim bi lahko zaključili, da se na karti nevarnosti zagotovo ne bi uvrstila v rdečo cono nevarnosti. Uvrstitev v nižji razred nevarnosti bi zahtevala nadaljnje raziskave področja, kot pri plazovih 8 in 11.

Za plazove 7, 9 in 12 lahko iz zgornjih predpostavk zaključimo, da so železnici nenevarni zaradi ukrepov, izvedenih na teh območjih.

5.3 Prikaz izdelave karte nevarnosti

Na podlagi, rezultatov dobljenih s pomočjo programa AVAL 1D in predpostavk o proženju snežnih plazov na obravnavanem območju, je bila v programu ARC GIS izrisana še karta

nevarnosti, ki se nahaja v prilogi K. Narejena je bila za plaz 4 ali plaz Čipel II, ki se uvršča med nevarne plazove. Za izris karte so bile uporabljene nekoliko prirejene smernice, ki jih je za slovenski prostor po zgledu Avstrije in Švice načrtal Horvat (2001) in so bile podrobneje razložene v poglavju 2.10.3.2 Karte nevarnosti snežnih plazov v Sloveniji. Namesto predlaganih dveh razredov nevarnosti smo v diplomski nalogi privzeli tri razrede in sicer na podoben način kot pri poplavnih kartah nevarnosti. Razredi si sledijo v naslednjem vrstnem redu:

- rdeča cona je cona velike nevarnosti, kjer pritisk plazu preseže 30 kPa;
- oranžna cona je cona srednje nevarnosti, v kateri se nahajajo območja, kjer se pritisk plazu giblje med 3 in 30 kPa;
- rumena cona je cona majhne nevarnosti, v kateri se nahajajo območja znotraj dosega plazu, kjer pritiski ne presežejo 3 kPa.

Za izdelavo karte nevarnosti je bila na podlagi analogije s poplavnimi kartami izbrana povratna doba 100 let. Pri analizah sta bili upoštevani tudi nižja in višja povratna doba in sicer povratni dobi 30 in 300 let. Zaradi majhnih razlik v debelini snežne odeje pri povratnih dobah 30 in 100 let, je bila izbrana višja povratna doba, zaradi česar smo tudi na varnejši strani. Rezultati za povratno dobo 300 let so zaradi kratkega časovnega obdobja merjenja višin snega in pomanjkljivega zgodovinskega vedenja o dogodkih manj gotovi, zato ta povratna doba ni bila izbrana za izris karte nevarnosti.

Pri izdelavi karte nevarnosti se je presoja dejanske situacije zopet izkazala kot ključni faktor za pridobivanje realnih končnih rezultatov. Vključevanje lokalnih topografskih sprememb terena, tokrat pod železniško progo, torej nižje na pobočju, je odločilno prispevalo k velikosti izrisanih območij nevarnosti. V rezultatih dinamičnih simulacij je plaz namreč presegel zarisani doseg plazu na karti, ki smo ga skrčili zaradi vpliva rečne struge, ki se vije po dnu doline, t. j. med železniškimi tiri in cesto. Struga bi s svojo globino zagotovo odločilno vplivala na doseg plazu, zato je bil ustrezno skrčen razred majhne nevarnosti. Struga ni vplivala na velikost območja, ki se nahaja v srednjem in velikem razredu nevarnosti.

6 ZAKLJUČEK

Snežni plazovi so kompleksen pojav, za katerega težko predvidimo kdaj in kje se bo pojavil. Iz tega razloga je preventivna varnost, v smislu ocene nevarnosti snežnih plazov, ena izmed najpomembnejših komponent za učinkovito preventivno zaščito pred snežnimi plazovi.

Pri oceni nevarnosti snežnih plazov je pomemben del posluževanje dinamičnih simulacijskih programov, s pomočjo katerih določamo bistvene karakteristike snežnih plazov, zmotno pa bi bilo misliti, da je ta edini. Kot smo videli, obstaja vrsta vplivov, katerih v takšne programe ne moremo vključiti, saj program tega enostavno ne dopušča. Med takšne v našem primeru spada gozd, ki ga v simulacijo ne moremo vključiti, kljub temu, da se zavedamo, da bistveno vpliva na sam dogodek, njegovo razsežnost in pogostost. Kot naslednji primer je vredno omeniti nezmožnost vnosa specifičnih lokalnih sprememb topografije v program, kot je gramozni nasip pod železniškimi tiri, saj bi to povzročilo nestabilnosti v delovanju programa. Ta namreč zahteva, da je plaznica zglajena, saj je namenjen predvsem plazovom večjih razsežnosti, pri katerih takšne lokalne spremembe nimajo bistvenega vpliva.

Obstajajo pa tudi vplivi, ki jih zaradi nezadostnosti podatkov oziroma njihovega primanjkljaja ne znamo ali ne moremo pravilno iz vrednotiti. S tem dopuščamo možnost manjših in večjih napak, ki zaradi predhodnih nepravilnosti nastajajo v končnih rezultatih simulacij. Kot primer lahko omenimo koeficienta kinetičnega in turbulentnega trenja, za katera lahko edine podatke dobimo iz splošnih tabel, ki nam jih ponuja program. Za pridobitev realnih vrednosti teh dveh koeficientov bi bila poleg znanja in izkušenj potrebna vrsta terenskih in laboratorijskih preiskav.

Ena izmed temeljnih predpostavk naših izračunov je zagotovo višina snega, ki po pobočju splazi. Tudi pri njenem izračunu je lahko prišlo do več različnih napak, bodisi merilnih bodisi računskih, pri izbiri ustrezne porazdelitve.

Šele ob zavedanju vseh vplivov, ki jih v svojem delu ne moremo upoštevati, in napak, ki jih lahko naredimo, lahko podamo realno oceno, ki pa dostikrat ni zadovoljiva. To se je pokazalo

tudi v tem diplomskem delu, ko smo lahko le za polovico plazov, t. j. šest, podali končno oceno nevarnosti. Tako lahko pri treh od dvanajstih plazov (plazovi 7, 9 in 12) na podlagi zbranih informacij trdimo, da so železnici nenevarni. Pri drugih treh (plazovi 4, 5 in 6) lahko na podlagi zbranih informacij trdimo, da so nevarni in vlaki na železnici zaradi njih ogroženi. Ta območja bi bilo treba ustrezno zaščititi in nato redno kontrolirati. Pri ostalih šestih plazovih (1, 2, 3, 8, 10, 11) ne moremo podati specifičnih zaključkov, saj se poraja vrsta neodgovorjenih vprašanj. Za podajanje ocene nevarnosti na teh območjih bi bila zagotovo potrebna vsaj podrobnejša analiza vegetacije in lokalnih sprememb topografije.

Kot nadgradnja ocene nevarnosti snežnih plazov v diplomskem delu je bila na primeru enega plazov izrisana še karta nevarnosti. Ta, prav tako kot ocena nevarnosti, temelji tako na rezultatih dinamičnih simulacij, kot tudi na presoji ostalih vplivov, ki jih v simulacijo ni mogoče zajeti.

V Sloveniji bi bilo nujno treba narediti korak naprej pri preventivnem varstvu pred snežnimi plazovi. Danes to področje temelji le na pomanjkljivih podatkih katastra snežnih plazov, ki je nedosleden in bi ga bilo treba sproti nadgrajevati. Poleg tega je narejen izključno na podlagi zgodovinskih podatkov in pričevanj, torej je pretežno subjektivno naravnano in tudi ni podkrepjen z nikakršnimi izračuni dinamičnih simulacij. Z nevarnostjo snežnih plazov bi se bilo treba spopadati na podoben način kot s poplavno nevarnostjo in se opreti na smernice, uporabljene v Avstriji in Švici. Velik napredek pri nas bi pomenila izdelava kart nevarnosti snežnih plazov. Če bi jih izdelovali dosledno, torej z natančnim pregledom območij, nadgradnjo obstoječega katastra na podlagi zbranih ugotovitev in izdelavo računalniških simulacij ter njihovo pravilno interpretacijo, bi dobili legitimno podlago za izdelavo prostorskih planov in nujnih sanacij ogroženih območij. Na podlagi kart nevarnosti bi lahko zakonsko natančno določali, kje je urbanizacija področij dovoljena in kje ne ter se s tem izognili škodnim posledicam. Prav tako bi lahko zakonsko določili, kakšni so potrebni ukrepi na objektih in infrastrukturi, ki se že nahajajo v nevarnih območjih, da bi preprečili njihovo ranljivost. V to vejo varovanja bi se lahko usmerili že na podlagi pričujočih rezultatov drugih evropskih držav, ki so s takimi ukrepi zmanjšale število žrtev in gmotne škode, saj si nihče ne želi, da bi nas v takšne ukrepe prisilila naravna nesreča sama.

VIRI

Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO).

<http://www.arso.gov.si/> (15.12.2011).

Arhiv Slovenskih železnic. 2011. Osebna komunikacija.

Austrian service for torrent and avalanche control.

<http://www.wassernet.at/article/articleview/72904/1/14298> (19. 02. 2011).

Bacher, M. 2009. Snow and avalanches, Presentation 02. Wien, Universität für Bodenkultur, Department für Bautechnik und Naturgefahren.

Bacher, M. 2009a. Snow and avalanches, Presentation 03. Wien, Universität für Bodenkultur, Department für Bautechnik und Naturgefahren.

Bacher, M. 2009b. Snow and avalanches, Presentation 04. Wien, Universität für Bodenkultur, Department für Bautechnik und Naturgefahren.

Bartelt, P., Salm, B., Gruber, U. 1999. Calculating dense snow avalanches runout distances using Voellmy – fluid model with active/passive longitudinal straining. *Journal of Glaciology*. 45, 150: 242–254.

Bohinj: 100 letnica bohinjskega predora, Bohinjska proga priložnost in izziv. 2007.

http://www.bohinj.si/si/100_letnica_Bohinjskega_predora (26. 01. 2011).

Brilly, M., Šraj, M. 2005. Osnove hidrologije: univerzitetni učbenik. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: str. 30–80.

Christen, M., Bartelt, P., Gruber, U. 2002. AVAL – 1D: An avalanche dynamics program for the practice. Matsumoto, International congress Interpraevent in the Pacific Rim, Congress publication. 2: 715–725.

Christen, M., Bartelt, P., Gruber, U. 2002a. AVAL – 1D: Numerical calculation of dense flow and powder snow avalanches; User manual. Davos, Swiss federal institute for snow and avalanche research, 132 str.

Christen, M. WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF – Inštitut za sneg in snežne plazove v Švici. 2011. Osebna komunikacija.

Conradi, M. Ples snežink.

<http://www.gore-ljudje.net/novosti/33013/> (12. 02. 2011).

Dolina Soče: Baška grapa.

<http://www.dolina-soce.com/locations-i-sl/items/Baska-grapa.html> (26. 01. 2011).

Föhn, P.M.B., Ammann, W.J. 1999. Snow avalanches; Swiss Federal Institute for Snow and Avalanche Research.

<http://www.eird.org/deslizamientos/pdf/eng/doc12107/doc12107-2.pdf> (19. 02. 2011).

Gams, I. 2003/2004. Snežni plazovi v Sloveniji. UJMA. 17–18: 337–338.

Horvat, A. 2001. Metode določanja erozijsko ogroženih območij. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: str. 126–146.

Horvat, A., Papež, J., Cej, T. 2006. Sistem namernega proženja snežnih plazov s strelno cevjo na smučišču Kanin. UJMA. 20: 230–233.

Horvat, A., Papež, J., Koren, M. 2006. Trajno varstvo pred snežnimi plazovi: uspešnost ukrepov nad AC Hrušica – Vrba (1993–2005). UJMA. 20: 234–238.

Höller, P. 2007. Avalanche hazards and mitigation in Austria: a review. *Natural Hazards*, 43, 1: 81–101.

<http://freedownloadbooks.net/HAZARD-MAPPING-AND-ZONING-IN-AUSTRIA:-METHODS-AND-LEGAL-IMPLICATIONS-pdf.html> (10. 05. 2010).

Hrvatina, M. 1995. Nekatere morfološke in hidrološke poteze povirja Baške grape. Ljubljana, DELA 11, Oddelek za geografijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani: str. 9–20.

Geopedia.

<http://www.geopedia.si/> (26. 01. 2011).

Gore in ljudje.

<http://www.gore-ljudje.net/> (12.12.2011).

Kataster snežnih plazov. 2011. Osebna komunikacija.

Lied, K., Bakkehoi, S. 1980. Empirical calculations of snow – avalanche run – out distance based on topographic parameters. *Journal of Glaciology*. 26, 94: 165–177.

McClung, D., Schaerer, P. 2006. *The avalanche handbook*. Seattle, The Mountaineers books, 342 str.

MMC RTV SLO, 2010. Polona Balantič: Čudak s črnim pladnjem na zasneženem pragu in mikroskopom v roki.

<http://www.rsi.si/kultura/novice/cudak-s-crnim-pladnjem-na-zasnezenem-pragu-in-z-mikroskopom-v-roki/221868> (12. 02. 2011).

Ogrin, D. 1996. Podnebni tipi v Sloveniji. Ljubljana, *Geografski vestnik*. 68,1: 39–56.

Pavšek, M. 2002. Snežni plazovi v Sloveniji: geografske značilnosti in preventiva: *Geografija Slovenije* 6. Ljubljana, Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU: 209 str.

Pavšek, M. 2007. Čez Vršič vodi naša edina gorska povezovalna cesta. Delo: Znanost, 26. 07. 2007.

<http://www.gore-ljudje.net/novosti/9909/> (11. 01. 2011).

Perko, D. 1998. Ekspozicija Površja: Geografski Atlas Slovenije. Ljubljana, DZS: str. 88–89.

Pravilnik o metodologiji za določanje območij, ogroženih zaradi poplav in z njimi povezane erozije celinskih voda in morja, ter o načinu razvrščanja zemljišč v razrede ogroženosti; Uradni list Republike Slovenije št. 60/2007; Splošne določbe, 2. Člen.

<http://www.uradni-list.si/1/content?id=81148> (19. 02. 2011).

Rajar, R. 1979. Dinamika snežnih plazov: 1. del. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, VTOZD Gradbeništvo in geodezija, Laboratorij za mehaniko tekočin:60 str.

Rakovec, J., Vrhovec, T. 2000. Osnove meteorologije za naravoslovce in tehnike: 2. popravljena izdaja. Ljubljana, Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije, DMFA – založništvo: 329 str.

Sailer, R. 2004. Case studies with SAMOS – comparison with observed avalanches. Innsbruck, Department of avalanche and torrent research, Federal office and research centre for forests: 8 str.

Sartoris, G., Bartelt, P. 2002. Upwinded finite difference schemes for dense snow avalanches modeling. International journal for numerical methods in fluids. 32: 799–821.

Sauermoser, S. 2006. Avalanche hazard mapping – 30 years experience in Austria; Proceedings international snow science workshop. Telluride, Colorado: str. 314–321.

http://www.avalanche.org/~issw2004/issw_previous/2006/proceedings/data/papers/048.pdf
(10. 05. 2010).

Singh, P., Singh, V. P. 2001. Snow and glacier hydrology. Dordrecht, Kluwert Academic Publishers, Water Science and Technology Lybrary. 37: 742 str.

Sergent, C. 2000/2001. Preobrazba snega. UJMA. 14–15: 261–268.

Slovenija: pokrajine in ljudje. 1998. Atlas Slovenije v sliki in besedi. Ljubljana. Založba Mladinska knjiga: 115 str.

Slovenske železnice: z muzejskim vlakom po Bohinjski progi, 2010.

<http://www.slo-zeleznice.si/sl/potniki/na-izlet/muzejski-vlak> (26. 01. 2011).

Slovenske železnice: avtovlak, 2010a.

<http://www.slo-zeleznice.si/sl/potniki/dodatna-ponudba/avtovlak> (26. 01. 2011).

Snowflake Bentley – The official website of Wilson A. Bentley.

<http://snowflakebentley.com/bio.htm> (12. 02. 2011).

Steinman, F. 1999. Hidravlika: 1. ponatis. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: str. 10–23.

Šegota, T., Filipčić, A. 1996. Klimatologija za geografe: III. prerađeno izdanje. Zagreb, Školska knjiga, Učbenici sveučilišta u Zagrebu: 472 str.

Šegula, P. 1986. Sneg, led, plazovi: priročnik za planince smučarje in druge. Ljubljana, Planinska zveza Slovenije: 301 str.

Šegula, P. 1995. Sneg in plazovi – večjezični slovar. Ljubljana, Gorska reševalna služba pri planinski zvezi Slovenije: 360 str.

Študijska naloga. 1999. Zagotovitev varnosti pred snežnim plazovi na državnih cestah republike Slovenije (končno poročilo), št. proj. IV – 108/99. Ljubljana, Podjetje za urejanje hudournikov PUH: 78 str.

Tremper, B. 2008. Staying alive in avalanche terrain. Seattle, The Mountaineers books: 318 str.

Trojer, B. Slovenske železnice, vodja nadzorništva proge Podbrdo. 2011. Osebna komunikacija.

Uredba o pogojih in omejitvah za izvajanje dejavnosti in posegov v prostor na območjih, ogroženih zaradi poplav in z njimi povezane erozije celinskih voda in morja, Uradni list Republike Slovenije št. 89/2008; Splošne določbe, 3. Člen.

<http://www.uradni-list.si/1/content?id=88381> (19. 02. 2011).

Vičar, Z. ARSO: Oddelek za kontrolo podatkov in arhiv – meteorologija. 2011. Osebna komunikacija.

Zakon o vodah, Uradni list Republike Slovenije št. 67/2002: 54 str.

http://zakonodaja.gov.si/rpsi/r04/predpis_ZAKO1244.html (19. 02. 2011).

PRILOGE

Priloga A: Pregled glavnih in regionalnih prog mreže Slovenskih železnic

Priloga B: Zemljevid obravnavanega področja med Podbrdom in Hudajužno s prikazom topografije terena, ortofoto posnetka in lavinskega katastra

Priloga C: Kataster snežnih plazov:

- Priloga C1: Pomembnejši podatki iz katastra snežnih plazov za obravnavanih 12 plaznic
- Priloga C2: Šifrant katastra snežnih plazov

Priloga D: Grafični prikaz verjetnostne analize maksimalnih letnih višin snežne odeje na postajah Podbrdo, Bukovo in Rut

Priloga E: Grafični prikaz verjetnostne analize maksimalnih tridnevni količin novozapadlega snega na postaji Podbrdo

Prilogi F1 in F2: Načrti zaščite v plaznici 9

Priloga G: Tabela rezultatov dinamičnih simulacij

- Priloga G1: Tabela rezultatov dinamičnih simulacij za 10 izbranih plaznic
- Priloga G2: Šifrant tabele rezultatov dinamičnih simulacij

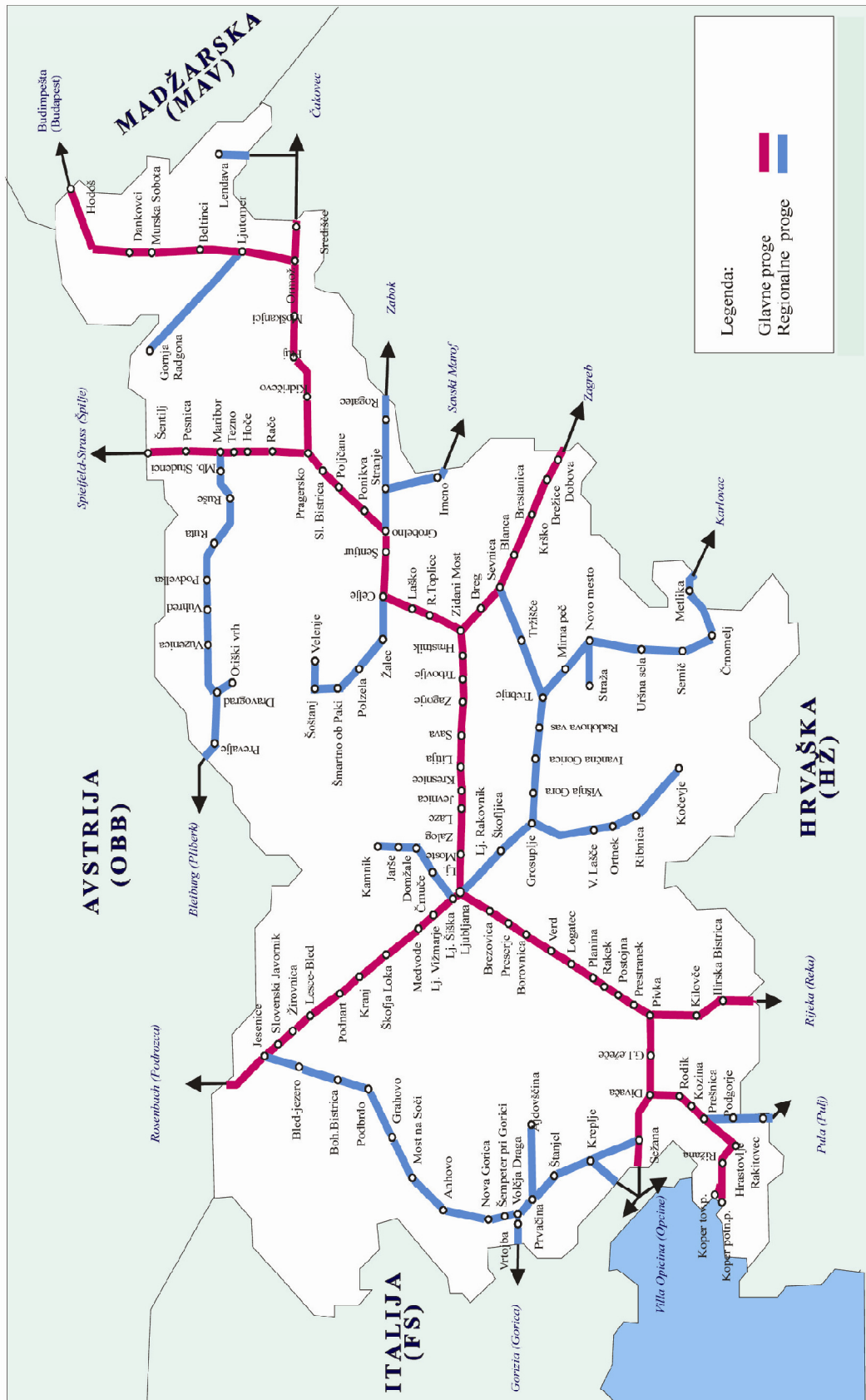
Priloge H1–H5: Grafični prikaz rezultatov dinamičnih simulacij za Plaz 4 ali Plaz Čipel II

Priloge I1–I5: Grafični prikaz rezultatov dinamičnih simulacij za Plaz 5 ali Plaz Podpertele

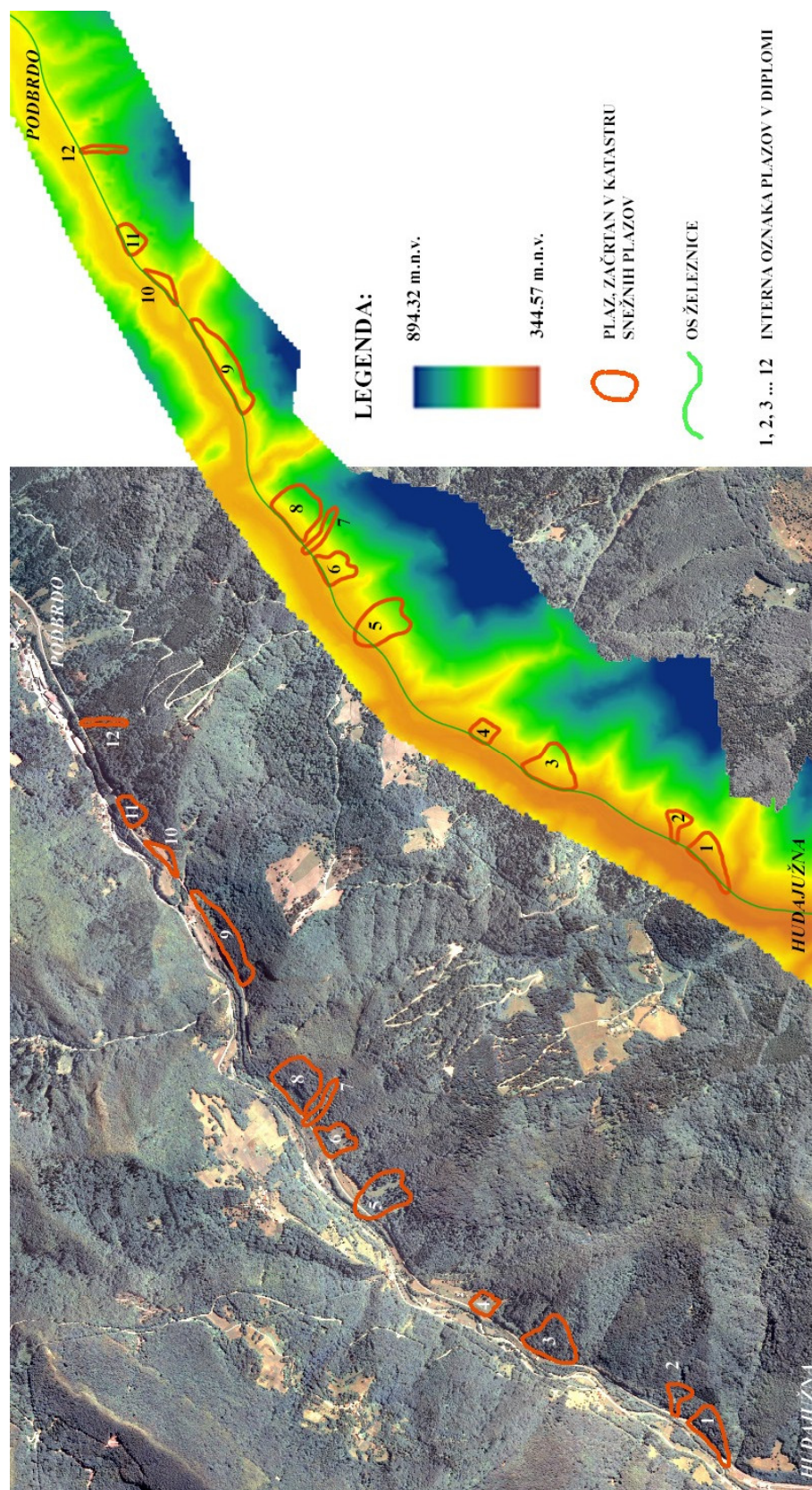
Priloge J1–J5: Grafični prikaz rezultatov dinamičnih simulacij za Plaz 6 ali Plaz Ob Zventel grabnu I

Priloga K: Karta nevarnosti za plaz 4 – plaz Čipel II

PRILOGA A: Pregled glavnih in regionalnih prog mreže Slovenskih železnic



PRILOGA B: Zemljevid obravnavanega področja med Podbrdom in Hudajužno s prikazom topografije terena, ortofoto posnetka in lavinskega katastra



PRILOGA C 1: Pomembnejši podatki iz katastra snežnih plazov

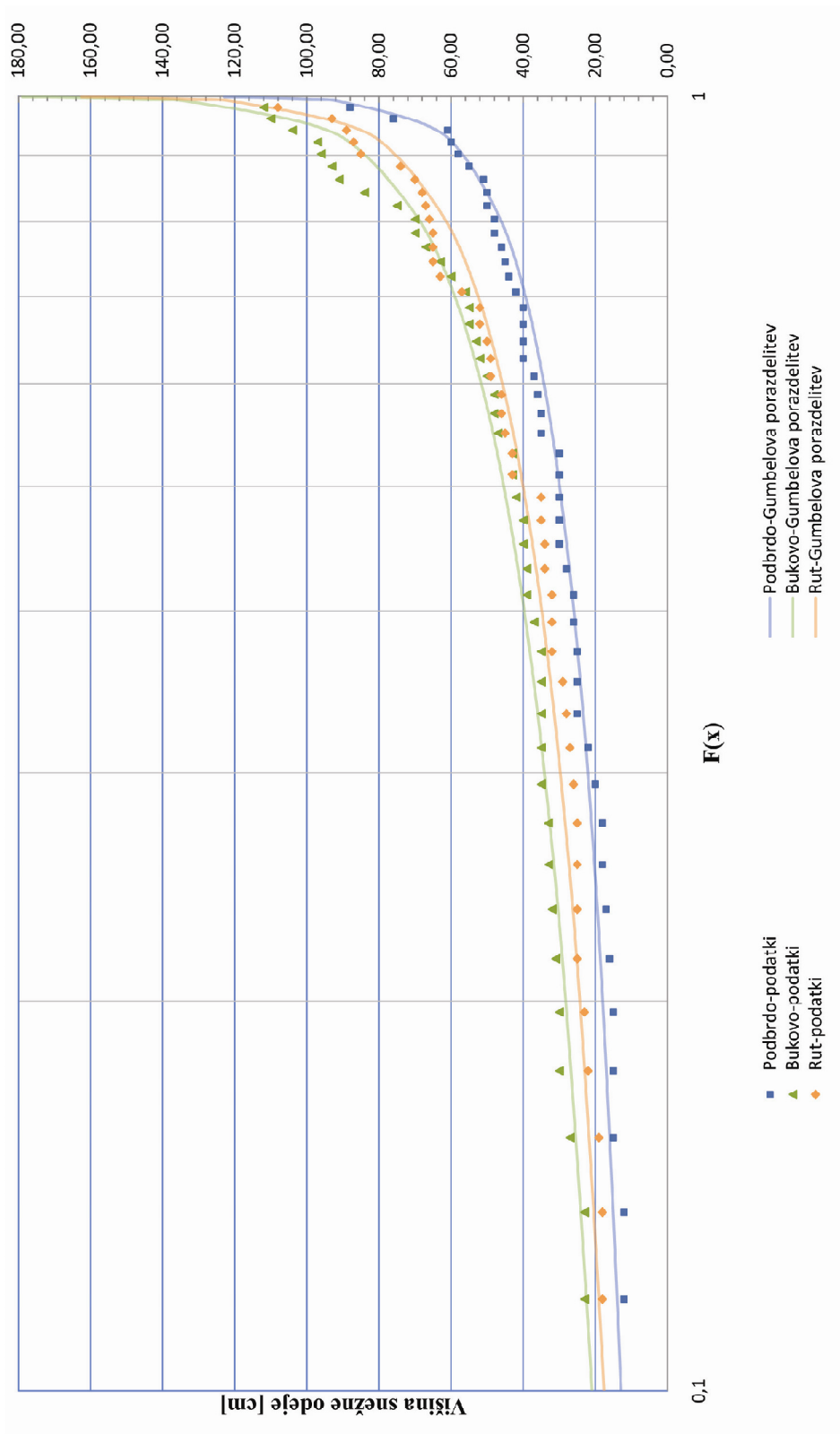
A ŠT.	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
B	TOLMIN	TOLMIN	TOLMIN	TOLMIN	TOLMIN	TOLMIN	TOLMIN	TOLMIN	TOLMIN	TOLMIN	TOLMIN	TOLMIN
C	PODBRDO	PODBRDO	PODBRDO	PODBRDO	KUK	KUK	KUK	KUK	ZNOJILE	ZNOJILE	HUDAJUŽNA	HUDAJUŽNA
D	IME POD ŠTOVLO	PRI MILOBARJU	LAJTA	MOHORČU	PRED PREDOROM KUK	OB ZVENTEL GRABNU II	OB ZVENTEL GRABNU I	LE	ČIPEL II	ČIPEL I	PLAZ POD PRAPROTNICI	ZA Ž.P. HUDAJUŽNA
E	419970	419617	419441	419107	418516	418394	418306	418048	417656	417472	417252	417155
F	118295	118141	117999	117759	117506	117428	117354	117196	116746	116461	115979	115843
G	590	530	510	550	500	610	510	550	470	550	500	500
H	490	475	470	465	450	440	440	420	415	410	380	395
I	100	55	40	85	50	170	70	130	55	140	120	105
J	27	38	45	47	18	40	35	33	38	39	45	46
K	224	89	57	117	158	262	122	239	89	220	169	145
L	0,44	1,0598	0,7965	3,8058	2,7659	0,8379	1,5913	3,2002	0,8605	3,0499	0,8937	2,456
M	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
N	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
O	4	4	2	4	4	4	4	3	2	3	2	4
P	2	2	3	2	2	2	2	3	3	2	2	2
Q	2	2	3	2	2	2	2	3	3	2	2	2
R	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
S	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	1	2
T	8	6	6	6	6	6	6	6	6	6	7	6
U	2	3	2	2	2	2	3	2	4	3	2	3

PRILOGA C 2: Šifrant katastra snežnih plazov

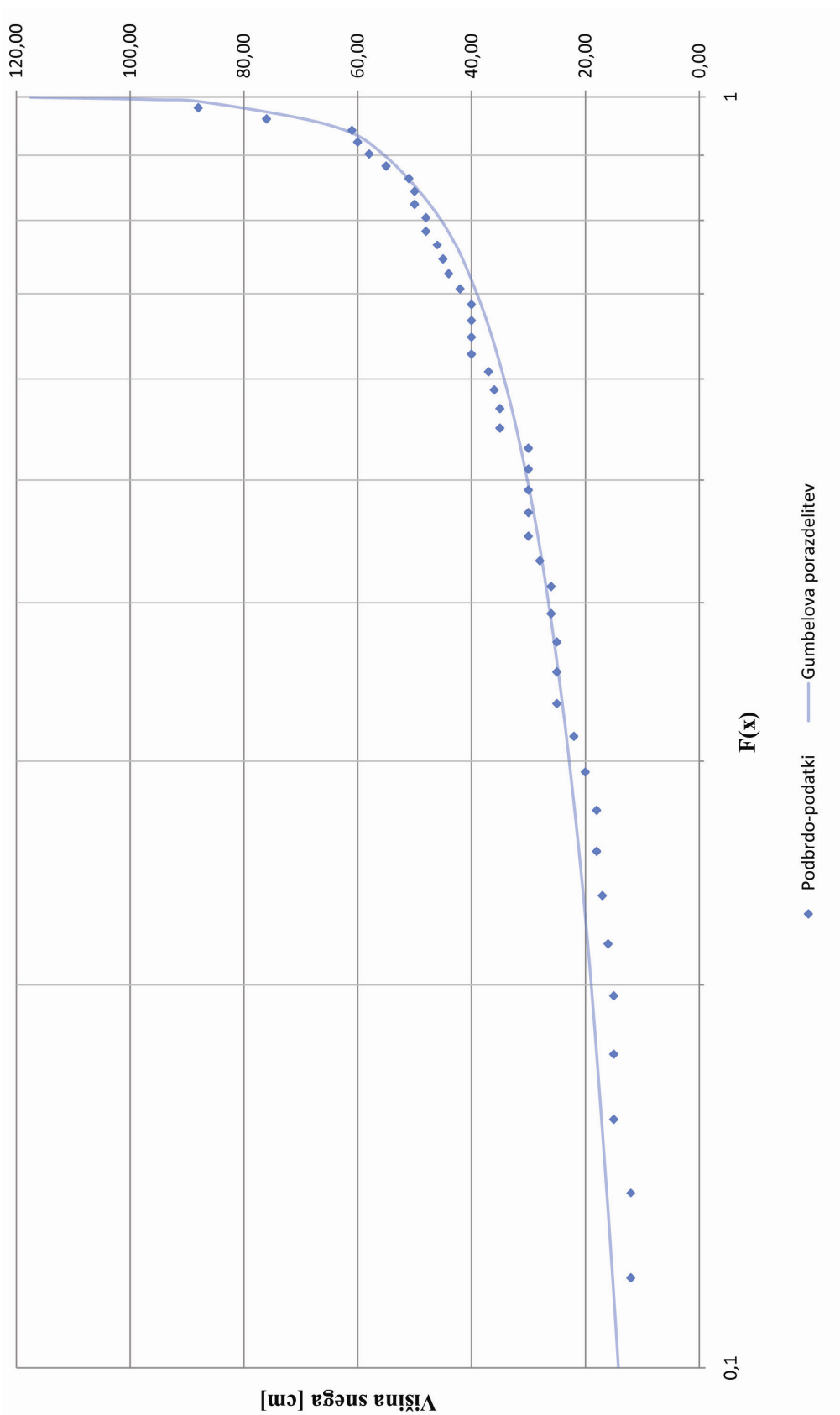
- A Interna oznaka posameznega plazu s številko v diplomi
- B Katastrska občina
- C Naselje
- D Ožja Lokacija - ime plazu
- E Centralna koordinata plazu X
- F Centralna koordinata plazu Y
- G Zgornja nadmorska višina območja proženja plazu
- H Spodnja nadmorska višina območja proženja plazu pri maksimalni velikosti plazu
- I Razlika v nadmorski višini območja proženja maksimalnega plazu
- J Maksimalni nagib pobočja v območju proženja plazu
- K Projekcijska vodoravna razdalja maksimalnega plazu
- L Maksimalna površina plazu
- M Oblika plaznice v območju proženja (1 = pobočna, 2 = jarkasta, 3 = pahljačasta)
- N Oblika plaznice v območju gibanja (1 = pobočna, 2 = jarkasta, 3 = pahljačasta)
- O Zarast v območju proženja (1 = goličave, 2 = travišča, 3 = grmičevje, 4 = gozd)
- P Stabilnost zemljišč v območju proženja (1 = neerodibilna, 2 = erodibilna, 3 = plazljiva)
- Q Stabilnost zemljišč v območju gibanja (1 = neerodibilna, 2 = erodibilna, 3 = plazljiva)
- R Ogroženost prometa (1 = magistralne ceste, 2 = regionalne ceste, 3 = lokalne ceste, 4 = gozdne ceste, 5 = železnica)
- S Ogroženost prevladujoča (1 = kmetijska zemljišča, 2 = gozdni sestoji, 3 = smušišča, 4 = daljnovodi, 5 = stanovanjski objekti)
- T Ekspozicija (6 = vzhod, 7 = severovzhod, 8 = sever)
- U Pogostost: 1 = pogosti (1 do 2 leti), 2 = občasni (2 do 10 let), 3 = redki (10 - 25 let), 4 = zelo redki (25 -50 let), 5 = izjemni (nad 100 let)

PRILOGA D: Verjetnostna analiza maksimalnih letnih višin snežne odeje na postajah

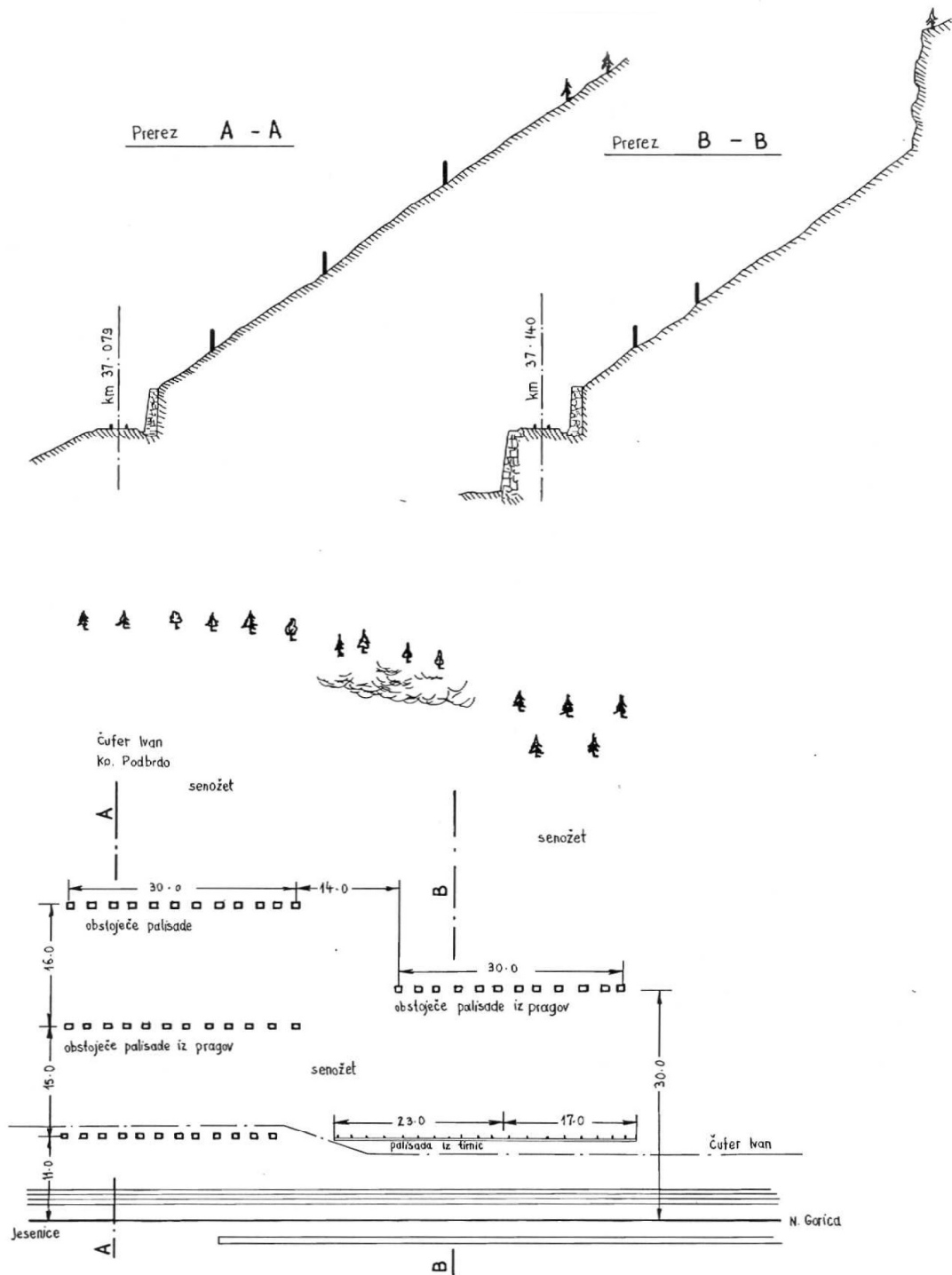
Podbrdo. Bukovo in Rut z Gumbelovo porazdelitvijo



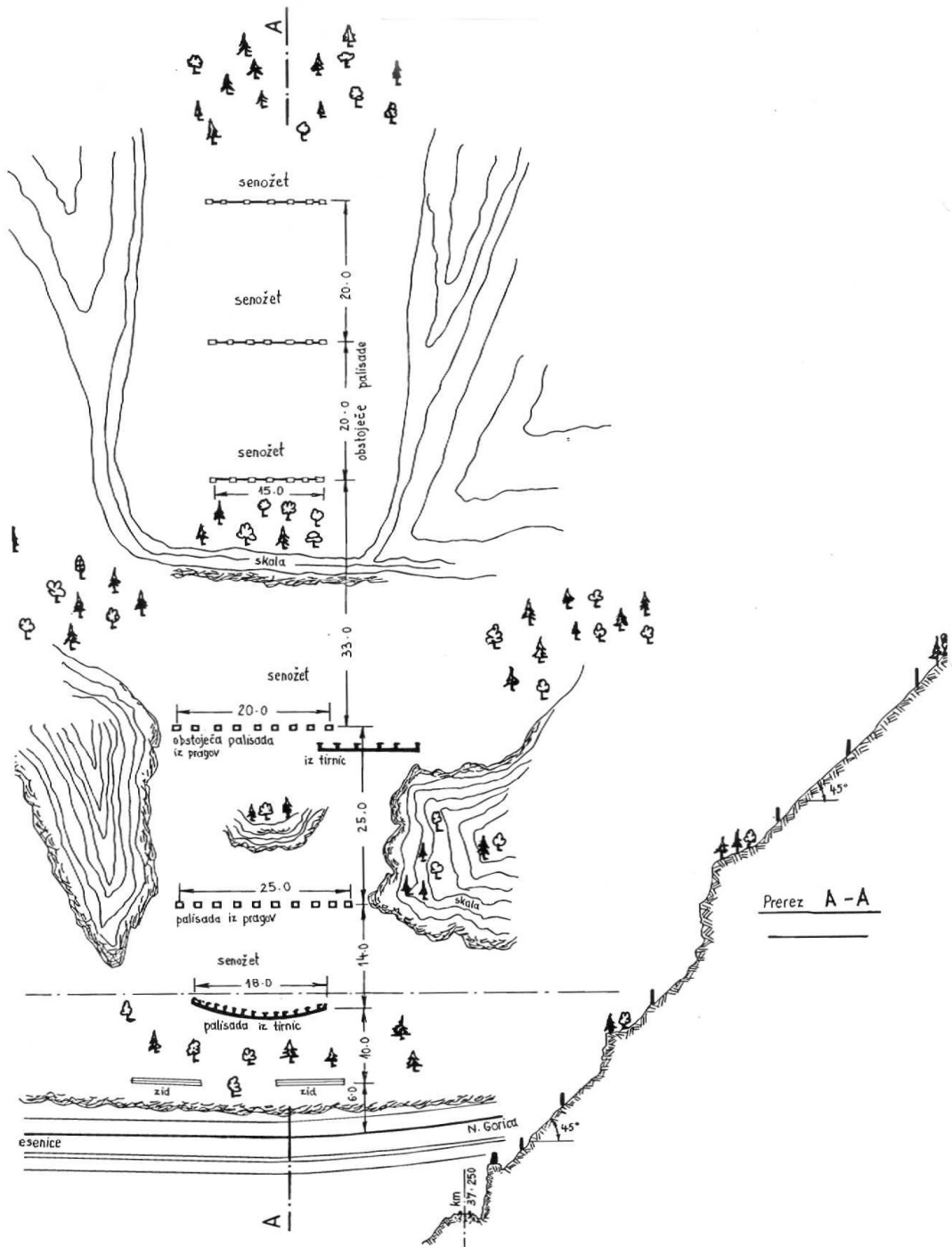
PRILOGA E: Verjetnostna analiza maksimalnih tridnevnih količin novozapadlega snega na postaji Podbrdo.



PRILOGA F 1: Načrti zaščite v plaznici 9



PRILOGA F 2: Načrti zaščite v plaznici 9 – prerez A-A



PRILOGA G 1: Tabela rezultatov dinamičnih simulacij narejenih s pomočjo programa

AVAL 1D

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
plaz	T	φ	do	A	H_{\max}	H_{fin}	p	v	rdeča cona	oranžna cona	rumena cona
1	30	46	0,47	1	0,20	0,20	1,10	0,60			X
1	30	46	0,47	3	1,00	0,87	12,70	5,00		X	
1	100	46	0,54	1	0,23	0,23	1,10	3,20			X
1	100	46	0,54	3	1,10	0,95	21,10	6,50		X	
1	300	46	0,60	1	0,40	0,62	5,10	3,20		X	
1	300	46	0,60	3	1,10	1,00	28,10	7,50		X	
2	100	42	0,60	2	1,80	1,10	117,10	15,30	X		
2	300	42	0,67	2	2,30	1,00	128,70	16,00	X		
2	300	42	0,67	3	2,90	1,50	107,20	14,60	X		
3	30	37	0,63	2	0,20	0,20	16,60	5,80		X	
3	30	37	0,63	1	0,05	0,05	5,20	3,20		X	
3	100	37	0,73	1	0,05	0,05	7,10	3,80		X	
3	100	37	0,73	2	0,20	0,20	22,50	6,70		X	
3	100	37	0,73	3	0,50	0,50	52,90	10,30	X		
3	300	37	0,81	1	0,08	0,08	6,60	4,20		X	
3	300	37	0,81	2	0,21	0,21	27,60	7,40		X	
3	300	37	0,81	3	0,50	0,50	63,30	11,30	X		
4	30	30	0,84	1	0,40	0,26	28,90	7,60		X	
4	30	30	0,84	2	0,60	0,48	40,20	9,00	X		
4	30	30	0,84	3	1,30	1,30	53,30	10,30	X		
4	100	30	0,96	1	0,40	0,30	37,20	8,60	X		
4	100	30	0,96	3	1,10	1,00	62,90	11,20	X		
4	300	30	1,10	1	1,20	0,90	70,10	11,80	X		
5	30	30,5	0,83	1	0,80	0,08	41,20	9,50	X		
5	30	30,5	0,83	1	0,50	0,04	24,40	7,00		X	
5	30	30,5	0,83	1	1,30	0,30	72,60	12,10	X		
5	30	30,5	0,83	3	1,40	0,70	83,90	13,00	X		
5	100	30,5	0,96	1	0,60	0,05	35,10	8,40	X		
5	100	30,5	0,96	2	1,40	0,30	95,40	13,80	X		
5	300	30,5	1,06	1	0,80	0,05	44,00	9,40	X		
5	300	30,5	1,06	2	1,60	0,30	111,30	14,90	X		
5	300	30,5	1,06	3	1,80	0,50	122,80	15,70	X		
6	30	29,5	0,85	1	0,30	0,20	8,90	4,20		X	
6	30	29,5	0,85	2	0,70	0,27	31,00	7,90	X		
6	30	29,5	0,85	3	1,00	0,22	39,70	8,90	X		

se nadaljuje ...

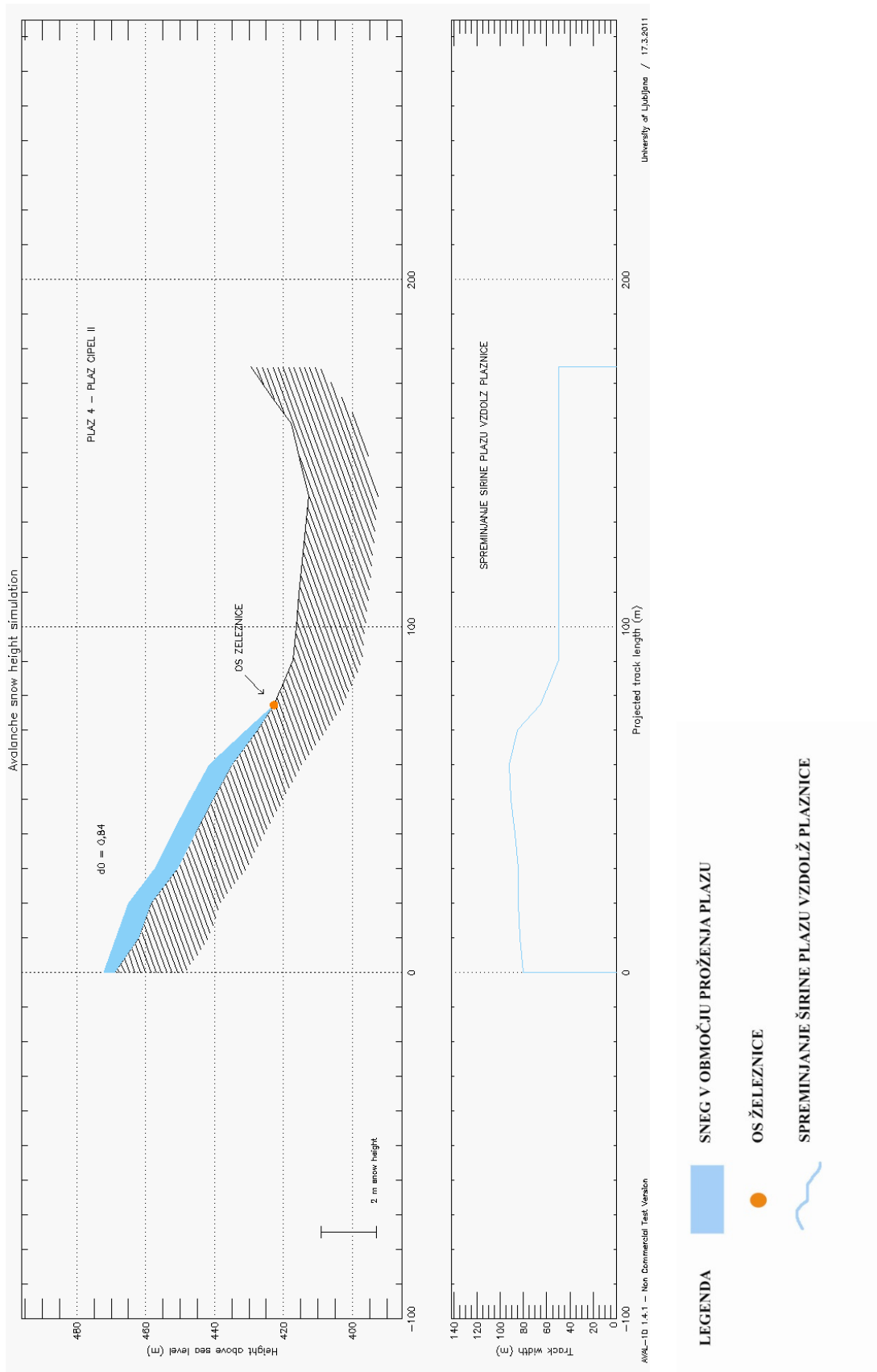
... nadaljevanje

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
plaz	T	φ	do	A	H_{max}	H_{fin}	p	v	rdeča cona	oranžna cona	rumena cona
6	300	29,5	1,10	2	1,20	0,20	60,60	11,00	X		
8	30	44	0,52	1	0,30	0,03	33,50	8,20	X		
8	30	44	0,52	2	0,80	0,10	68,40	11,70	X		
8	30	44	0,52	3	0,70	0,12	74,60	12,20	X		
8	100	44	0,60	1	0,40	0,05	46,00	9,60	X		
8	300	44	0,66	1	0,40	0,05	57,80	10,80	X		
9	30	45	0,50	1	0,20	0,10	15,20	5,50		X	
9	30	45	0,50	2	0,40	0,12	37,00	8,60	X		
9	30	45	0,50	3	0,70	0,20	54,40	10,40	X		
9	100	45	0,57	3	0,80	0,15	68,20	11,70	X		
9	300	45	0,63	1	0,30	0,09	27,50	7,40		X	
9	300	45	0,63	2	0,50	0,11	62,10	11,10	X		
9	300	45	0,63	3	0,90	0,15	78,80	12,60	X		
10	30	29	0,87	3	0,40	0,05	32,70	10,40	X		
10	100	29	1,00	3	0,40	0,06	63,90	11,30	X		
10	300	29	1,12	3	0,40	0,06	66,90	11,60	X		
11	30	32	0,75	3	0,70	0,05	40,10	9,00	X		
11	100	32	0,87	3	0,80	0,07	49,50	9,90	X		
11	300	32	0,97	3	0,90	0,08	55,60	10,50	X		

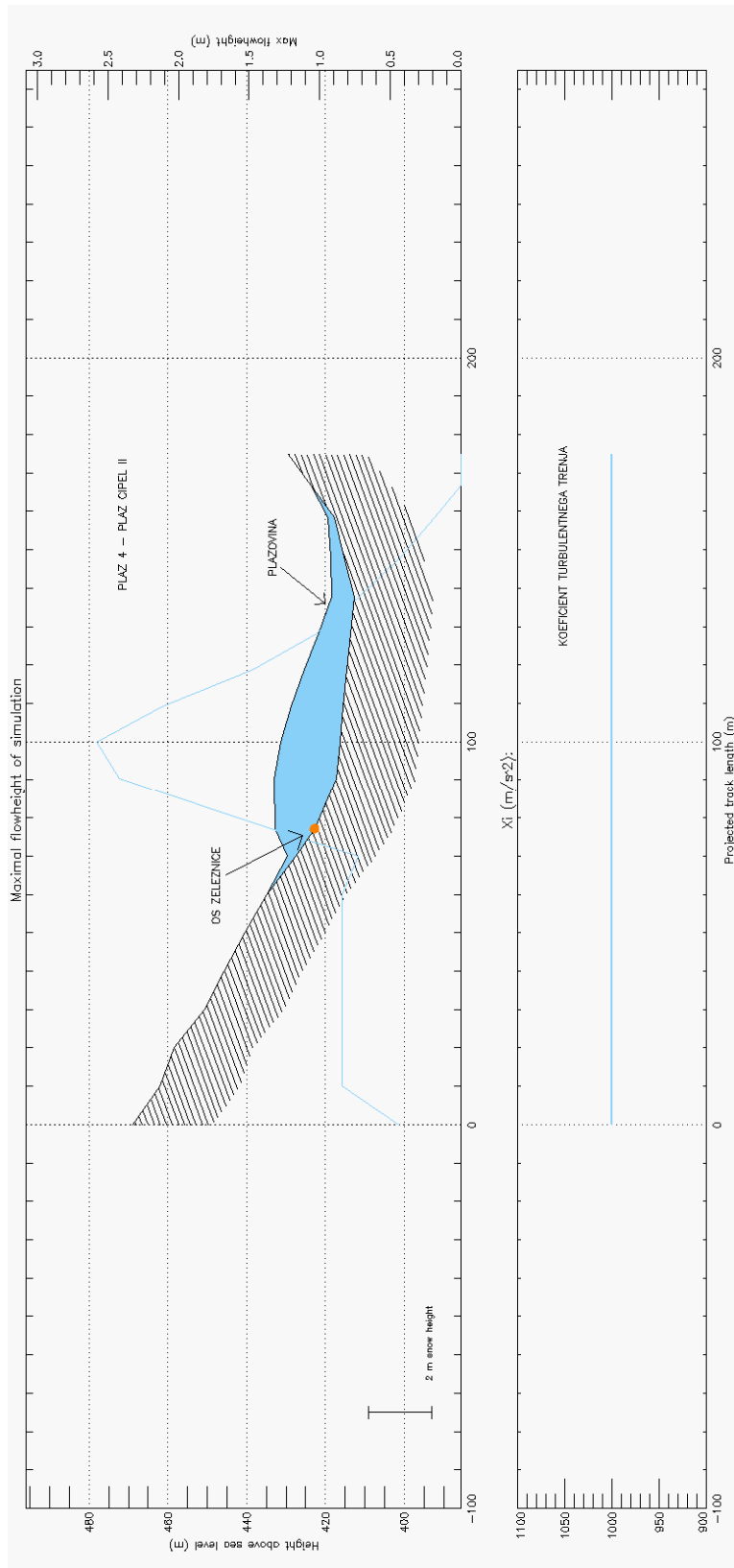
PRILOGA G 1: Šifrant tabele rezultatov dinamičnih simulacij

- A Interna oznaka posameznega snežnega plazua s številko v diplomu
- B Povratna doba plazua T [let]
- C Naklon pobočja v območju proženja snežnega plazua φ [°]
- D Začetna višina snega, ki se bo splazila po pobočju do [m]
- E Velikost začetne cone proženja plazua A (1: $A < 30\%$; 2: $30\% \leq A \leq 70\%$; 3: $A > 70\%$), glej poglavje 5.
- F Maksimalna višina snežnega plazua v osi železnice [m]
- G Končna višina plazovine v osi železnice [m]
- H Pritisk snežnega plazua v osi železnice [kPa]
- I Hitrost snežnega plazua v osi železnice [m/s]
- J Rdeča cona (sem se uvrščajo vsi plazovi, ki presežejo pritisk 30 kPa v osi železnice)
- K Oranžna cona (sem se uvrščajo vsi plazovi, katerih pritisk v osi železnice se giblje med 3 in 30 kPa)
- L Rumena cona (sem se uvrščajo vsi plazovi, katerih pritisk je manjši od 3 kPa)

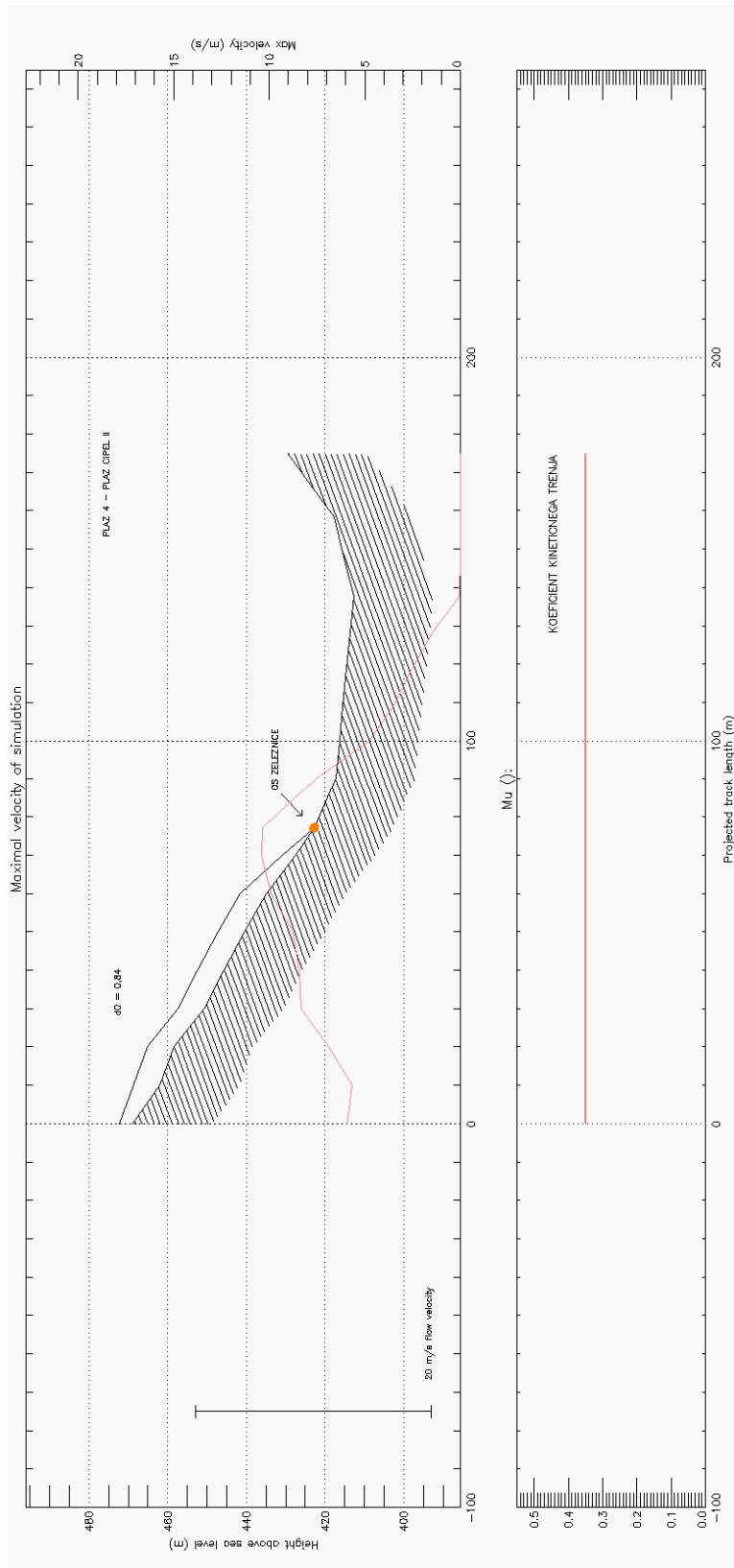
PRILOGA H1: Vzdolžni profil plaznice 4 in spreminjanje širine vzdolž plaznice 4



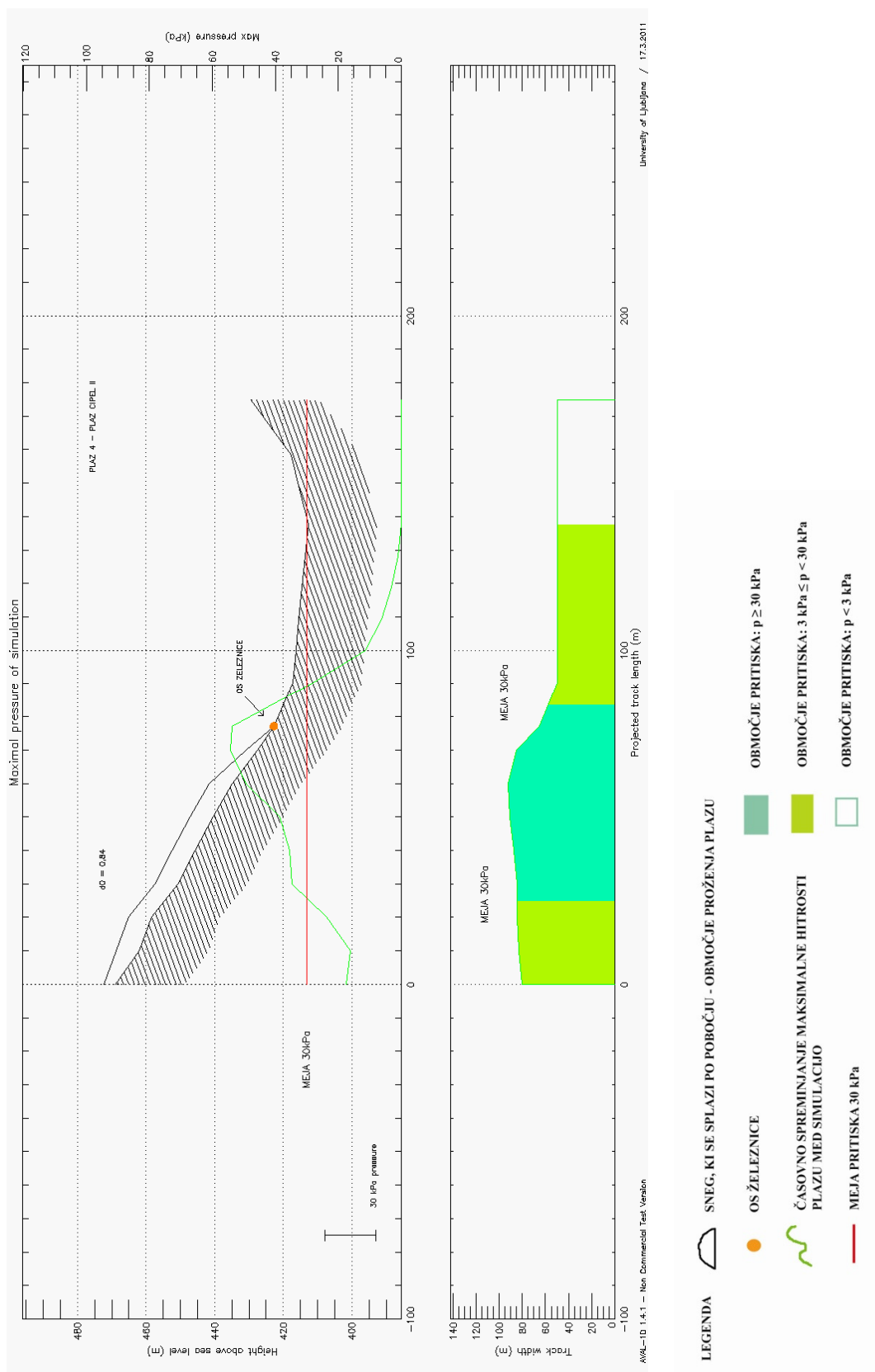
PRILOGA H2: Časovno spreminjanje maksimalne višine plazu 4 med simulacijo in koeficient turbulentnega trenja plazu 4



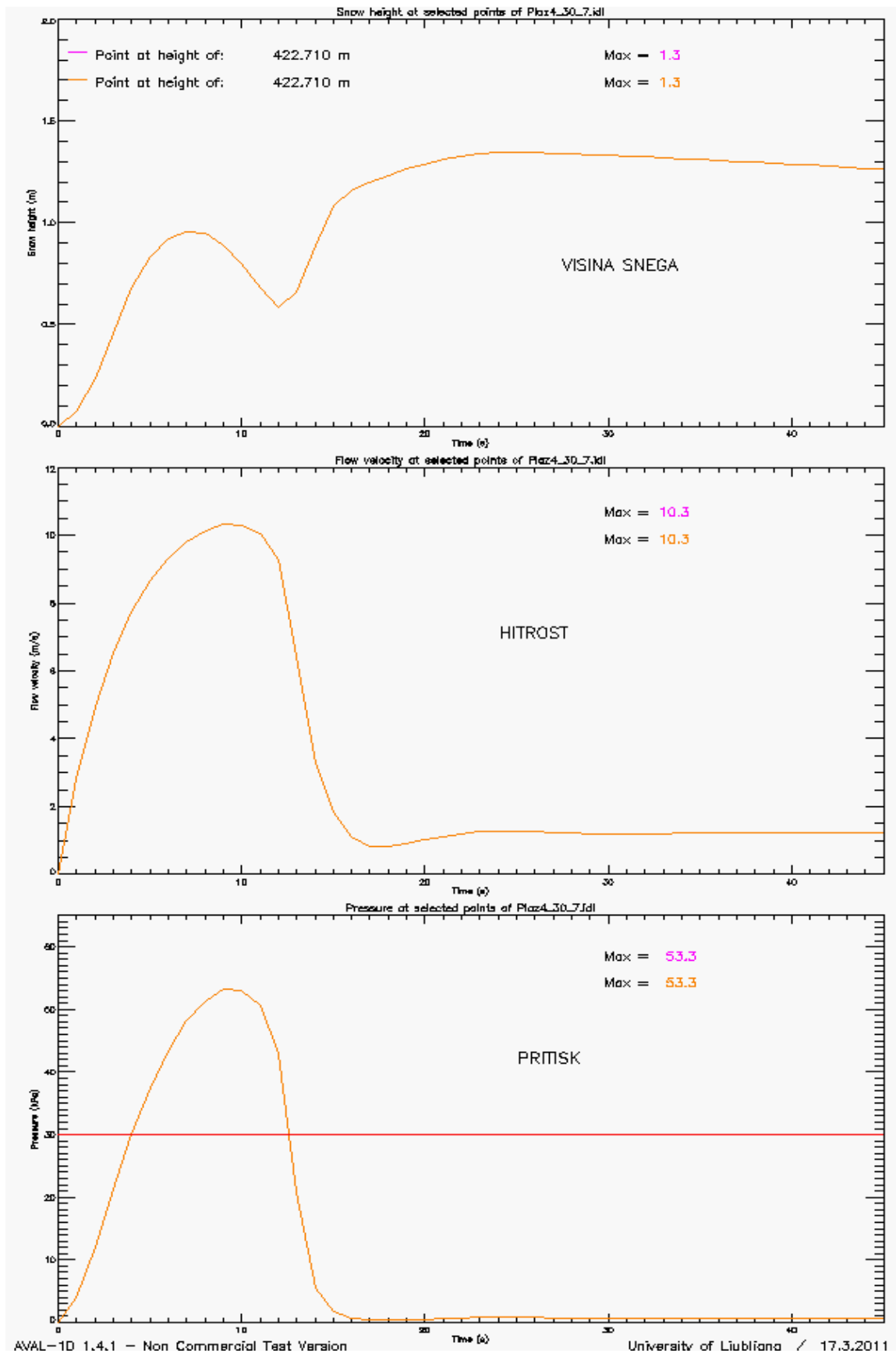
PRILOGA H3: Časovno spreminjanje maksimalne hitrosti plazu 4 vzdolž plaznice in koeficient kinetičnega trenja plazu 4



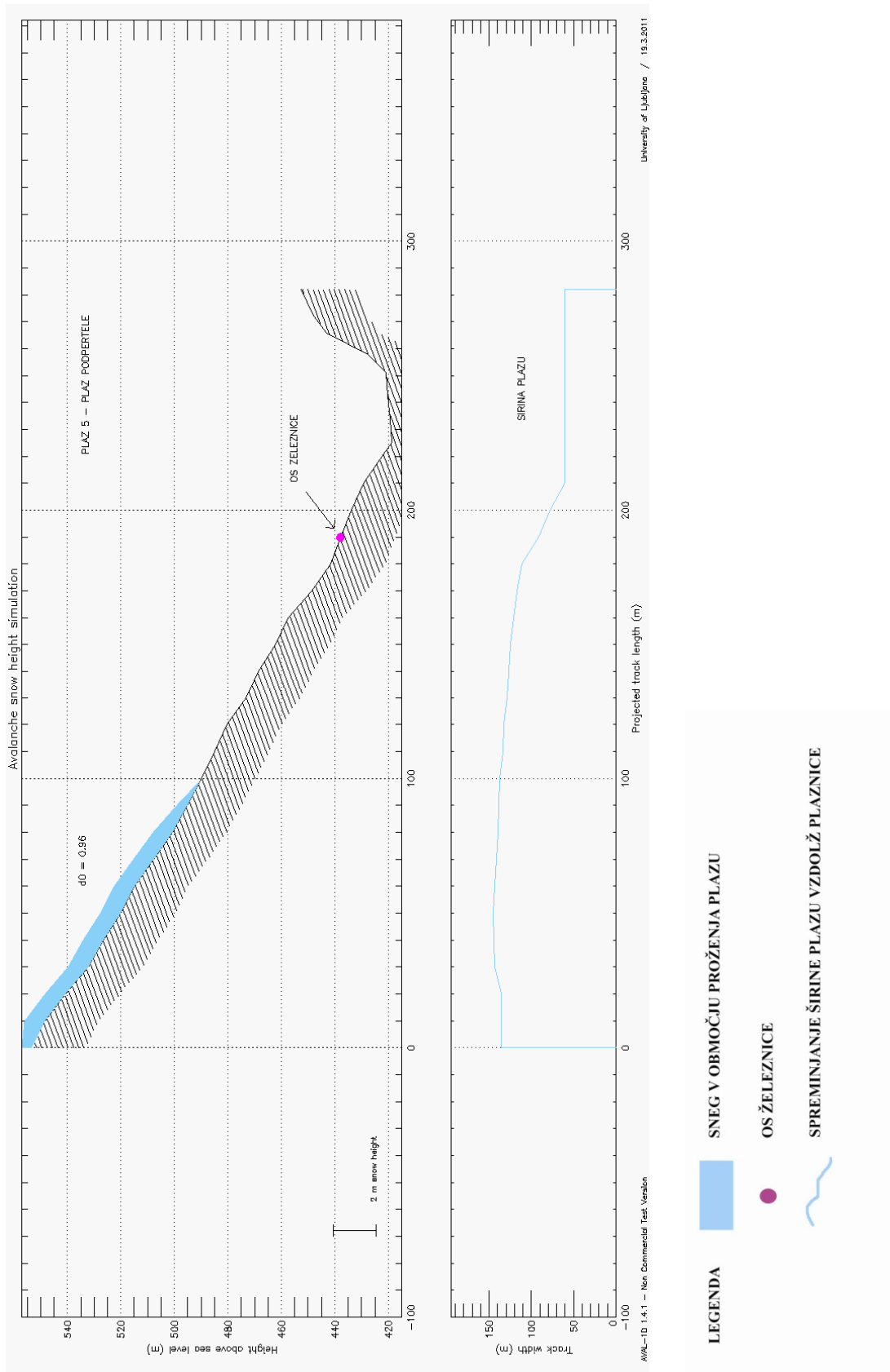
PRILOGA H4: Časovno spreminjanje maksimalnega pritiska vzdolž plaznice 4 med simulacijo in območja pritiska pod 3 kPa, med 3 in 30 kPa in nad 30 kPa plazu 4



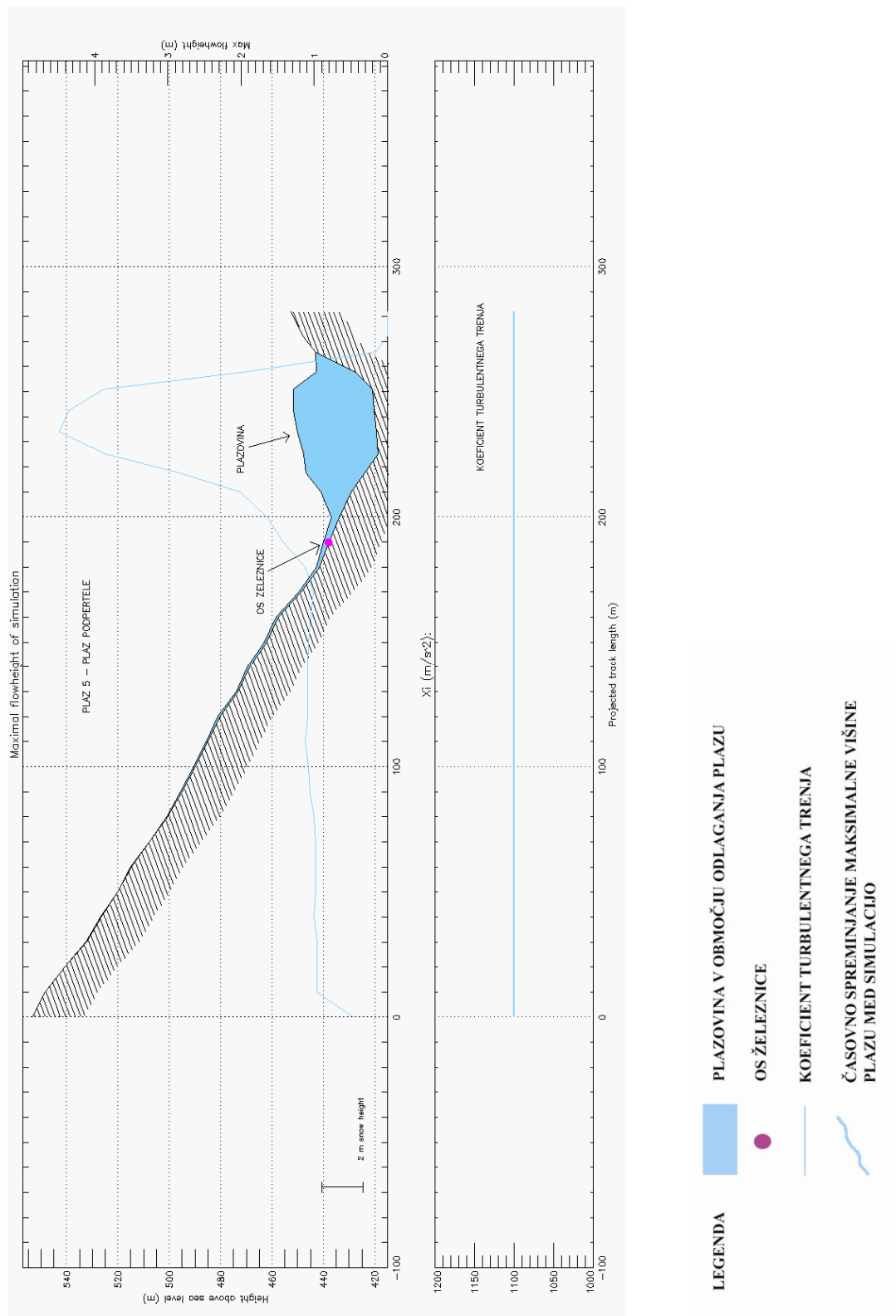
PRILOGA H5: Časovno spreminjanje višine snega, hitrosti in pritiska plazu 4 v osi železnice



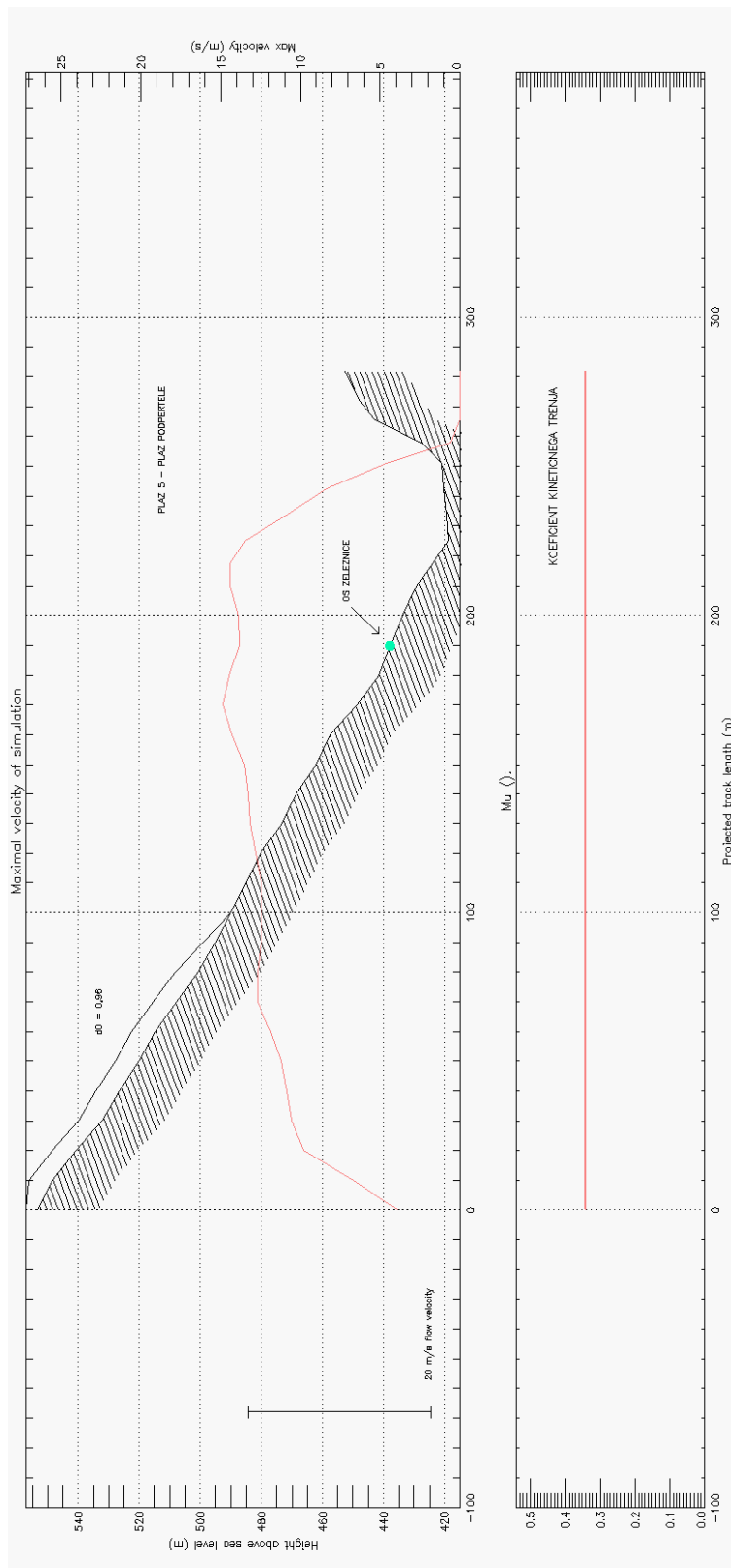
PRILOGA I1: Vzdolžni profil plaznice 5 in spreminjanje širine vzdolž plaznice 5



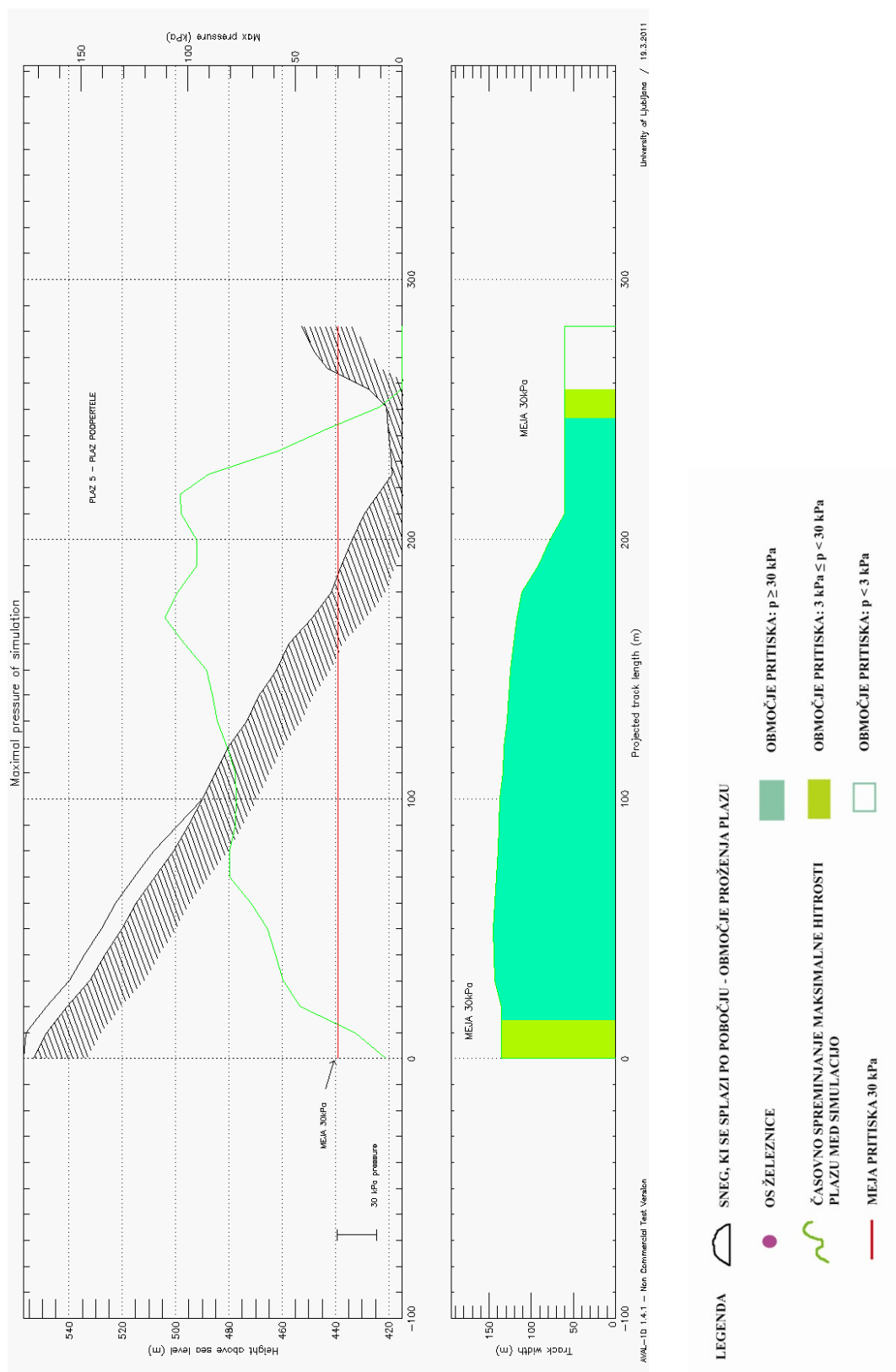
PRILOGA I2: Časovno spreminjanje maksimalne višine plazu 5 med simulacijo in koeficient turbulentnega trenja plazu 5



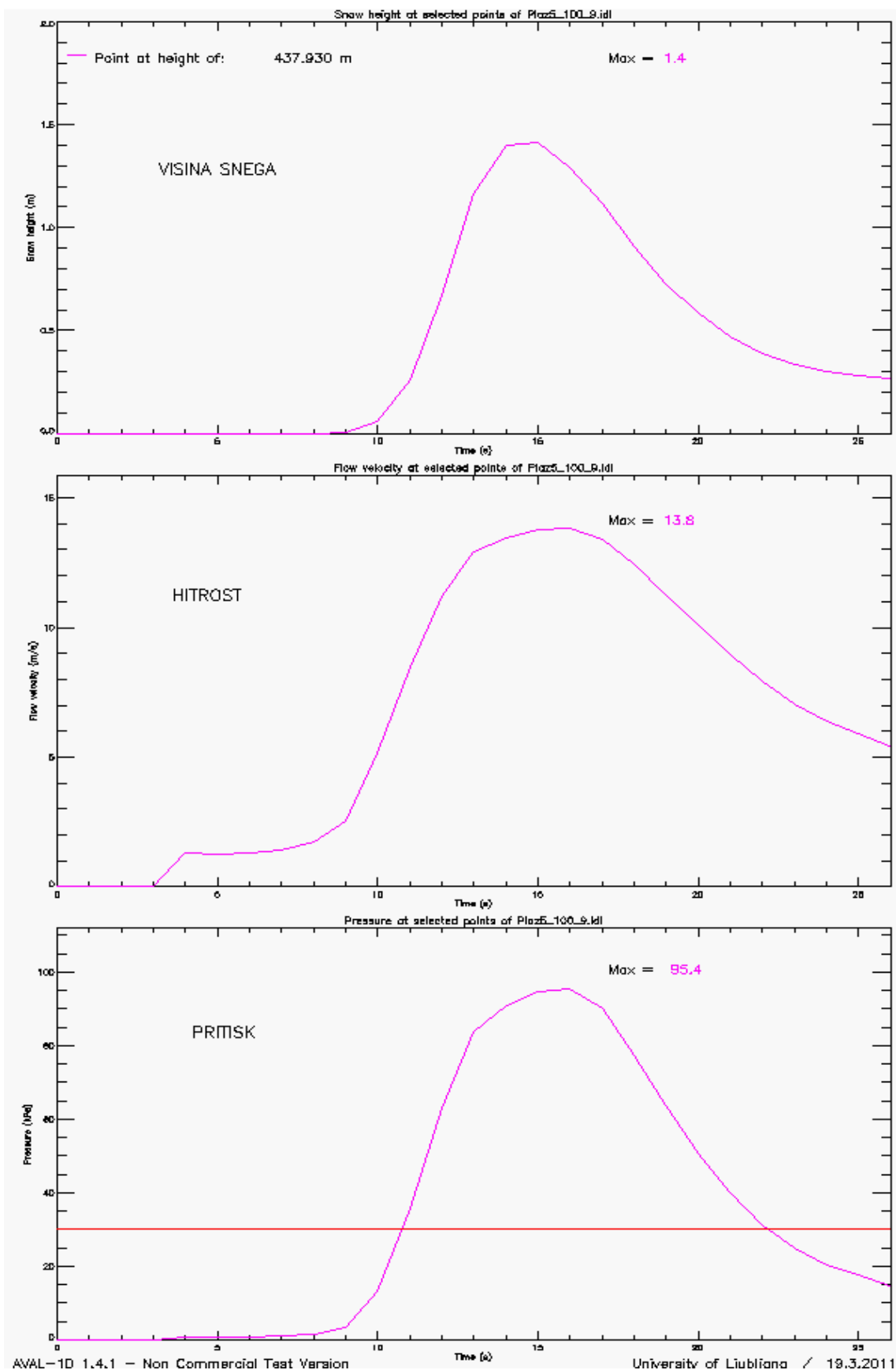
PRILOGA I3: Časovno spreminjanje maksimalne hitrosti plazu 5 vzdolž plaznice in koeficient kinetičnega trenja plazu 5



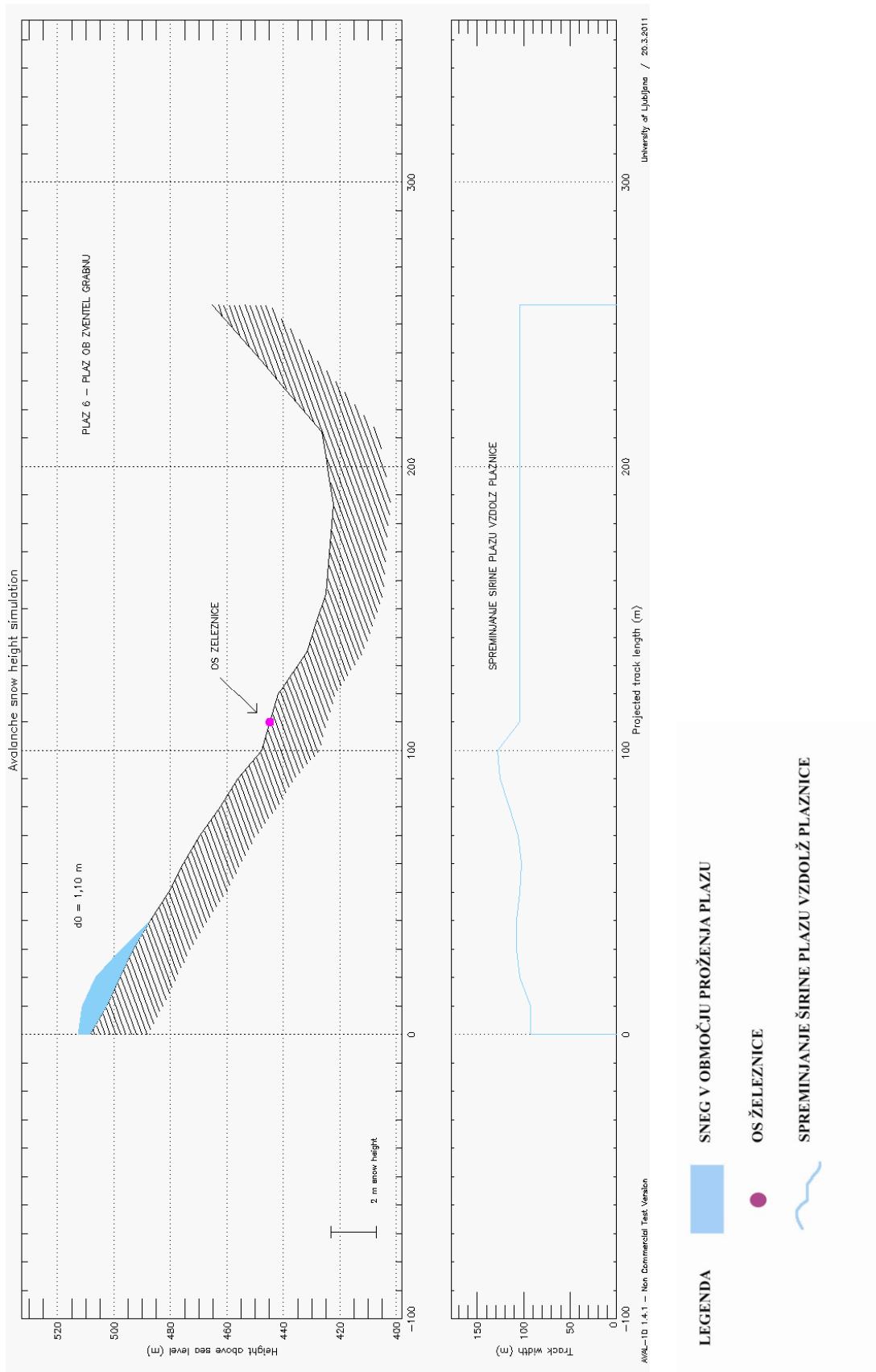
PRILOGA I4: Časovno spreminjanje maksimalnega pritiska vzdolž plaznice 5 med simulacijo
 in območja pritiska pod 3 kPa, med 3 in 30 kPa in nad 30 kPa plaznu 5



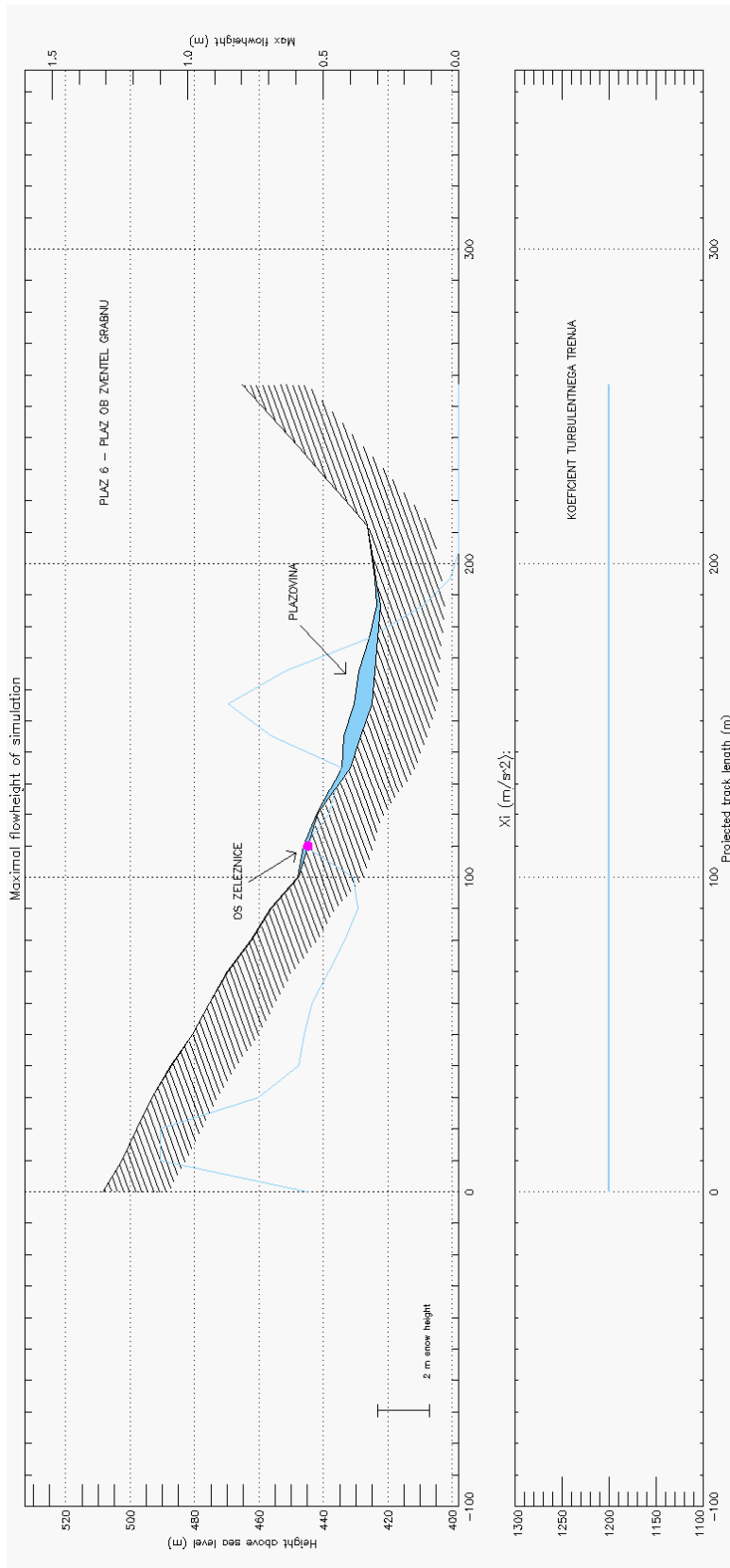
PRILOGA I5: Časovno spreminjanje višine snega, hitrosti in pritiska plazu 5 v osi železnice



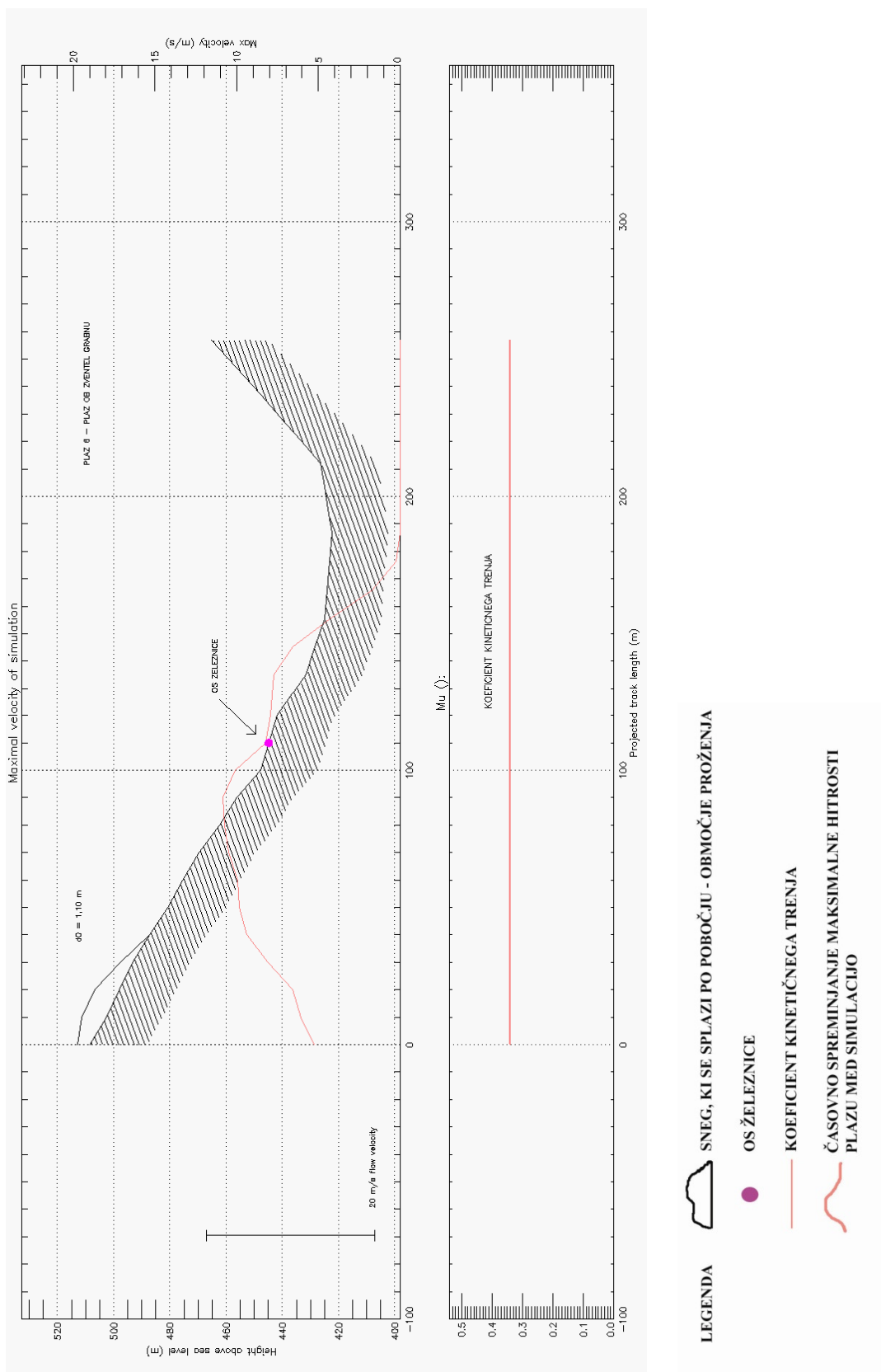
PRILOGA J1: Vzdolžni profil plaznice 6 in spreminjanje širine vzdolž plaznice 6



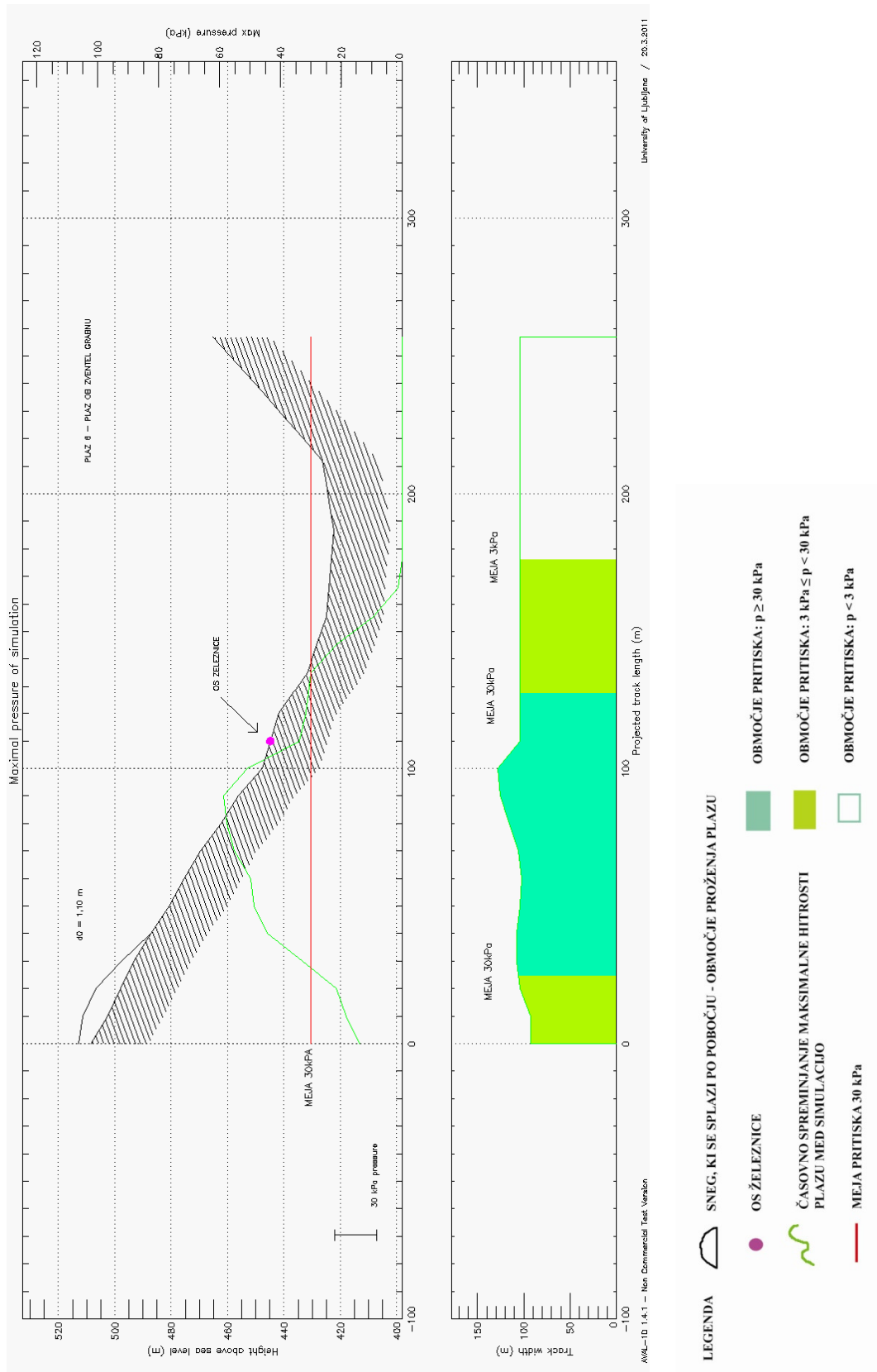
PRILOGA J2: Časovno spreminjanje maksimalne višine plazu 6 med simulacijo in koeficient turbulentnega trenja plazu 6



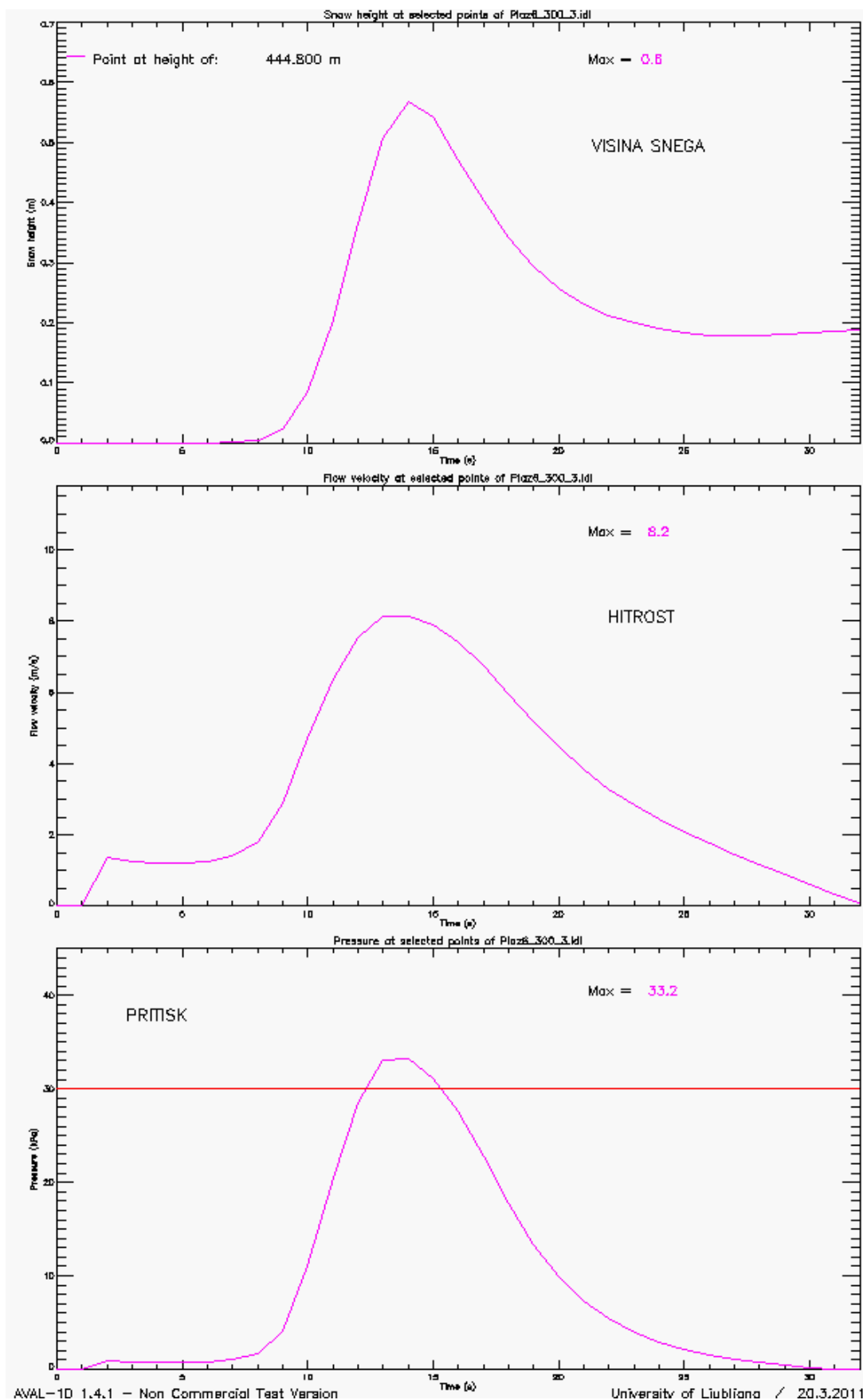
PRILOGA J3: Časovno spreminjanje maksimalne hitrosti plazu 6 vzdolž plaznice in koeficient kinetičnega trenja plazu 6



PRILOGA J4: Časovno spreminjanje maksimalnega pritiska vzdolž plaznice 6 med simulacijo in območja pritiska pod 3 kPa, med 3 in 30 kPa in nad 30 kPa plazu 6



PRILOGA J5: Časovno spreminjanje višine snega, hitrosti in pritiska plazu 5 v osi železnice



PRILOGA K: Karta nevarnosti za plaz 4 – plaz Čipel II

