

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



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

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

To je izvirna različica zaključnega dela.

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

Torkar, V., 2013. Primerjava 2D in 3D analize hudourniške pregrade s programom Midas GTS. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Logar, J., somentor Kryžanowski, A.): 95 str.

University
of Ljubljana

Faculty of
*Civil and Geodetic
Engineering*



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

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

This is original version of final thesis.

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

Torkar, V., 2013. Primerjava 2D in 3D analize hudourniške pregrade s programom Midas GTS. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Logar, J., co-supervisor Kryžanowski, A.): 95 pp.

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*

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



**UNIVERZITETNI ŠTUDIJ
GRADBENIŠTVA
KONSTRUKCIJSKA SMER**

Kandidat:

VIKTOR TORKAR

**PRIMERJAVA 2D IN 3D ANALIZE HUDOURNIŠKE
PREGRADE S PROGRAMOM MIDAS GTS**

Diplomska naloga št.: 3355/KS

**COMPARISON OF 2D AND 3D ANALYSIS OF TORRENTIAL
BARRIER WITH THE PROGRAMME MIDAS GTS**

Graduation thesis No.: 3355/KS

Mentor:

izr. prof. dr. Janko Logar

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Janko Logar

Somentor:

doc. dr. Andrej Kryžanowski

Član:

prof. dr. Mitja Brilly

doc. dr. Simon Schnabl

Ljubljana, 19. 12. 2013

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **VIKTOR TORKAR** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom: »Primerjava 2D in 3D analize hudourniške pregrade s programom Midas GTS«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, 11. 12. 2013

Viktor Torkar, l. r.

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	627.82(043.2)
Avtor:	Viktor Torkar
Mentor:	izr. prof. dr. Janko Logar
Somentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski
Naslov:	Primerjava 2D in 3D analize hudourniške pregrade s programom Midas GTS
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	95 str., 42 pregl., 70 sl., 1 pril.
Ključne besede:	hudourniška pregrada, Midas GTS, drobirski tok, snežni plaz

Izvleček

V diplomski nalogi obravnavamo hudourniške pregrade s praktičnim primerom projektiranja pregrade v vzhodni Avstriji. Najprej bo predstavljena zakonodaja, ki ureja področje pregrad v Sloveniji in Avstriji. Nadalje so v teoretičnih poglavjih na kratko opisane značilnosti snežnih plazov in hudourniških procesov. Hkrati bodo predstavljeni modeli snežnih plazov oziroma hudourniških procesov s predstavitvijo značilnih tehničnih zaščitnih konstrukcij. V praktičnem delu diplomske naloge bo prikazan potek projektiranja hudourniške pregrade na konkretnem primeru na podlagi prej opisane avstrijske zakonodaje (ONR) s programom Midas GTS. V zadnjem delu diplomske naloge bo sledila primerjava 3D analize z 2D analizo.

BIBLIOGRAPHIC - DOKUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 627.82(043.2)
Author: Viktor Torkar
Supervisor: Assoc. Prof. Janko Logar, Ph. D.
Cosupervizor: Assist. Prof. Andrej Kryžanowski, Ph. D.
Title: Comparison of 2D and 3D analysis of torrential barrier with the programme Midas GTS
Document type: Graduation Thesis – University studies
Scope and tools: 95 p., 42 tab., 70 fig., 1 ann.
Keywords: torrential barrier, Midas GTS, debris flow, snow slide

Abstract

In this thesis we deal with torrential barriers with practical example of designing the torrential barrier in eastern Austria. First we present legislation regarding barriers in Slovenia and Austria, and then compare them with each other. Further on we briefly describe the characteristics of snow slides and torrential processes. At the same time we present the models for snow slides and torrential processes with presentation of typical technical protective structures. In practical part we show the designing of the torrential barrier on concrete example on the basis of the previously described Austrian guideline (ONR) by using the programme Midas GTS. In the last part of the thesis we performed comparison of 2D and 3D analysis.

ZAHVALA

Za uporabo programske opreme, strokovno pomoč, usmerjanje in nasvete pri izdelavi diplomske naloge se zahvaljujem mentorju izr. prof. dr. Janku Logarju.

Za uporabo podlog, geomehanskih poročil in ostalega materiala se zahvaljujem podjetju Elea iC.

Zahvala tudi staršem, ki so mi omogočili brezskrben študij.

Hvala tudi vsem sošolcem in prijateljem, kateri so pripomogli k temu, da bodo moja študentska leta ostala nepozabna.

KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVKE.....	I
IZJAVA O AVTORSTVU	II
BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK.....	III
BIBLIOGRAPHIC - DOKUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
ZAHVALA.....	V
KAZALO VSEBINE	VI
KAZALO SLIK	X
KAZALO PREGLEDNIC	XIII
1 UVOD	1
2 ZAKONODAJA NA PODROČJU PREGRAD	4
2.1 Stanje v Sloveniji	4
2.1.1 Zakoni.....	4
2.1.2 Pravilniki, uredbe, tehnične smernice, standardi	5
2.1.3 Pravna urejenost projektiranja, gradnje in vzdrževanja pregrad v Sloveniji	5
2.1.4 Povzetek obstoječih pravilnikov v Sloveniji	6
2.2 Stanje v Avstriji	7
3 SNEŽNI PLAZ	9
3.1 Splošno.....	9
3.1.1 Definicija in značilnosti snežnega plazu.....	9
3.1.2 Osnovni elementi snežnega plazu.....	9
3.1.3 Klasifikacija snežnih plazov	10
3.2 Statični vpliv snežnega plazu na ovire	12
3.3 Dinamika snežnih plazov	13
3.3.1 Splošno	13
3.3.2 Hitrost snežnih plazov	13
3.3.3 Fizikalni opis gibanja snežnih plazov	13
3.3.4 Konstitutivni zakoni	14
3.4 Numerično modeliranje in simulacija snežnih plazov	14
3.4.1 Splošno	14
3.4.2 Pregled modelov snežnih plazov	14
3.4.3 Statistično-topografski modeli snežnih plazov	15
3.4.4 Fizikalno-dinamični modeli snežnih plazov	15
3.5 Dinamični vpliv snežnega plazu na ovire.....	17

3.5.1	Splošno	17
3.5.2	Vpliv snežnega plazu na pregrade.....	17
3.5.3	Vpliv snežnega plazu na linijske ovire.....	20
3.5.4	Vpliv pršnih snežnih plazov	21
3.5.5	Vpliv trdnih delov (skale, drevesa)	22
3.5.6	Vpliv vertikalne ukrivljenosti.....	23
3.5.7	Vpliv mokrega snežnega plazu.....	23
3.6	Tehnična zaščita pred snežnimi plazovi	23
3.6.1	Splošno	23
3.6.2	Tehnična zaščita pred plazovi v območju splazitve	25
3.6.3	Tehnična zaščita za regulacijo vetrnega toka	27
3.6.4	Tehnična zaščita zdrsov plazov.....	28
3.6.5	Tehnična zaščita pred plazovi na območju gibanja in območju odlaganja	29
3.7	Dimenzioniranje zaustavitvenih pregrad.....	32
3.7.1	Splošno	32
3.7.2	Postopek dimenzioniranja	32
3.7.3	Mejno stanje nosilnosti.....	34
3.7.4	Kombinacije vplivov	34
3.7.5	Delni faktorji	36
3.7.6	Mejno stanje uporabnosti	39
3.8	Konstrukcijsko detajliranje	39
4	HUDOURNIŠKI PROCESI	40
4.1	Splošno	40
4.2	Drobirski tok.....	40
4.3	Numerično modeliranje in simulacija drobirskih tokov.....	41
4.3.1	Splošno	41
4.3.2	Pregled modelov drobirskih tokov	41
4.4	Dinamični vpliv hudourniških procesov na konstrukcije.....	42
4.4.1	Dinamični vpliv vode	42
4.4.2	Dinamični vpliv drobirskega toka	42
4.5	Tehnična zaščita pred hudourniški procesi.....	44
4.5.1	Splošno	44
4.5.2	Stabilizacijske in konsolidacijske pregrade.....	49
4.5.3	Zadrževalne pregrade	50
4.5.4	Dozirne in filtrirne pregrade.....	51
4.5.5	Disipacijske pregrade	51

4.6	Dimenzioniranje tehnične zaščite pred hudourniški procesi	52
4.6.1	Splošno	52
4.6.2	Postopek dimenzioniranja.....	52
4.6.3	Določitev kategorije objekta.....	54
4.6.4	Mejno stanje nosilnosti	54
4.6.5	Kombinacije vplivov	54
4.6.6	Delni faktorji	59
4.6.7	Mejno stanje uporabnosti.....	59
4.7	Konstrukcijsko detajliranje.....	59
5	PRIMER PROJEKTIRANJA HUDOURNIŠKE PREGRADE	60
5.1	Uvod	60
5.2	Geomehanski podatki.....	61
5.2.1	Splošno	61
5.2.2	Povzetek geomehanskega poročila	61
5.2.3	Geološko geotehnični profili	64
5.3	Zasnova konstrukcije	66
5.3.1	Splošno	66
5.3.2	Izbira lokacije	66
5.3.3	Tip pregrade.....	67
5.3.4	Dimenzije objekta, ključni deli in odprtine	68
5.4	Izhodišča in predpostavke pri izdelavi analize s programom Midas GTS.....	70
5.4.1	Statični sistem.....	70
5.4.2	Izbrani materiali.....	70
5.4.3	Analiza zunanjih vplivov	71
5.4.4	Računski model	73
5.5	Dokaz statičnega ravnovesja konstrukcije (EQU).....	75
5.6	Dokaz globalne stabilnosti (GEO).....	77
5.7	Dokaz odpornosti proti zdrsru (GEO)	79
5.8	Dokaz nosilnosti temeljnih tal (GEO).....	81
5.8.1	Splošno	81
5.8.2	Nosilnost temeljnih tal po ÖNORM EN 1997-1-1	82
5.9	Dokaz nosilnosti prednapetih sider	83
5.10	Kontrola pomikov.....	85
6	PRIMERJAVA 2D IN 3D ANALIZE S PROGRAMOM MIDAS GTS.....	87
6.1	Splošno.....	87
6.2	Primerjava 2D in 3D analize.....	88

6.2.1	Splošno	88
6.2.2	Napetosti v temeljnih tleh	88
6.2.3	Sile v sidrih.....	89
6.2.4	Pomiki	90
7	ZAKLJUČEK.....	91
VIRI.....		93

KAZALO SLIK

Slika 1: Interaktivna karta visokih pregrad za območje Slovenije	1
Slika 2: Razbijač drobirskega toka v ožini hudournika Predelica kot preventivna zaščita območja Loga pod Mangartom pred morebitnimi drobirskimi tokovi [24]	2
Slika 3: Hierarhija sprejemanja tehnične regulative v Sloveniji [14]	4
Slika 4: Prikaz osnovnih elementov snežnega plazju (zgoraj območje splazitve, nato sledi območje gibanja ter na koncu območje odlaganja ali akumulacije) [5]	9
Slika 5: Sestava mešanega snežnega plazju v polno razviti fazi [17]	11
Slika 6: Prikaz statičnega vpliva snežnega plazju na ovire [17]	12
Slika 7: Razporeditev plasti snežnega plazju v programu Samos-AT (zgoraj se nahaja pršna plast, spodaj gosta plast med njima pa imamo prehodno plast) [9]	17
Slika 8: Shema delovanja obtežbe snežnega plazju na ovire, kjer glavna masa plazju ostane za pregrado (zadrževalne pregrade) [17]	17
Slika 9: Shema delovanja snežnega plazju pri odklonu od ovire, kjer je potrebno določiti normalno in tangento komponento obtežbe plazju [17]	19
Slika 10: Shema delovanja obtežbe snega po višini pregrade (spodaj se linearno zvišuje, zaradi trenja, zgoraj pa imamo dvig čela plazju, zaradi povratnega toka) [17]	19
Slika 11: Shema delovanja plazju pravokotno na linijske ovire, kjer glavna masa plazju steče okoli nje (dozirne, filtrirne pregrade) [17]	20
Slika 12: Razporeditev obtežbe pršnega snežnega plazju po višini [17]	22
Slika 13: Prikaz grafa za določitev koncentrirane sile trdnih delov (skale, drevesa), ki deluje na pregrado s krožno površino s premerom 25 cm [17]	22
Slika 14: Prikaz tehničnih zaščitnih konstrukcij pred snežnimi plazovi na območjih splazitve, gibanja in odlaganja [10]	24
Slika 15: Prikaz sistema GAZ EX s pomočjo katerega umetno sprožimo snežni plaz [5]	25
Slika 16: Prikaz zaščite območja splazitve z jeklenimi snežnimi mostovi [10]	26
Slika 17: Prikaz zaščite območja splazitve s snežnimi mrežami [10]	26
Slika 18: Prikaz delovanja stružnih plotov na območju splazitve [6]	27
Slika 19: Prikaz zaščite območja splazitve s stružnimi plotovi [10]	27
Slika 20: Prikaz zaščite območja splazitve z usmeritvenimi tablam [6]	28
Slika 21: Prikaz zaščite pobočja z vetrno šobo [10]	28
Slika 22: Prikaz zaščite pobočja z lesenimi trinožniki [10]	29
Slika 23: Prikaz zaščite električnega droga z odklonskim klinom [5]	30
Slika 24: Prikaz zaščite območja gibanja z zaustavitveno pregrado [10]	31
Slika 25: Prikaz zaščite transportne poti z galerijo na območju odlaganja [10]	32
Slika 26: Primer zaščite pregrade z jeklenimi ploščami [21]	39

Slika 27: Predlogi delovanja obtežbe drobirskega toka (pod A se nahaja trikotna razporeditev obtežbe, pod B pravokotna, pod C stopničasta, pod D razporeditev obtežbe, ki predstavlja blatne tokove in pod E razporeditev obtežbe, ki predstavlja koncentrirano obtežbo) [2].....	44
Slika 28: Primer tehnične zaščite v hudournikih (pod A se nahajajo pragovi za stabilizacijo struge, pod B kombinacija večfunkcijskih pregrad v nizu ter pod C pregrade v nizu) [13]	45
Slika 29: Prikaz različnih tipov pregrad po konstrukcijski zasnovi (pod A se nahaja zaprta zadrževalna pregrada, od B do D pa so prikazane zadrževalne oziroma dozirne pregrade) [13].....	47
Slika 30: Prikaz različnih tipov pregrad po konstrukcijski zasnovi (od E do G se nahajajo zadrževalne oziroma dozirne pregrade, H predstavlja razčlenjeno, I mrežno ter J rešetasto pregrado) [13]	47
Slika 31: Prikaz delovanja stabilizacijskih pregrad [13]	50
Slika 32: Prikaz delovanja zadrževalne pregrade [13]	50
Slika 33: Prikaz delovanja dozirne in filtrirne pregrade [13]	51
Slika 34: Prikaz delovanja razbijača drobirskega toka (levo) in disipacijskih pregrad (desno) [13]	52
Slika 35: Obtežna kombinacija brez zapolnitve, A ali B z ali brez pronicanja pod pregrado [16]	55
Slika 36: Obtežna kombinacija z delno zapolnitvijo, C ali D z ali brez pronicanja pod pregrado [16]	55
Slika 37: Obtežna kombinacija s polno zapolnitvijo, E ali F z ali brez pronicanja pod pregrado [16]	56
Slika 38: Obtežna kombinacija brez zapolnitve, G ali H z ali brez pronicanja pod pregrado [16]	56
Slika 39: Obtežna kombinacija z delno zapolnitvijo, I ali J z ali brez pronicanja pod pregrado [16]....	57
Slika 40: Obtežna kombinacija s polno zapolnitvijo, K ali L z ali brez pronicanja pod pregrado [16]	57
Slika 41: Obtežna kombinacija M z vplivom potresa ter N z vplivom skalnih podorov [16]	57
Slika 42: Lokacija predvidene hudourniške pregrade; spodaj mesto Sankt Andrä [23]	60
Slika 43: Geološka situacija na mestu predvidene pregrade	61
Slika 44: Na levi sliki je prikazan izkop na vzhodni strani gradbene jame, desno pa je prikazana gradbena jama v smeri JZ.....	62
Slika 45: Na levi sliki je prikazan potok Timmelbach na območju gradbene jame, na desni pa zahodno pobočje gradbene jame.....	63
Slika 46: Vzдолžni geotehnični profil preko sredine pregrade	64
Slika 47: Prečni geotehnični profil št. 1	65
Slika 48: Prečni geotehnični profil št. 2	65
Slika 49: Prečni geotehnični profil št. 3	66
Slika 50: Niz ustalitevno-zaplavnih pregrad na območju predvidene pregrade [23]	67
Slika 51: Prečni prerez predvidene pregrade z dimenzijami	68
Slika 52: Vzдолžni prerez predvidene pregrade z dimenzijami.....	69
Slika 53: Tloris predvidene pregrade z dimenzijami.....	69
Slika 54: Shema delovanja obtežbe plazu (drobirskega toka in snežnega plazu) upoštevana v 3D analizi	72
Slika 55: Končni 3D model predvidene pregrade v programu Midas GTS	73

Slika 56: Prikaz dela temeljne zemljine, ki se zamenja s pustim betonom in dodatkom skal, zaradi slabe nosilnosti	74
Slika 57: Prikaz oznak površin na prerezu pregrade za izračun kontrol v nadaljevanju	75
Slika 58: Rezultati globalne stabilnosti s krožnimi porušnicami s programom Slide	78
Slika 59: Rezultati globalne stabilnosti s krožnimi porušnicami s programom Midas GTS	79
Slika 60: Osne sile v vertikalnih sidrih v temeljni plošči zaradi sile prednapetja iz 3D analize	84
Slika 61: Osne sile v vertikalnih sidrih v temeljni plošči zaradi obtežbe plazuz iz 3D analize	84
Slika 62: Osne sile v horizontalnih sidrih v frontalni steni zaradi obtežbe plazuz iz 3D analize.....	85
Slika 63: Prikaz velikosti vektorja pomikov zaradi lastne teže pregrade iz 3D analize	86
Slika 64: Prikaz velikosti vektorja pomikov zaradi obtežbe plazuz iz 3D analize.....	86
Slika 65: Prikaz sredinskega pasu predvidene pregrade upoštevanega v 2D analizi.....	87
Slika 66: 2D model predvidene pregrade v programu Midas GTS	87
Slika 67: Napetosti σ_{yy} v temeljnih tleh zaradi obtežbe plazuz iz 2D analize	88
Slika 68: Osne sile v vertikalnih sidrih v temeljni plošči zaradi obtežbe plazuz iz 2D analize	89
Slika 69: Pomiki zaradi lastne teže konstrukcije iz 2D analize	90
Slika 70: Pomiki zaradi obtežbe plazuz iz 2D analize	90

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Klasifikacija snežnih plazov po ONR 24805 [17].	10
Preglednica 2: Tipične hitrosti različnih tipov snežnih plazov [6].	13
Preglednica 3: Statistično-topografski modeli za izračun gibanja snežnih plazov [6].	14
Preglednica 4: Fizikalno-dinamični modeli za izračun gibanja snežnih plazov [6].	15
Preglednica 5: Pregled koeficientov trenja μ in ξ pri Voellmy-Salmovem modelu [6].	16
Preglednica 6: Priporočene vrednosti za koeficient turbulentnega trenja ξ po ONR 24805 [17].	18
Preglednica 7: Priporočene vrednosti za koeficient statičnega trenja μ po ONR 24805 [17].	18
Preglednica 8: Koeficient upora c_d za izračun obtežbe snežnega plazua na linijske ovire po ONR 24805 [17].	20
Preglednica 9: Redukcijski faktor f v odvisnosti od razmerja b/d_f za izračun višine zvišanja čela plazua po ONR 24805 [17].	21
Preglednica 10: Koeficient upora c_d za izračun obtežbe pršnega snežnega plazua na linijske ovire po ONR 24805 [17].	21
Preglednica 11: Postopek dimenzioniranja tehnične zaščite konstrukcije pred snežnimi plazovi [6].	33
Preglednica 12: Mejna stanja nosilnosti po ONR 24802 [16].	34
Preglednica 13: Delni faktorji γ za mejno stanje EQU po ÖNORM B 1997-1-1 [19].	36
Preglednica 14: Delni faktorji γ za mejno stanje GEO (projektni pristop 2) po ÖNORM B 1997-1-1 [19].	37
Preglednica 15: Delni faktorji γ za prednapeta sidra po ÖNORM B 1997-1-1 [19].	37
Preglednica 16: Delni faktorji γ za mejno stanje GEO (projektni pristop 3) po ÖNORM B 1997-1-1 [19].	38
Preglednica 17: Delni faktorji γ za vplive in učinke vplivov za mejno stanje STR po ÖNORM B 1997-1-1 [19].	38
Preglednica 18: Lastnosti različnih hudourniških procesov po ONR 24800 [2].	40
Preglednica 19: Funkcionalni tipi hudourniških pregrad po ONR 24800 [2].	46
Preglednica 20: Osnovna razdelitev zaščitnih konstrukcij v odvisnosti od funkcije, tipa konstrukcije ter statičnega sistema [2].	46
Preglednica 21: Funkcionalno-konstrukcijska matrika za izbiro primerne vrste pregrade za zaščito hudournikov [2].	48
Preglednica 22: Funkcionalno-strukturna matrika za izbiro primerne vrste pregrade za zaščito hudournikov [2].	49
Preglednica 23: Postopek dimenzioniranja tehnične zaščite pred hudourniški procesi po ONR 24802 [16].	52
Preglednica 24: Razredi zanesljivosti stavb v skladu z ÖNORM EN 1990 [16].	54

Preglednica 25: Merodajne obtežne kombinacije v odvisnosti od funkcije pregrade in projektnega stanja za pregrade brez drobirskega toka [16].	58
Preglednica 26: Merodajne obtežne kombinacije v odvisnosti od funkcije pregrade in projektnega stanja za pregrade z drobirskim tokom [16].	58
Preglednica 27: Karakteristike zemljine (prostorninska teža, kohezija, strižni kot,...) iz geomehanskega poročila.	63
Preglednica 28: Materialne karakteristike pregrade upoštevane v 3D analizi.	70
Preglednica 29: Karakteristike sider upoštevane v 3D analizi.	70
Preglednica 30: Materialne karakteristike upoštevane v 3D analizi.	71
Preglednica 31: Specifične teže materialov, uporabljenih za izračun lastne teže konstrukcije.	71
Preglednica 32: Vrednosti vpliva plazu upoštevane v 3D analizi.	73
Preglednica 33: Računski koraki uporabljeni v 3D analizi.	74
Preglednica 34: Upoštevani delni faktorji za mejno stanje GEO pri dokazu globalne stabilnosti po projektnem pristopu 3 za nezgodno projektno stanje.	77
Preglednica 35: Materialne karakteristike uporabljene v globalni stabilnostni analizi s programom Slide.	78
Preglednica 36: Upoštevani delni faktorji γ za mejno stanje GEO pri dokazu odpornosti proti zdrsu za nezgodno projektno stanje.	80
Preglednica 37: Upoštevani delni faktor za prednapeta sidra pri dokazu odpornosti proti zdrsu za ključne stavbe.	80
Preglednica 38: Upoštevani delni faktorji γ v mejnem stanju GEO pri dokazu nosilnosti temeljnih tal za nezgodno projektno stanje.	82
Preglednica 39: Primerjava vertikalnih napetosti σ_{yy} med 2D in 3D analizo v temeljnih tleh zaradi obtežbe plaz.	88
Preglednica 40: Primerjava osnih sil v sidrih med 2D in 3D analizo zaradi obtežbe plaz.	89
Preglednica 41: Primerjava prednosti in slabosti 2D in 3D analize.	91
Preglednica 42: Prednosti in slabosti programa Midas GTS.	92

Omenjenega razbijača drobirskega toka po novih kriterijih mednarodne komisije za velike pregrade ICOLD (International Commission on Large Dams) iz leta 2011 ne moremo uvrstiti med visoke pregrade, saj njegova višina ne presega 15 m oziroma je večja od 5 m, vendar njen volumen akumulacije ne presega 3 milijona m³. Pregrada je visoka 11,5 m. Zgrajena je bila pozimi leta 2005 iz

armiranega betona. Njen glavni namen je zmanjšanje kinetične energije drobirskega toka in zadrževanje grobih frakcij drobirskega toka.



Slika 2: Razbijač drobirskega toka v ožini hudournika Predelica kot preventivna zaščita območja Loga pod Mangartom pred morebitnimi drobirskimi tokovi [24]

V zadnjih letih smo bili v Sloveniji deležni večjih zemeljskih plazov (drobirskih tokov) in sicer na območju Koseča, Slanega Blata, Loga pod Mangartom (plaz Stože) ter Macesnika. V večini primerov so povod za nastanek zemeljskih plazov vremenska dogajanja (ekstremne padavine, nenaden dvig podtalnice, poplave).

Poleg zemeljskih plazov se v Sloveniji pojavljajo tudi snežni plazovi, ki so značilni za gorska področja. Večinoma ogrožajo infrastrukturo, predvsem ceste. V svetu poznamo več tipov zaščite pred snežnimi plazovi, med katerimi so v Sloveniji najbolj pogoste galerije ter zaščita pobočij nad cestami s snežnimi mostovi.

Snežni plazovi so vplivali na naselitev gorskih področij. To se kaže v legi in strukturi naselij in cest. Skozi stoletja se človek z zaščitnimi ukrepi ni mogel obvarovati pred plazovi, zato so se izogibali območij plazov. Kljub redki poselitvi je v zgodovini že prišlo do hudih plazov z velikim številom žrtev.

Povečanje prebivalstva v Alpah v kombinaciji z močno povečanim povpraševanjem po mobilnosti je območja nevarnosti še razširila, zlasti v zadnjem stoletju. Prvotno je v gorskih dolinah prevladovalo gorsko kmetijstvo, zato so bile doline redko poseljene, danes pa tekmujejo številni interesi rabe zemljišč od stanovanjskega razvoja, prometa, trgovine, industrije, turizma ter rekreacijskih objektov [6].

Ta dinamičen razvoj v gorskih regijah je pripeljal do velikega povečanja tveganja snežnih plazov. Število izpostavljenih oseb in premoženjskih vrednosti na območjih plazov se je v zadnjih 100 letih povečalo večkratno. Hkrati so se varnostne zahteve ljudi dramatično spremenile. Posledično je v zadnjih desetletjih v Alpah strmo naraslo povpraševanje po ukrepih za varstvo pred plazovi, kar je privedlo do dinamičnega tehnološkega razvoja na področju varstva plazov. Zlasti na področju tehničnega varovanja plazov so potekale obsežne inovacije v zadnjih desetletjih. Zaradi razvoja stalnih ukrepov zaščite in številnih tehničnih sistemov z začasnim zaščitnim učinkom (sistemi za opazovanje, umetni izpusti plazov) se je tehnično varovanje pred plazovi uveljavilo v Alpskih državah, zlasti v Avstriji in Švici, kot neodvisna inženirska disciplina [6].

V diplomski nalogi obravnavamo hudourniške pregrade s praktičnim primerom projektiranja pregrade v vzhodni Avstriji. Najprej bo predstavljena zakonodaja, ki ureja področje pregrad v Sloveniji in Avstriji. Nadalje so v teoretičnih poglavjih na kratko opisane značilnosti snežnih plazov ter hudourniških procesov. Hkrati bodo predstavljeni modeli snežnih plazov oziroma hudourniških procesov s predstavitvijo značilnih tehničnih zaščitnih konstrukcij. V praktičnem delu diplomske naloge bo prikazan potek projektiranja hudourniške pregrade na konkretnem primeru na podlagi prej opisane avstrijske zakonodaje (ONR) s programom Midas GTS. V zadnjem delu diplomske naloge bo sledila primerjava 3D analize z 2D analizo.

2 ZAKONODAJA NA PODROČJU PREGRAD

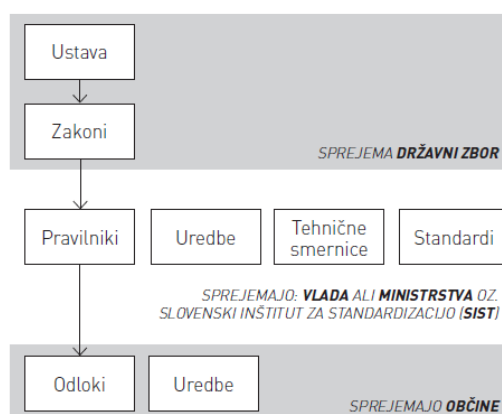
2.1 Stanje v Sloveniji

V Sloveniji trenutno nimamo zakonske podlage (zakonov, pravilnikov, smernic), ki bi podrobno urejala projektiranje pregrad. Pregrada se obravnava enako kot ostali inženirski objekti, natančnejših navodil, ki bi povzemala njihovo specifičnost, ni. Obstaja samo Pravilnik o opazovanju seizmičnosti na območju velike pregrade (Ur. l. RS, št. 92/99, 44/03) iz leta 1999. Tako je problematika projektiranja pregrad vključena v zakonodajo, ki obravnava objekte v splošnem [11].

V zadnjem času se pojavljajo določeni premiki na področju pregradnega inženirstva, tudi s strani države. V decembru 2012 je bil za Ministrstvo za okolje končan razvojno raziskovalni projekt »Zemeljske in betonske pregrade strateškega pomena v RS VODPREG«, s pomočjo katerega se je naredil temeljni pregled obstoječih pregrad, hkrati pa so bili izdelani predlogi sanacijskih ukrepov, kjer je bilo to potrebno.

Poleg tega je Inženirska Zbornica Slovenije maja 2012 izdala smernice za zagotavljanje varnosti pregradnih objektov, kjer opisujejo način projektiranja različnih tipov pregrad. Kakor navajajo v zaključku predmetne smernice, naj bi bila le ta izhodišče za izdelavo tehnične regulative pregradnega inženirstva. Seveda pa je potrebno smernice pri praktični uporabi prilagoditi posameznim objektom glede na njegove lastnosti (velikosti, tipu, kompleksnosti,...).

Hierarhija tehnične regulative v Sloveniji poteka od ustave, kot najvišji pravni akt, do občinskih odlokov in uredb. Vsak nižji pravni akt izhaja iz višjega, npr. zakon ne sme določati nečesa, kar ustava preprečuje.



Slika 3: Hierarhija sprejemanja tehnične regulative v Sloveniji [14]

2.1.1 Zakoni

Gradbeno zakonodajo v Sloveniji pokrivajo trije zakoni in sicer:

- Zakon o prostorskem načrtovanju (ZPNačrt),

- Zakon o graditvi objektov (ZGO-1),
- Zakon o gradbenih proizvodih (ZGPro).

Ker ima gradnja velik vpliv na okolje, poleg osnovnih treh zakonov, ki urejajo gradnjo, srečamo še ostale zakone, ki urejajo področja posameznih nosilcev urejanja okolja (Agencija Republike Slovenije za okolje, Zavod za varstvo kulturne dediščine, ...). Za področje pregrad so pomembni Zakon o vodah (Ur. l. RS, št. 67/02 in kasnejši) in Zakon o varstvu okolja (Ur. l. RS, št. 41/04 in kasnejši), ki spadata pod pristojnost Agencija Republike Slovenije za okolje ter zgoraj omenjeni Zakon o prostorskem načrtovanju - ZPNačrt (Ur. l. RS, št. 33/07 in kasnejši).

2.1.2 Pravilniki, uredbe, tehnične smernice, standardi

V skladu z veljavno zakonodajo je Ministrstvo za infrastrukturo in prostor pristojno za graditev. Leta 2005 je bil izdan Pravilnik o mehanski odpornosti in stabilnosti objektov (Ur. l. RS, št. 101/05). To je predpis, ki velja za vse objekte. V pravilnik je vključena skupina standardov Evrokod.

2.1.3 Pravna urejenost projektiranja, gradnje in vzdrževanja pregrad v Sloveniji

Krovni zakon, ki pravno ureja področje graditve pregrad je ZGO-1. Pravilnik o mehanski odpornosti in stabilnosti v sklopu tega zakona velja za vse vrste objektov. V pravilnik je vključena skupina evropskih standardov Evrokod. Drugih predpisov, ki bi celovito urejali to področje, v Sloveniji ni. Poleg tega omenjeni pravilnik podrobno ureja področje projektiranja, medtem ko za fazo gradnje in vzdrževanja pregrad posebnega predpisa ni. V gradbenih predpisih zasledimo samo Pravilnik o opazovanju seizmičnosti na območju velike pregrade (Ur. l. RS, št. 92/99, 44/03), ki ureja zgolj seizmično opazovanje [11].

Pravilnika, ki bi se opredeljeval do gradnje pregrad, ni. Pobud za to na Ministrstvu za infrastrukturo in prostor ni. Razlog tiči najbrž v tem, da se je takih objektov v zadnjem času gradilo zelo malo. Poleg tega gre za zelo zahtevne objekte, katerih se lotevajo le izvajalci, ki imajo za to ustrezno znanje (reference) [11].

Tudi na ravni Evropske unije ni usklajene politike v zvezi s pregradami. Vsaka država rešuje stvari po svoje. V Jugoslaviji je obstajal pravilnik za gradnjo nasipov in pravilnik o tehničnem opazovanju pregrad, ki se smiselno uporabljata še danes.

Stanje na področju vzdrževanje je malo drugačno. Večina slovenskih pregrad spada med pregrade velikega tveganja, zato bi bilo potrebno zagotavljati redno vzdrževanje in monitoring pregrad. V ta namen je bilo na Ministrstvo za infrastrukturo in prostor podanih veliko pobud, vendar brez uspeha. Problem tiči najbrž tudi v tem, da imamo pregrade z različnimi nameni (kmetijski, energetsko-gospodarski, okoljski, ...), tako da vse pregrade ne spadajo pod pristojnost Ministrstva za

infrastrukturo in prostor, nekatere spadajo tudi pod pristojnost Ministrstva za obrambo ter Ministrstva za kmetijstvo in okolje [11].

Malo so se zadeve premaknile z razvojno raziskovalnim programom »Zemeljske in betonske pregrade strateškega pomena v RS VODPREG«. V projektu so bili zbrani podatki o pregradah v Sloveniji, njihova projektna dokumentacija, hkrati pa so se odpravili tudi pregledi stanja na terenu. V zaključku so predlagane nadaljnje aktivnosti. Izkazalo se je, da so ukrepi potrebni na praktično vseh pregradah. Ukrepi so bili razvrščeni v 6 glavnih skupin in sicer ureditev projektih nalog, dokumentacije, monitoringa, ukrepi na telesu pregrade, ukrepi na betonskih in zidanih objektih in ukrepi v akumulaciji. Pokazalo se je, da je večina pregrad nevzdrževanih ali pa se le to izvaja pomanjkljivo, kar pa je posledica pomanjkanja sredstev s strani lastnika Ministrstva za kmetijstvo in okolje ali pa neurejenih lastniških odnosov. Poročil, ki se izdelujejo na rednih pregledih, nobeden ne revidira, prav tako se morebitni predlogi za sanacijo ne realizirajo.

2.1.4 Povzetek obstoječih pravilnikov v Sloveniji

Kakor je že omenjeno zgoraj v Sloveniji obstaja samo en pravilnik, ki ureja ozek segment vzdrževanja pregrad. In sicer gre za Pravilnik o opazovanju seizmičnosti na območju velike pregrade (Ur. l. RS 92/99, 44/03).

Pravilnik predpisuje:

- način opazovanja inducirane seizmičnosti, ki jo povzroča voda v zbiralniku, zajezena z veliko pregrado,
- način opazovanja dinamičnega obnašanja telesa in temelja velikih pregrad, zbiralnikov oziroma prostora za njimi, ter prostega površja v njihovi neposredni bližini ob delovanju potresov,
- tehnične normative seizmoloških instrumentov in normative za njihovo vzdrževanje in
- pogoje, ki jih mora izpolnjevati izvajalec opazovanja vpliva seizmičnosti na velike pregrade [20].

Pravilnik najprej definira pogoje, pod katerimi štejemo pregrado med visoke. V nadaljevanju določa pristojnosti lastnikov in upravljavcev pregrad. Nadalje predpisuje število seizmografov glede na višino pregrade, način zbiranja podatkov, tehnične lastnosti seizmografov. Nato se členi ponovijo še z akceleroграфи. Seizmografi so namenjeni opazovanju inducirane seizmičnosti in so postavljeni na prostem površju, medtem ko akceleroграфи merijo dinamičen odziv pregrade in so postavljeni v in na pregradi.

Kakor vidimo, je zadeva slabo urejena. Za primerjavo je v nadaljevanju prikazana ureditev v Avstriji, kjer imajo vse od zasnove pregrade do nadzora in vzdrževanja pokrito s tehničnimi smernicami (ONR). Nekaj podobnega bi bilo potrebno narediti tudi pri nas.

2.2 Stanje v Avstriji

Iz pregledane literature je mogoče ugotoviti, da je njihov sistem zagotavljanja varnosti pregrad zasnovan na dolgoletnih izkušnjah in je ob tem tudi ustrezno zakonsko in organizacijsko podprt.

V preteklosti so se tehnologije gradnje sklicevale na izkušnje inženirske prakse, medtem ko institucionaliziran proces standardizacije, kot ga poznamo pri ostalih inženirskih panogah, ni obstajal. Danes morajo biti vse zgradbe načrtovane in dimenzionirane na podlagi standardov Evrokod. To je bil razlog za nastanek interdisciplinarne delovne skupine ON-K-256 na Avstrijskem inštitutu za standarde, ki je uspela razviti celovite nove tehnične smernice za zaščitne konstrukcije vključno z obtežbami, zasnovo, dimenzioniranjem in oceno nadzornih del v življenjskem ciklu pregrade [7].

V Avstriji imajo za hudourniške zaščitne konstrukcije predpisane posebne tehnične smernice (ON-Regel):

- ONR 24800, Schutzbauwerke der Wildbachverbauung – Begriffe und ihre Definitionen und Klassifizierung (erschienen 2008);
Zaščitne konstrukcije na hudournikih – Izrazi, definicije in klasifikacija (objavljeno 2008);
- ONR 24801, Schutzbauwerke der Wildbachverbauung – Statische und dynamische Einwirkungen (erscheint 2012);
Zaščitne konstrukcije na hudournikih – Statične in dinamične obremenitve (objavljeno 2012);
- ONR 24802, Schutzbauwerke der Wildbachverbauung – Projektierung, Bemessung und konstruktive Durchbildung (erschienen 2011);
Zaščitne konstrukcije na hudournikih – Projektiranje, zasnova in konstruiranje (objavljeno 2011);
- ONR 24803, Schutzbauwerke der Wildbachverbauung – Betrieb, Überwachung und Instandhaltung (erschienen 2008);
Zaščitne konstrukcije na hudournikih – Obratovanje, nadzor in vzdrževanje (objavljeno 2008).

Sklop tehničnih smernic nadaljujejo pravila za stalne tehnične zaščitne konstrukcije, in sicer:

- ONR 24805, Permanenter technischer Lawinenschutz – Benennung und Definitionen sowie statische und dynamische Einwirkungen (erschienen 2010);
Stalna tehnična zaščita pred plazovi – Izrazi, definicije, statične in dinamične obremenitve (objavljeno 2010);
- ONR 24806, Permanenter technischer Lawinenschutz – Bemessung und konstruktive Ausgestaltung (erscheint 2011);

Stalna tehnična zaščita pred plazovi – Zasnova in konstruiranje (objavljeno 2011);

- ONR 24807, Permanenter technischer Lawinenschutz – Überwachung und Instandhaltung (erschienen 2010);

Stalna tehnična zaščita pred plazovi – Nadzor in vzdrževanje (objavljeno 2010).

Poleg omenjenega pa se pojavi še smernica, ki ureja podore, in sicer:

- ONR 248010, Technischer Steinschlagschutz - Begriffe, Einwirkungen, Bemessung und konstruktive Durchbildung, Überwachung und Instandhaltung (erscheint 2013);

Tehnično varovanje pred skalnimi podori – Izrazi, vplivi, oblikovanje, konstruiranje, nadzor in vzdrževanje (objavljeno 2013).

V nadaljevanju se omejimo na tehnične smernice, ki urejajo zaščito pred snežnimi plazovi. Zaščitne konstrukcije pred snežnimi plazovi spadajo med stalne tehnične zaščitne konstrukcije, katere urejajo tehnične smernice ONR 24805 do ONR 24807. Ker se pregrada nahaja v hudourniku Timmelbach je potrebno upoštevati tudi hudourniške procese (poplave in drobirski tok), katere urejajo tehnične smernice ONR 24800 do 24803. Vsebina posameznih tehničnih smernic ONR je smiselno vključena v nadaljnja poglavja, zlasti vplivi, učinki vplivov, delni faktorji ter projektna stanja na podlagi katerih je v nadaljevanju izvedeno projektiranje hudourniške pregrade na konkretnem primeru.

Smernice bazirajo na interakciji s standardi Evrokod in sicer z ÖNORM EN 1990 (Osnove projektiranja), ÖNORM EN 1992-1-1 (Projektiranje betonskih konstrukcij), ÖNORM EN 1997-1 (Geotehnično projektiranje) in ostalimi povezanimi dokumenti.

Vidimo lahko, da ima Avstrija področje pregradnega inženirstva urejeno vse od zasnove, projektiranja, do vzdrževanja in obratovanja. Nekaj podobnega bi bilo potrebno narediti tudi v Sloveniji ali celo bolje, da se sprejmejo evropski standardi, katere bi nato prevzeli kot standarde Evrokod.

V nadaljevanju so uporabljeni avstrijski standardi ÖNORM EN, ki so harmonizirani evropski standardi za projektiranje konstrukcij, ter so identični slovenskim standardom SIST EN. Avstrijske standarde uporabljamo zaradi homogenosti, saj se avstrijske tehnične smernice ONR navezujejo nanje. Prav tako k standardom EN spadajo nacionalni dodatki, ki jih sprejmejo države same. Nacionalni dodatki k evropskim standardom EN so različni za posamezne države.

3 SNEŽNI PLAZ

3.1 Splošno

3.1.1 Definicija in značilnosti snežnega plazu

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 [5].

Vsaka krpa gibajočega snega še ni plaz. Po dogovoru velja, da splazelo gmoto lahko opredelimo kot plaz šele takrat, ko se po pobočju premakne najmanj petdeset metrov. Če je pot plazovine krajša, govorimo o osipu ali plaziču. O podorih govorimo, ko imamo v mislih podiranje serakov in ledu v ledeniških gorah [5].

Plazovi se običajno sprožijo v začetni coni, kjer so prekoračene sile v snegu, le včasih se postopoma širijo. Vzrok za prekoračene sile v snegu je lokalna oslabilitev v snegu oziroma dodatne obremenitve zaradi padavin. Plazove lahko sprožijo tudi druga bremena, kot so smučarji, deskarji, živali, eksplozije, potres. Čeprav so primarno snežni plazovi sestavljeni iz snega in zraka, se lahko tekom toka napolnijo s skalami, drevesi in drugim materialom na pobočju. Na proženje snežnih plazov vpliva več faktorjev in sicer naklon pobočja, hrapavost tal, temperature, lastnosti snega ter veter.

3.1.2 Osnovni elementi snežnega plazu

Številni plazovi se ob ugodnih snežnih razmerah na določenem območju ponavljajo oziroma imajo ustaljeno pot. To pot oziroma celotno površino snežnega plazu imenujemo plaznica. Opredelimo jo lahko tudi kot podlago, po kateri zdrsi oziroma splazi snežna odeja. Robove obeh strani plaznice imenujemo rob plazu.



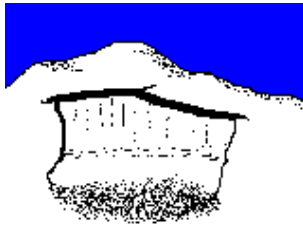
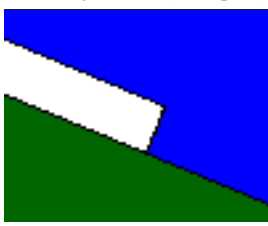
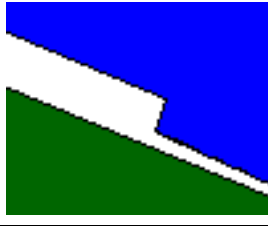
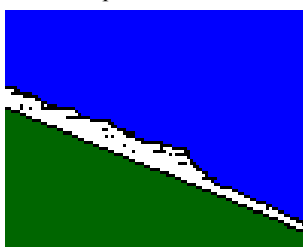
Slika 4: Prikaz osnovnih elementov snežnega plazu (zgoraj območje splazitve, nato sledi območje gibanja ter na koncu območje odlaganja ali akumulacije) [5]

Plaz delimo na tri dele: območje splazitve, napoke ali trganja, območje gibanja ali plazina in območje odlaganja ali akumulacije. Gibajočo se gmoto plazu imenujemo plazovina [5].

3.1.3 Klasifikacija snežnih plazov

Najbolj znano klasifikacijo snežnih plazov je izdelal Inštitut za raziskave snega in snežnih plazov v Davosu, ki pa je bila v ONR 24805 modificirana. V nadaljevanju je prikazana tabela iz ONR 24805. Slike v tabeli so pridobljene iz [22].

Preglednica 1: Klasifikacija snežnih plazov po ONR 24805 [17].

Del	Kriterij	Alternativne lastnosti, opis	
Območje splazitve	Vrsta napoke	Točkovna sprožitev, značilno za nesprijeti sneg 	Linijska sprožitev, značilno za sprijeti sneg 
	Lega drsne ploskve	Površina drsenja so tla (talni plaz) 	Površina drsenja se nahaja znotraj snežne odeje (vrhnji plaz) 
	Vlažnost snega	Plaz suhega snega	Plaz mokrega snega
Območje gibanja	Oblika plaznice	Pobočni plaz 	Žlebasti plaz 
	Oblika gibanja	Pršni snežni plaz 	Tekoči snežni plaz 
		Mešani snežni plaz	
Območje odlaganja	Hrapavost območja odlaganja	Grobo odlaganje	Fino odlaganje
	Vlažnost v območju odlaganja	Suho odlaganje	Mokro odlaganje
	Obstoječi material v območju odlaganja	Prazno Čisto odlaganje	Polno (kamen, zemlja, veje, drevesa) Mešano odlaganje

3.1.3.1 Snežni plaz

Snežni plaz se običajno razvije iz napoke v plošči snega, kjer zdrsne snežna plošča kot posledica strižne odpovedi v majhnih blokih. Tipična gostota snežnih plazov znaša cca. 300 kg/m^3 , tipična višina pa 1,0 do 3,0 m [6].

Iz snežnega plazu lahko, odvisno od lastnosti snega in topografije, nastanejo ostali tipi plazov (pršni snežni plaz ter mešani snežni plaz).

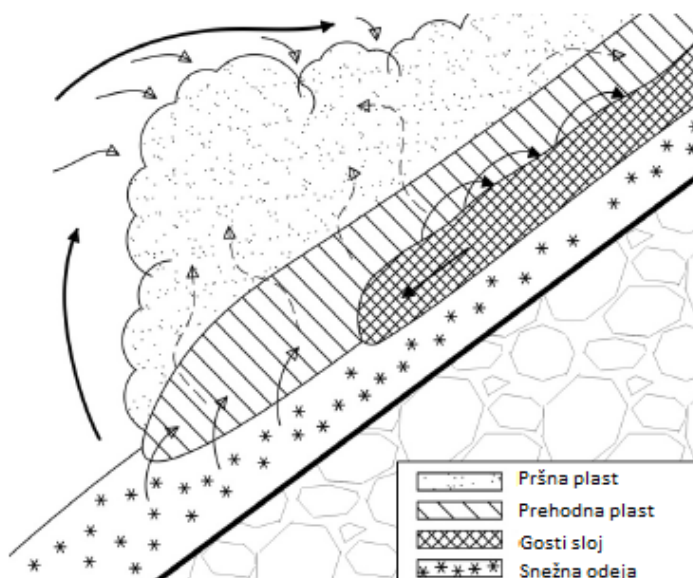
3.1.3.2 Pršni snežni plaz

Pršni snežni plazovi nastanejo iz snežnih plazov, vendar vsak snežni plaz ne privede do pršnega snežnega plazu. Za nastanek pršnega snežnega plazu mora biti naklon pobočja 30° ali več ter izpolnjene morajo biti ustrezne snežne lastnosti [6].

Najprej se premakne plaz v bolj ali manj enakomerni zračni tlak, tako da je med snegom in zrakom prisoten gradient hitrosti. Z zvišanjem hitrosti snežnega plazu se povečajo strižne sile med snegom in zrakom, dokler ne dosežejo mejo, ko snežni delci zaradi centrifugalnih sil preidejo v ozračje; tvori se oblak prahu. Pri hitrostih 10-20 m/s vertikalna komponenta presega turbulentno gibanje in nastane zmes snega in zraka. Poleg tega se prodor zraka v plaz poveča v smeri toka. V popolnoma razvitem plazu se zrak in delci premikajo s podobno hitrostjo. Zaviralne sile v pršnem snežnem plazu so manjše kot pri snežnem plazu. Pršni snežni plaz lahko modeliramo kot tekoči medij, ki je odvisen od Reynoldsovega števila disipacije energije. Gostota pršnih snežnih plazov na dnu je v razponu $2\text{-}15 \text{ kg/m}^3$ [6].

3.1.3.3 Mešani snežni plaz

Pršni snežni plaz se razvije iz snežnega plazu, oba tipa pa skupaj tvorita mešani snežni plaz.



Slika 5: Sestava mešanega snežnega plazu v polno razviti fazi [17]

Vsebnost prahu v mešanem snežnem plazu v smeri jarkov je manjša, tako prihaja pri zelo strukturiranem terenu do ločitve toka ter pršnega dela, če tok spremeni smer temu delci ne morejo slediti. Gostota mešanega snežnega plazu znaša $10\text{--}100\text{ kg/m}^3$, tipična višina toka pa $2,0\text{--}5,0\text{ m}$ [6]. V večini primerov se v naravi pojavljajo mešani snežni plazovi, kjer spodnji del nosi večje kose, medtem ko vrhnji pršni del nosi manjše delce.

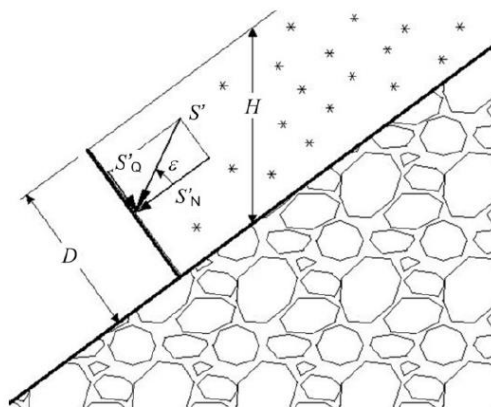
3.1.3.4 Moker snežni plaz

O mokrem snežnem plazu govorimo, ko celotna drsna snežna odeja vsebuje vodo. Sprožitev mokrega snežnega plazu sledi po neprepustni drsni plošči, večinoma ko se začne topiti sneg, ali po prekomernih padavinah. S prosto vodo v porah se stabilnost snežne odeje zmanjša [6].

Tovrstni plazovi nastanejo po daljšem obdobju višjih temperatur, zato so značilni za pomladansko obdobje, lahko pa nastanejo tudi ob otoplitvah v zimskem obdobju. Drsijo dokaj počasi ($10\text{--}20\text{ m/s}$), sledijo potem, ki nastanejo zaradi morfologije tal, a zaradi visoke gostote povlečejo za seboj vse, kar srečajo na poti. Značilnost teh plazov je, da včasih pustijo za sabo »vreze« na dnu in ob straneh pobočja, katere povzročajo kamenje, skalovje in drobir, ki jih snežna gmota nosi s seboj [5].

3.2 Statični vpliv snežnega plazu na ovire

Statični vpliv snežnega plazu se najpogosteje uporablja v območju splazitve, kjer na varovalno konstrukcijo deluje statična obtežba snega.



Slika 6: Prikaz statičnega vpliva snežnega plazu na ovire [17]

Po ONR 24805 izračunamo statični vpliv obtežbe snega po naslednji enačbi:

$$S'_N = \rho_n \cdot g \cdot \frac{H^2}{2} \cdot K \cdot N \quad [\text{kN/m}]$$

kjer je:

K faktor lezenja

N faktor drsenja

Faktor lezenja izračunamo po naslednji enačbi iz ONR 24805. Odvisen je od gostote snega ρ in naklona pobočja ψ .

$$K = (2,50 \cdot \rho^3 - 1,86 \cdot \rho^2 + 1,06 \cdot \rho + 0,54) \cdot \sin 2\psi$$

Faktor drsenja določimo na podlagi tabele 3 v ONR 24805. Odvisen je od kategorije tal in orientacije pobočja. Za grobo podlago (kategorijo terena 1) z bloki debeline ($d \geq 30$ cm) na površini terena znaša faktor drsenja 1,2 za pobočja usmerjena na sever ter 1,3 za južna pobočja. Za gladka pobočja (kategorijo terena 4) znaša faktor drsenja za severna pobočja 2,6 za južna pa 3,2.

3.3 Dinamika snežnih plazov

3.3.1 Splošno

Fizikalni kriteriji in matematični modeli za opis gibanja plazov so najpomembnejša načela pri projektiranju tehnične zaščite pred plazovi. V nadaljevanju sledijo najpomembnejše karakteristike gibanja plazov ter kratek pregled osnovnih fizikalnih konceptov za opis gibanja plazov.

Plazove lahko opišemo kot gravitacijski tok snega. Fizikalnega in matematičnega opisa gibanja plazov do sedaj ni bilo, zaradi velike spremenljivosti materiala snega. Velika variabilnost gibanja plazov ter negotovost pri meritvah realnih plazov sta glavni oviri pri izpeljavi fizikalnih zakonov modela, zato je potrebno poiskati alternative v modelih za analize [6].

Za praktično uporabo lahko gibanje plazov opišemo s pomočjo hitrosti v , višine toka h ter gostote ρ . Z analizo nato izračunamo maksimalno dolžino plaznice ter pritisk plazov [6].

3.3.2 Hitrost snežnih plazov

Vsak plaz se začne kot laminarni tok oziroma kot zdrs bloka. Pri hitrosti 10 m/s je mogoče pričakovati drobitev snežne odeje in prehod na turbulenten tok [6].

Preglednica 2: Tipične hitrosti različnih tipov snežnih plazov [6].

Tip plazov	Hitrost [m/s]
Moker snežni plaz	10 – 20
Suh snežni plaz	20 – 40
Prašni snežni plaz	30 – 70

3.3.3 Fizikalni opis gibanja snežnih plazov

Kljub kompleksnemu gibanju plazov, saj fizikalni procesi niso znani v detajle, lahko plaz obravnavamo kot neprekinjen medij, katerega gibanje opišemo z masnimi in gibalnimi enačbami. Tako gibanje opišemo s kontinuitetno enačbo (zakon o ohranitvi mase), z gibalno enačbo (zakon o ohranitvi gibalne količine) in z energijsko enačbo (zakon o ohranitvi notranje energije).

Z izbranimi začetnimi in robnimi pogoji, karakterističnimi vrednostmi, kot so območje sprožitve, sprožitvena masa, topografija plaznice, itd. se gibanje plazu izračuna z reševanjem zgornjih enačb. To poteka običajno z ustreznimi poenostavljenimi postopki numeričnih rešitev, kot so numerični modeli AVAL-1D, ELBA+, RAMMS ali SAMOS-AT.

3.3.4 Konstitutivni zakoni

Iz matematičnega vidika je sistem masnih in gibalnih enačb nedoločen, to pomeni da potrebujemo dodatne enačbe za zapiranje sistema enačb in določitev rešitve za opis gibanja plazju. Sistem enačb je mogoče zapreti s konstitutivnim zakonom.

3.4 Numerično modeliranje in simulacija snežnih plazov

3.4.1 Splošno

Kot smo videli v prejšnjem poglavju, so plazovi zelo zapletena gibanja, ki jih lahko opišemo samo s poenostavljenimi fizikalno-matematičnimi modeli. Največja težava numeričnih modelov ostaja odvisnost rezultatov od pravilne izbire sprožitvene mase ter interakcije plazju z gorskimi gozdovi.

3.4.2 Pregled modelov snežnih plazov

Velik del fizikalno dinamičnih modelov sloni na Voellmyevem modelu tekočine, ki temelji na trenjskih zakonitosti po Chezyu v kombinaciji s suhim trenjem po Coulombu. Nadalje se je Voellmyev model razvil v model masnega središča, imenovan PCM model, ki predstavlja plazove kot enodimenzionalni zrnat kontinuum, numerični model AVAL 1D, ki je v praksi uporabljen v mnogih državah, in dvodimenzionalni simulacijski model ELBA+, ki ima prednost, saj ni potrebno vnaprej podati specifične poti plazju, saj v izračunu upošteva tridimenzionalno digitalno površino terena [6].

V Avstriji se je po katastrofalnih plazovih 1999 močno spodbudil razvoj dinamičnega 3D modela SAMOS, s katerim je mogoče računati plazove ter pršne snežne plazove. Od leta 2008 je na voljo izboljšana verzija SAMOS-AT. Na Inštitutu za raziskave snega in snežnih plazov v Švici je bil leta 2005 razvit numerični program RAMMS. V naslednji razvojni fazi bo program omogočal izračun drobirskih tokov in skalnih podorov v tridimenzionalnem prostoru [6].

Najbolj značilni numerični modeli so podani v spodnjih dveh preglednicah.

Preglednica 3: Statistično-topografski modeli za izračun gibanja snežnih plazov [6].

Statistično-topografski modeli
– Alpha-Beta (1980) – Laatsch/Zenke/Dankerl (1981) – McClung, Lied (1987) – French 1D, Cemagref (2003)

Preglednica 4: Fizikalno-dinamični modeli za izračun gibanja snežnih plazov [6].

Fizikalno-dinamični		
Snežni plaz		
1D površina: – PCM (1980) – NIS, 1D+ (1987) – Voellmy-Salm (1990) – Aval 1D, FL 1D (1999)	2D površina: – Savage/Hutter (1989) – Aval 2D (1999) – SAMOS, Dfa (1999) – French 2D, Cemagref (2003) – Elba+ (2005) – SAMOS-AT, Dfa (2007) – RAMMS (2008)	
Prašni snežni plaz		
1D površina: – Aval 1D, FL 1D (1999)	2D površina: – AVAER, 2D+ (1995) – French 2D+, Cemagref (1998)	3D površina: – Samos, Dfa (1999) – SAMOS-AT, Dfa (2007)

3.4.3 Statistično-topografski modeli snežnih plazov

V skupini statističnih-topografskih modelov velja omeniti model iz leta 1980 od Lieda in Bakkehoija t. i. Alfa-beta metoda za izračun višine in dolžine plazov. Model je bil kalibriran na več referenčnih plazovih. Potek izračuna je na voljo v literaturi [6], poglavje 4.2.4. ter literaturi [1] stran 97.

3.4.4 Fizikalno-dinamični modeli snežnih plazov

3.4.4.1 Voellmy-Salmov model

Po katastrofalnih plazovih leta 1951 in 1954 je Voellmy razvil prvi model plazov (Voellmyev model). Od leta 1966 je Salm nadalje razvijal Voellmyev model. Uvedel je notranje trenje ter aktivno in pasivno stanje plazov (toka). Gre za model pri katerem je masa plazov poenostavljena v masno središče [6].

Leta 1990 se je Voellmy-Salmov model začel uporabljati v praksi. Do razvoja numeričnih modelov AVAL-1D se je Voellmy-Salmov model uporabljal po vsem svetu za izračun dosega ter pritiskov plazov [6].

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, deluje ob dnu upor trenja, ki je proporcionalen ploščini kontaktne površine (koeficient drsenja ξ) in pri turbulentnem odtoku proporcionalen srednji hitrosti v in prostorninski teži snega γ . Razen tega nanj deluje še upor

trenja, ki je proporcionalen ploščini površine in sili, ki deluje normalno na površino. Ta proporcionalni faktor je μ , koeficient trenja« [12].

Preglednica 5: Pregled koeficientov trenja μ in ξ pri Voellmy-Salmovem modelu [6].

Parameter trenja		Opis
μ	Coulombov koeficient statičnega trenja	Odvisen od tlaka pravokotno na tla in lastnosti snega. Za velike plazove ($>10^5 \text{ m}^3$) nad 1300 m in višino 1 do 2 m je priporočen μ enak 0,155. Pri mokrih snežnih plazovih se računa z μ enak 0,3. Dolžina plazu je močno odvisna od statičnega koeficienta μ .
ξ	koeficient turbulentnega trenja ali koeficient hitrosti	Je sorazmeren s kvadratom hitrosti in je odvisen od hrapavosti podlage. za položne terene je ξ enak 1000 m/s^2 za bolj usmerjana območja (kanale) ter gozd pa je ξ enak 400 m/s^2 . Parameter ξ ima velik vpliv na hitrost.

3.4.4.2 AVAL-1D

AVAL-1D je numerična verzija Voellmy-Salmovega modela. Pomembna sprememba je upoštevanje mase plazu v izračunu ter modeliranje na realni topografiji. Vsebuje dva neodvisna modula FD-1D za snežne plazove ter ST-1D za pršne snežne plazove. Oba modula temeljita na izračunu diferencialnih enačb s pomočjo diferenčne metode. AVAL-1D je razvil Inštitut za raziskave snega in snežnih plazov iz Davosa. Uporablja se po celotnem svetu [6].

3.4.4.3 ELBA+

Elba+ je rastrsko zasnovana 2D numerična simulacija plazu. Elba+ je računski model, ki je vključen v GIS vmesnik (ArcGIS). Model temelji na Voellmyevem modelu, za katerega je značilno statično (μ) in turbulentno (ξ) trenje. Modelne enačbe so numerično izračunane z napredno diferenčno metodo v rastru s konstantno velikostjo celice 5 m [6].

3.4.4.4 RAMMS

Dvodimenzionalen računski model RAMMS je nadaljevanje AVAL-1D. Razvit je bil na Inštitut za raziskave snega in snežnih plazov v Davosu in je od leta 2010 tudi v komercialni rabi. Vektor hitrosti se izračuna v tridimenzionalnem prostoru v dveh smereh s čimer se določi smer in širina toka. Računalniška mreža je ustvarjena iz digitalnega modela terena [6].

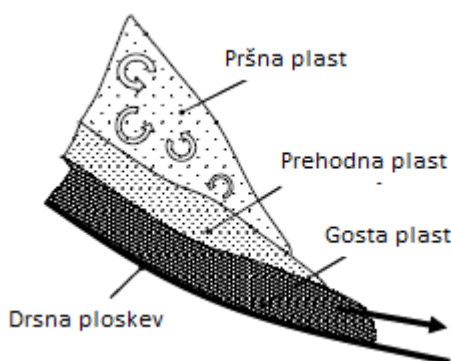
Uporabniki uporabljajo RAMMS pri svetovanju v zvezi s snežnimi plazovi, zemeljskimi usadi ter drobirskimi tokovi [6].

3.4.4.5 SAMOS-AT

SAMOS je programska oprema za simulacijo snežnih plazov. Opisuje goste snežne plazove, pršne snežne plazove, kot tudi interakcijo med njimi. Uporaba programske opreme je pokazala več težav. Pri

gostih snežnih plazovih je prihajalo do prevelike širine v žlebastem terenu ter pogosto predolge poti pri gostih kot tudi pršnih snežnih plazovih.

Izboljšana verzija SAMOS-AT je bila razvita 2007. Glavna sprememba so različni modeli spodnjega trenja goste plasti z drsno ploskvijo, obravnavanje pršne plasti kot dvofaznega toka ter drugačna numerična shema za gosto plast. Prav tako se je uporabnost programa poenostavila. Vertikalno so predpostavljene tri plasti, ki imajo različno gostoto. Gosta plast z gostoto $200\text{--}300\text{ kg/m}^3$ se nahaja spodaj, prašna plast z gostoto $1\text{--}10\text{ kg/m}^3$ na vrhu, vmes pa imamo prehodno plast [9]. Model temelji na Savage-Hutterjevem modelu.



Slika 7: Razporeditev plasti snežnega plazov v programu Samos-AT (zgoraj se nahaja pršna plast, spodaj gosta plast med njima pa imamo prehodno plast) [9]

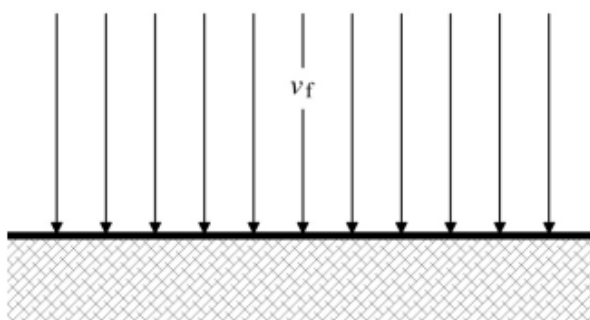
3.5 Dinamični vpliv snežnega plazov na ovire

3.5.1 Splošno

Ko plaz naleti na oviro, je posledica dinamični tlak, ki se večinoma upošteva kot statičen. Ob udarcu snežnih blokov ali trdnih predmetov (balvani, debla) so dodatno prisotne kratkoročne sile, ki so lahko veliko večje kot statični pritisk [6].

3.5.2 Vpliv snežnega plazov na pregrade

V tem primeru je vpadni kot plazov pravokoten na oviro. Ovira je tako velika, da glavna masa plazov ne gre skozi oziroma naprej od ovire.



Slika 8: Shema delovanja obtežbe snežnega plazov na ovire, kjer glavna masa plazov ostane za pregrado (zadrževalne pregrade) [17]

Po ONR 24805 se lahko velikost obtežbe izračuna po naslednji enačbi.

$$p_f = \rho_f \cdot v_f^2 \quad [\text{kN/m}^2]$$

kjer je:

ρ_f gostota plazų [ONR 24805 za izračun priporoča 300 kg/m³]

v_f hitrost plazų [ONR 24805 za izračun priporoča hitrost od 20 do 50 m/s]

Približna ocena za hitrost plazų v začetni coni ali v plaznici je enačba po Voellmyu.

$$v_f = \sqrt{d_f \cdot \xi \cdot (\sin \psi - \mu \cdot \cos \psi)} \quad [\text{m/s}]$$

kjer je:

d_f višina čela plazų

ξ koeficient turbulentnega trenja

μ koeficient statičnega trenja po Coulombu

Preglednica 6: Priporočene vrednosti za koeficient turbulentnega trenja ξ po ONR 24805 [17].

ξ	Opis
1000	– položna pobočja do zmerno kanalizirana (razmerje med širina in debelino plazų mora biti večji kot 10:1) – majhna hrapavost
500 do 600	– močno kanalizirano (razmerje med širina in debelino plazų okoli 1:1 do 1:2) – velika hrapavost
400	– skozi gozd

Preglednica 7: Priporočene vrednosti za koeficient statičnega trenja μ po ONR 24805 [17].

μ	Opis
0,155 do 0,2	Veliki plazų (čez 60.000 m ³)
0,2 do 0,3	Srednji plazų (25.000 m ³ do 60.000 m ³) in majhni plazų (pod 25.000 m ³)
0,3	Moker snežni plaz vseh razsežnosti in nadmorskih višin
OPOMBA: Brezdimenzijski koeficient trenja μ je odvisen predvsem od lastnosti snega (temperatura, gostota, vsebnost vode), pa tudi od pritiska plazų normalno na površino tal in hitrosti.	

Kadar se tok odkloni od ovire, je potrebno določiti normalno in tangentno komponento obtežbe plazų.

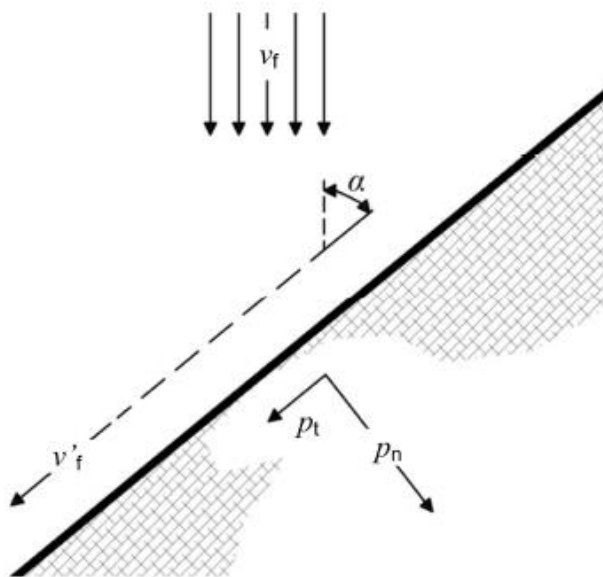
Enačbi podaja ONR 24805.

$$p_n = \rho_f \cdot v_f^2 \cdot \sin^2 \alpha$$

$$p_t = \mu \cdot p_n$$

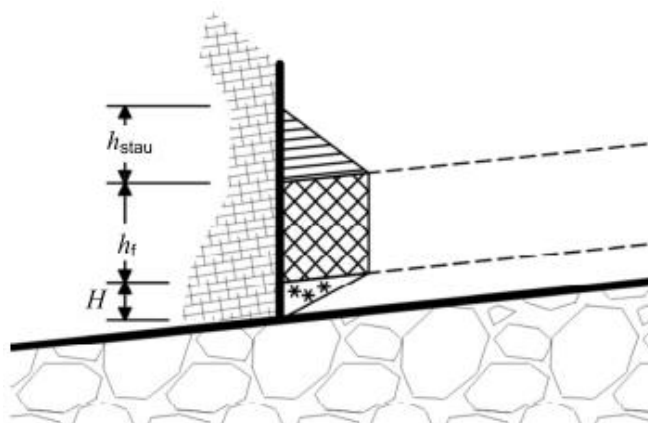
kjer je μ :

- 0,3 za strižne površine sneg/sneg, sneg/zemlja
- 0,4 za sneg na grobih tleh



Slika 9: Shema delovanja snežnega plazu pri odklonu od ovire, kjer je potrebno določiti normalno in tangento komponento obtežbe plazu [17]

Če plaz ostane za pregrado, pride do zvišanja čela plazu, zaradi povratnega toka. To zvišanje je linearno nad višino predvidenega plazu. Zvišanje izračunamo na podlagi ONR 24805.



Slika 10: Shema delovanja obtežbe snega po višini pregrade (spodaj se linearno zvišuje, zaradi trenja, zgoraj pa imamo dvig čela plazu, zaradi povratnega toka) [17]

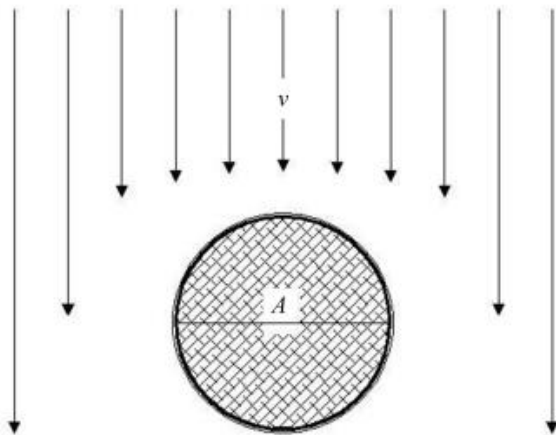
$$h_{\text{stau}} = \frac{v_f^2}{2 \cdot g \cdot \lambda}$$

kjer je:

- λ konstanta pretvorbe energije:
- pri suhih, velikih plazovih 1,5
 - pri gostih, mokrih plazovih 2 do 3

3.5.3 Vpliv snežnega plazu na linijske ovire

Med linijske ovire štejemo ovire, kjer večina snega steče okoli nje. Kot ovire se največkrat pojavljajo stebri, drevesa.



Slika 11: Shema delovanja plazu pravokotno na linijske ovire, kjer glavna masa plazu steče okoli nje (dozirne, filtrirne pregrade) [17]

Pritisk plazu p_f na oviro, kjer plaz teče okoli ovire, izračunamo po ONR 24805.

$$p_f = c_d \cdot \frac{\rho_f \cdot v_f^2}{2}$$

kjer je:

c_d koeficient upora

Preglednica 8: Koeficient upora c_d za izračun obtežbe snežnega plazu na linijske ovire po ONR 24805 [17].

Oblika	Tip snega	
	suh	moker
Valj	1,5	3 do 5
Pravokotnik	2	4 do 6
Trikotnik	1,,5	3 do 6

Nastalo silo na površino (A) ovire izračunamo po naslednji enačbi:

$$P_f = A \cdot c_d \cdot \frac{\rho_f \cdot v_f^2}{2}$$

Zvišanje izračunamo na podlagi ONR 24805.

$$h_{\text{stau}} = \frac{v_f^2}{2 \cdot g \cdot \lambda} \cdot f \cdot \frac{b}{d_f}$$

kjer je:

- b širina ovire pravokotno na smer toka plaz
d_f debelina največjega plaz
f redukcijski faktor

Preglednica 9: Redukcijski faktor f v odvisnosti od razmerja b/d_f za izračun višine zvišanja čela plaz po ONR 24805 [17].

b/d _f	0,1	0,5	1,0	2,0	> 3,0
f	0,1	0,4	0,7	0,9	1

3.5.4 Vpliv pršnih snežnih plazov

Pršni snežni plazovi so mešanica zraka in snežnih delcev. Dokler koncentracija snežnih delcev ostane nizka, snežni delci padajo pod vplivom težnosti v zrak. Posledično začne mešanica snega in zraka teči kot celota in razvije dinamično neodvisnost. Pritisk pršnega snežnega plaz je odvisen od gostote in hitrosti mešanice [17].

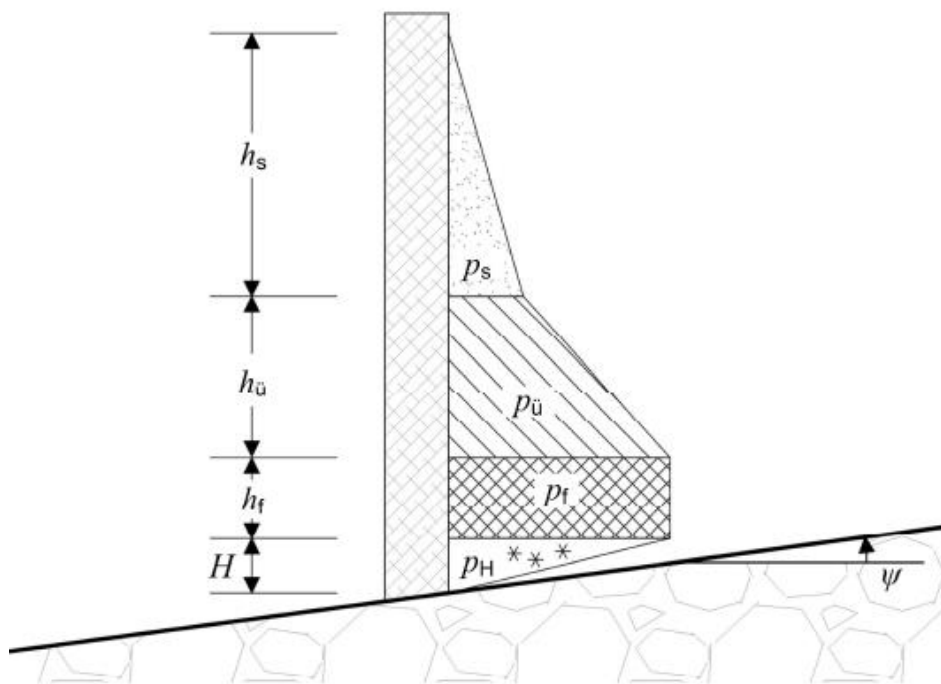
Izračun pritiskov pršnih snežnih plazov sledi izračunu snežni plazov v prejšnjem poglavju. Obtežbo izračunamo po isti enačbi kot za snežne plazove, kjer c_d vzamemo po preglednici 10 spodaj. Skoraj na vseh ovirah, kjer plaz teče skozi, pride na spodnji strani do podtlaka. Tam se uporabi c_d=1,0.

Preglednica 10: Koeficient upora c_d za izračun obtežbe pršnega snežnega plaz na linijske ovire po ONR 24805 [17].

Oblika	Vrednost c _d	
	Pršni sloj	Prehodni sloj
Valj	1	1
Pravokotnik	1,5	2
Trikotnik	1,2	1,5

Eksaktne metode za izračun hitrosti pršnih snežnih plazov ni. Gostota pršnih plazov znaša 5 kg/m³ do 10 kg/m³, gostota prehodnega sloja pa 10 kg/m³ do 50 kg/m³. Višina prehodnega sloja nad snežnim plazom znaša 1 do 5 m, višina pršnega sloja pa je lahko tudi nad 100 m [17].

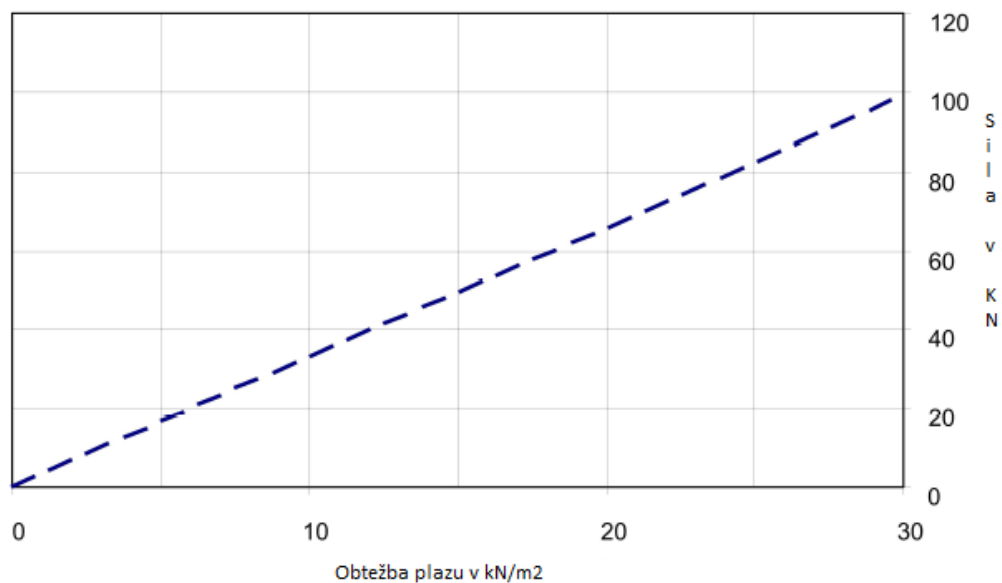
Višine posameznih slojev ter izračuni posameznih pritiskov so podani v literaturi [4] izdani s strani Evropske komisije.



Slika 12: Razporeditev obtežbe pršnega snežnega plazu po višini [17]

3.5.5 Vpliv trdnih delov (skale, drevesa)

Pogosto se v plazovih pojavijo kamni, ledeni kosi, drevesa, ki povzročijo dodatno obtežbo na ovire. Njihov vpliv se upošteva na krožni površini s premerom 25 cm. Silo določimo na podlagi spodnje slike 13, kjer na podlagi obtežbe plazu odčitamo vrednost koncentrirane sile na krožni površini s premerom 25 cm.



Slika 13: Prikaz grafa za določitev koncentrirane sile trdnih delov (skale, drevesa), ki deluje na pregrado s krožno površino s premerom 25 cm [17]

3.5.6 Vpliv vertikalne ukrivljenosti

Pri vertikalni ukrivljenosti zaradi poteka plazov preko galerij ali stavb je potrebno upoštevati vertikalni pritisk snega [6].

$$q_u = \frac{\rho_f \cdot d_f \cdot v_f^2 \cdot \sin \delta}{l_u}$$

kjer je:

l_u razdalja ukrivljenosti, privzeta kot $6 d_f$

d_f debelina snežne odeje pred vstopom preko galerije, stavbe

δ razlika naklona med naklonom pobočja in naklonom galerije

3.5.7 Vpliv mokrega snežnega plaz

Vpliv mokrega snežnega plaz se izračuna enako kot snežni plaz v poglavjih 3.5.2 in 3.5.3, kjer se v enačbah po priporočilu ONR 24805 upošteva gostota 400 kg/m^3 ter hitrost od 20 do 50 m/s.

3.6 Tehnična zaščita pred snežnimi plazovi

3.6.1 Splošno

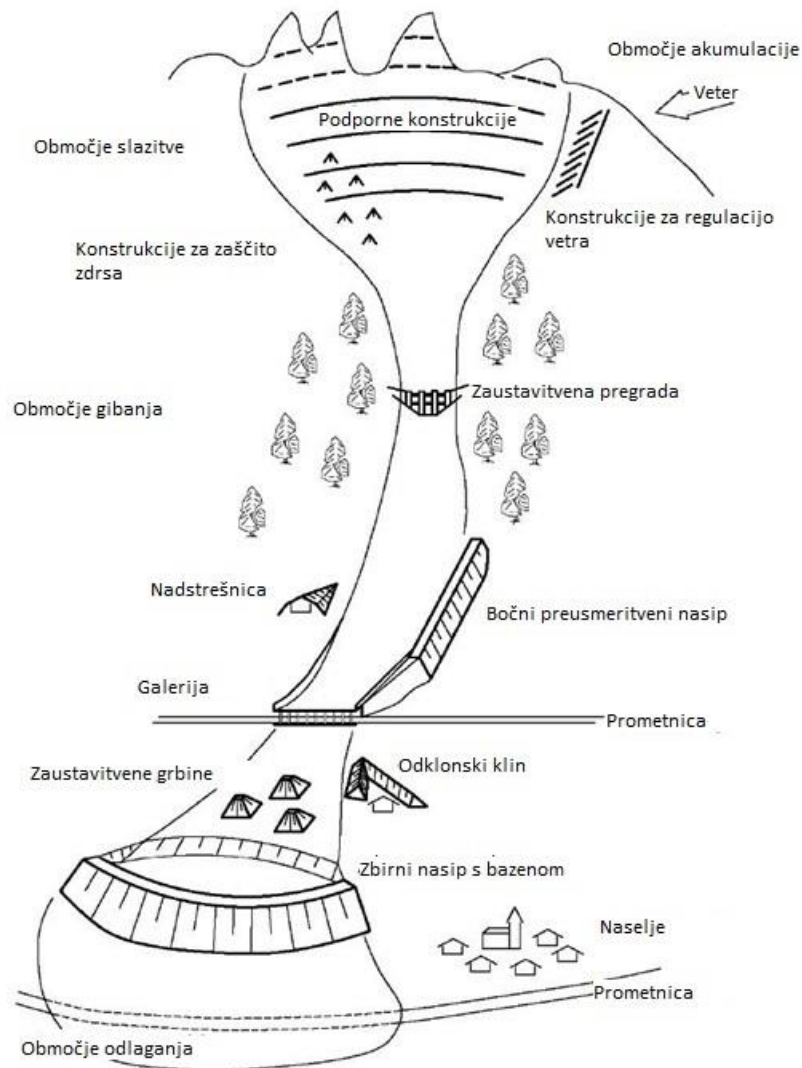
3.6.1.1 Načela

Kot je prikazano zgoraj, plazovi povzročijo različne nevarnosti in scenarije tveganja. Posledično je nabor ukrepov varstva pred plazovi raznolik. Sem sodijo:

- aktivni zaščitni ukrepi za preprečevanje pojavljanja plazov, ki delujejo neposredno na proces plaz in
- pasivni varnostni ukrepi, ki izključujejo ali zmanjšujejo posledice in niso neposredno povezani s procesom plaz.

Aktivni zaščitni ukrepi vplivajo na spremembo pogostosti plazov oziroma neposredno vplivajo na plaz. Pasivni ukrepi za zaščito vplivajo na zmanjšanje škode.

Sistematična zaščita pred plazovi je razvita tako v alpskih državah (Avstrija, Švica, Francija, Italija, Nemčija, Slovenija), kot tudi v Kanadi, ZDA, Japonski, Norveški in Islandiji. V večini teh držav je zaščita pred plazovi naloga države, ki pa jo vsaka država dojema drugače. To velja še posebej za financiranje in izvajanje vzdrževanja. Tudi v drugih gorskih državah, predvsem na Češkem, Poljskem, Slovaškem, Romuniji, Bolgariji, Španiji, Veliki Britaniji, Rusiji, Turčiji, Andskih državah, Himalajskih državah, Kitajski in Novi Zelandiji, se je v zadnjih letih povečal pomen varovanja pred plazovi [6].



Slika 14: Prikaz tehničnih zaščitnih konstrukcij pred snežnimi plazovi na območjih splazitve, gibanja in odlaganja [10]

3.6.1.2 Stalna zaščita

Ko načrtujemo zaščito plazov, moramo misliti na dve strategiji:

- da bi preprečili proženje plazov s podpiranjem snežne odeje (nosilne konstrukcije) ali z omejitvijo vetra in
- da bi preprečili širjenje in odlaganje materiala s preusmeritvijo ali z absorpcijo z zaviralnimi konstrukcijami (pregrade, galerije,...).

Prvi sklop ukrepov se uporablja v območju splazitve, medtem ko se drugi v območju gibanja in odlaganja [6].

3.6.1.3 Začasna zaščita

Med začasne zaščite štejemo tehnologije umetne sprostitve plazov. Pri umetnih plazovih dosežemo nestabilnost z dodatnimi obremenitvami ter tako ustvarimo plazove ob želenem času.

Najbolj pogosta umetna zaščita pred snežnimi plazovi je sistem GAZ EX. GAZ EX je sistem za nadzorovano proženje manjših snežnih plazov z eksplozijo mešanice kisika in propana. Takšen primer zaščite se pojavi pri nas na smučišču Kanin [3].



Slika 15: Prikaz sistema GAZ EX s pomočjo katerega umetno sprožimo snežni plaz [5]

Predhodno določene količine kisika in propana se iz kontrolnega mesta po dovodnih ceveh ločeno dovajajo do strelne cevi. Na podlagi daljinskega ukaza (radiozveza, mobilni telefon, kabel) se preko avtomatskih ventilov plina sprostita v strelno cev, kjer se pomešata. Ko se ventili zaprejo, električna vžigalna naprava sproži eksplozijo plinske mešanice. Eksplozija plinov ustvari udarni val, ki ga strelna cev usmeri proti snežni odeji. Plini udarijo v snežno odejo pod kotom 30° in s hitrostjo med 500 in 600 m/s potisnejo sneg ter sprožijo plaz. Po eksploziji nastane močan povratni podtlak, ki sprosti zrak iz snežne odeje in jo s tem še dodatno zrahlja. Sila podtlaka je sicer 2,5-krat manjša od sile udarnega vala, vendar njeni učinki trajajo 2,9-krat dlje [3].

3.6.2 Tehnična zaščita pred plazovi v območju splazitve

3.6.2.1 Delovanje

Delovanje zaščitnih konstrukcij v območju splazitve temelji na Švicarski direktivi. Plazečo gmoto snega je potrebno zasidrati v tla, bolj ali manj pravokotno na pobočje do višine snežne odeje. Rezultat tega je kopičenje snega za pregrado, kar zmanjša hitrosti lezenja ter enakomerno razporeditev obtežbe snega na konstrukcije po pobočju. Hkrati pa povzroči tlačne napetosti v snežni odeji. Medsebojna razdalja med posameznimi konstrukcijami je najmanj trikratnik višine snežne odeje [6].

3.6.2.2 Jekleni snežni most

Snežni mostovi so podporne konstrukcije z mrežo horizontalnih palic. Klasični snežni most je sestavljen iz dveh stebrov, dveh nosilcev in glede na višino spremenljivo število preklad. Sistem zaščitnih konstrukcij z mostovi in grabljami je lahko kontinuiran preko celotnega pobočja ali pa prekinjen, zaradi ovir terena. Primernost oblike je odvisna od lokalnih snežnih razmer ter topografije pobočja. Na pobočjih s stalnimi snežnimi plazovi je primernejši kontinuiran sistem varovanja [6].



Slika 16: Prikaz zaščite območja splazitve z jeklenimi snežnimi mostovi [10]

3.6.2.3 Leseni snežni most, lesene snežne grablje

Leseni snežni mostovi so sestavljeni iz lesa. Mostovi imajo enako strukturo kot jekleni snežni mostovi, medtem ko imajo grablje drugačno postavitev preklad, pri mostovih so vodoravne, pri grabljah pa so navpične. V primerjavi z jeklenimi snežnimi mostovi ima lesen nižjo življenjsko dobo [6].

3.6.2.4 Kombinacija snežnih mostov

Kombinacija snežnih mostov predstavlja snežne mostove, kjer so stebri in nosilci iz jekla, medtem ko so preklade med nosilci iz lesa. Struktura nosilne konstrukcije je enaka kot pri jeklenih snežnih mostovih [6].

3.6.2.5 Snežne mreže

Snežne mreže so fleksibilne konstrukcije. Sestavljene so iz stebrov, ki so spodaj členkasto podprte, na vrhu pa sidrane s pomočjo vrvi v pobočje. Med posameznimi stebri je napeta mreža. Primerne so za skalna in težko dostopna pobočja. Prav tako je možno doseči večjo fleksibilnost terena. V času, ko ni snega, lahko služi tudi kot zaščita pred padajočim kamenjem. Njihovo delovanje je pogojeno z vzdrževanjem oziroma s sprotnim odstranjevanjem materiala za mrežo [6].



Slika 17: Prikaz zaščite območja splazitve s snežnimi mrežami [10]

3.6.3 Tehnična zaščita za regulacijo vetrnega toka

3.6.3.1 Delovanje

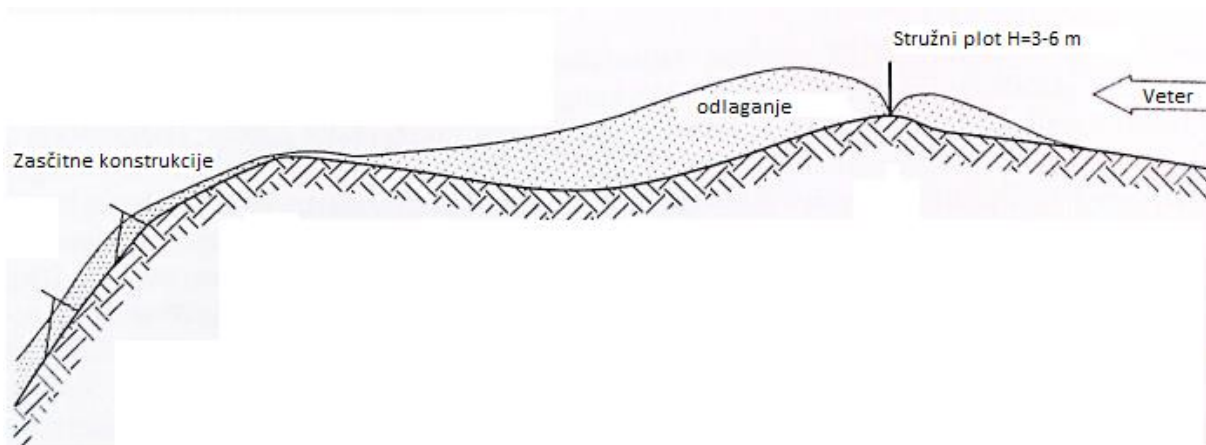
Z regulacijo vetrnega toka želimo vplivati na odlaganje snega. Poznamo dva načina regulacije in sicer pospeševanje vetrnega toka ter zaviranje vetrnega toka.

Vetrni tok pospešujemo po principu Ventourijeve cevi. Konstrukcija je sestavljena iz strehe običajno nagnjene 40° glede na navpičnico in sloni na stebrih pritrjenih na pobočje. Sneg z vetrom vstopi v prostor med terenom in streho, kjer pospeši, tako da se odloži drugje. Tak način delovanja predstavljajo usmeritvene table ter vetrne šobe (strehe) [6].

Vetrni tok zaviramo tako, da ob tleh ustvarjamo turbulenco, ki omogoča usedanje snežnih delcev. Tak način delovanja poznamo pri stružnih plotovih [6].

3.6.3.2 Stružni plotovi (snežna ograja)

Kakor že omenjeno zgoraj stružni plotovi zavirajo delovanje vetra. Stružni plotovi so lahko trajni, začasni ali samосуčni, tako da se sami postavijo pravokotno na smer vetra. Za stružnim plotom nastaja zamet in sicer na lokaciji, ki ni nevarna za sprožitev snežnega plazu. Stružni plotovi imajo najboljši učinek, če so postavljeni pravokotno na smer vetra.



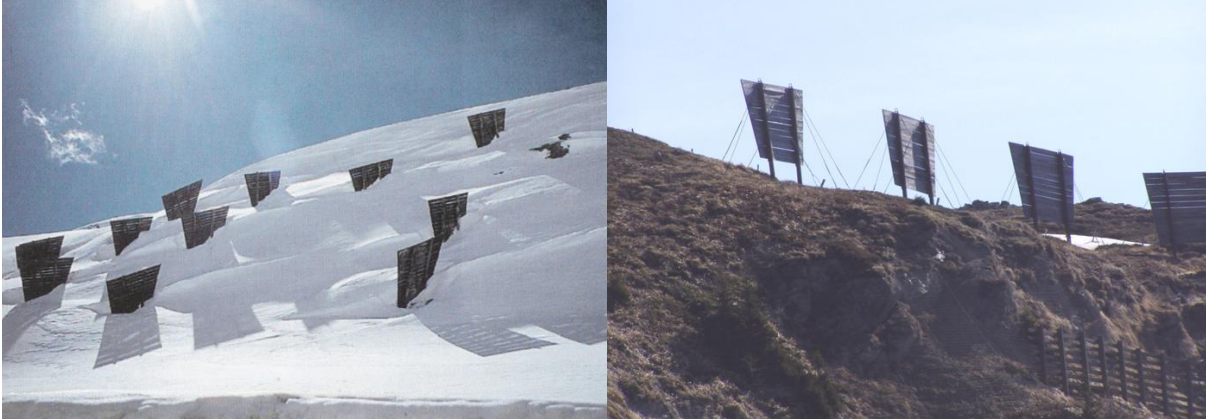
Slika 18: Prikaz delovanja stružnih plotov na območju splazitve [6]



Slika 19: Prikaz zaščite območja splazitve s stružnimi plotovi [10]

3.6.3.3 Usmeritvene table

Usmeritvene table postavimo v bližino gorskih grebenov, tako da vplivajo na porazdelitev snega. Table so zamaknjene med seboj. Table vplivajo na gostoto snega [6].



Slika 20: Prikaz zaščite območja splazitve z usmeritvenimi tablamami [6]

3.6.3.4 Vetrne šobe

Spodaj je na sliki 21 je prikazana vetrna šoba (streha). Nahajajo se v začetku zavetrja strmin. Hitrost vetra se poveča, s čimer pride do prekinitve odlaganja in porazdelitve snega po celotnem območju.



Slika 21: Prikaz zaščite pobočja z vetrno šobo [10]

3.6.4 Tehnična zaščita zdrsov plazov

3.6.4.1 Delovanje

Naloga zaščite pred zdrsi je upočasnitev snežne odeje, omejitev drsenja in plazenja na minimum ter zmanjšanje sil, ki delujejo na ovire. Še posebej se za zaščito uporablja pogozdovanje. V nadaljevanju so predstavljene tri vrste tehnične zaščite pred zdrsi plazov in sicer piloti, trinožniki ter terase. Večinoma se uporabljajo v kombinaciji z ostalimi tipi zaščitnih konstrukcij [6].

3.6.4.2 Piloti

Predpogoj za učinkovito delovanje pilotov je poleg zadostne gostote pilotov tudi razmerje med dolžino pilota nad tlemi ter dolžino pilota v zemlji, ki mora biti 1:2 v vsakem primeru pa vsaj 1:1. Priporočljivi premeri kolov so od 10 do 16 cm [6].

3.6.4.3 Trinožniki

Gradnja trinožnikov iz lesa ali obdelanega lesa je v Avstriji najbolj pogosta zaščita pred plazovi. Višina trinožnika je med 0,8 in 1,5 m. Glede na različne višine in z njim povezane obremenitve se pojavijo različni tipi temeljenja. Za trinožnike do višine 0,9 m je potrebno vkopati nosilec do 0,5 m in sidrati z metrsko jekleno cevjo. Pri višjih višinah je potrebna uporaba dražjih tipov temeljenja [6].



Slika 22: Prikaz zaščite pobočja z lesenimi trinožniki [10]

3.6.4.4 Teras

Pod terase razumemo zemeljske terase različnih širin v pobočjih, s pomočjo katerih reduciramo potencialno splazitveno maso. Konstrukcija se izvede s pomočjo bagra. Ročna izdelava teras privede do velikih stroškov dela. Teras dosega širino od 0,8 do 2,0 m [6].

3.6.5 Tehnična zaščita pred plazovi na območju gibanja in območju odlaganja

3.6.5.1 Usmeritvene zaščitne konstrukcije

3.6.5.1.1 Delovanje

Zaščitne konstrukcije, kot so nasipi in usmeritvene konstrukcije, imajo namen ohranitev stabilnosti plaznice oziroma preusmeritev od objektov, ki jih varujemo. Učinek imajo samo na del plazu, pri popolnoma razvitih pršnih snežnih plazovih in mešanih plazovih pa je njihov učinek majhen [6].

3.6.5.1.2 Stranski nasip

Stranski nasipi imajo nalogo omejitev bočnega širjenja plazu [6].

3.6.5.1.3 Usmerjevalne konstrukcije

Usmerjevalne konstrukcije imajo za razliko od bočnih nasipov funkcijo usmerjanja plazov na želeno pot oziroma preprečevanje bočnega preloma po spremembi smeri v plaznici. Za popolnoma razvite pršne snežne plazove in mešane plazove so popolnoma neučinkoviti [6].

Namenjene so predvsem varovanju posameznih objektov (posamezne stavbe, stebri infrastrukture). Samostojne objekte največkrat varujemo z odklonskimi klini.



Slika 23: Prikaz zaščite električnega droga z odklonskim klinom [5]

Maksimalni odklon od vertikale je lahko 20° . Pri večjih odklonih lahko pride do prelitja. Večinoma gre za uporabo lokalnih materialov (kamenja in zemljine) [10].

3.6.5.2 Zaviralne in zbirne zaščitne konstrukcije proti plazovom

3.6.5.2.1 Delovanje

Zaviralne in zbirne zaščitne konstrukcije delujejo na čelo plazov. Funkcija teh konstrukcij je zbiranje mase plazov oziroma zmanjševanje hitrosti plazov, tako da se zmanjša dolžina plaznice [6].

3.6.5.2.2 Zbirne pregrade (nasipi)

Ideja zbirnih pregrad je s pomočjo umetne ovire zaustaviti plaz in ga odložiti v bazenu za pregrado. Ključnega pomena je višina pregrade, umestitev v plaznico ter geometrijska oblika in volumen zadrževalnega bazena [6].

3.6.5.2.3 Zavorne grbine, zavorni stožec, zavorni klin

Kot pionirke v zavornih konstrukcijah se pojavijo v začetku prejšnjega stoletja zavorne grbine, zgrajene iz zemljine in razporejene po pobočju. Zaradi zamaknjene formacije pride do razvejanosti plazov v območju odlaganja, kar pripomore k zmanjšanju dolžine odlaganja [6].

3.6.5.2.4 Zaustavitvena pregrada

Zaustavitvena pregrada je masivna konstrukcija z armiranega betona, ki po eni strani vpliva na vrtinčenje zmesi zraka in snežnega prahu, po drugi strani pa povzroči povratni tok dela mešanega plazov neposredno v snežni ali pršni snežni plaz, s čimer zmanjšamo hitrost ter doseg plazov [6].



Slika 24: Prikaz zaščite območja gibanja z zaustavitveno pregrado [10]

Zaustavitveno pregrado postavimo v dolino plaznice, kot učinkovito in cenovno ugodnejšo alternativo velikim zaščitnim konstrukcijam v zgornjem toku plazov, kjer ti zaradi tehničnih oz. topografskih značilnosti ne morejo biti izvedene [6].

3.6.5.3 Nadstrešne in posebne konstrukcije

3.6.5.3.1 Galerija, predor

Galerije in predori so neposredni ukrepi za zaščito transportnih poti v območju plaznice ali v območju odlaganja. S pomočjo konstrukcije morebitni plaz pot nadaljuje nad prometnico, s tem pa zagotavljamo njeno nemoteno delovanje.

Galerije ločimo na zaprte in odprte, pri čemer zaprte uvrstimo med predore. Poznamo galerije s pol cilindrično obliko ter galerije s škatlastim profilom. Galerije morajo prenesti statični in dinamični vpliv plazov ter trenje med galerijo in snežno odejo. Zaradi trenja (horizontalnih sil) pride do boljšega odziva pri pol cilindričnih oblikah [5].

Poleg tega se na vstopu nad galerijo zaradi vertikalne ukrivljenosti pojavi dodatna vertikalna obremenitev snega [6].



Slika 25: Prikaz zaščite transportne poti z galerijo na območju odlaganja [10]

3.6.5.3.2 Ločni most

Postavimo ga nad območje gibanja plaz, tako da lahko promet poteka neodvisno.

3.7 Dimenzioniranje zaustavitvenih pregrad

3.7.1 Splošno

V nadaljevanju se bomo orientirali samo na projektiranje zaustavitvenih pregrad, t. i. »Lawinenbrecher«. Za ostale tipe stalne tehnične zaščite so na voljo postopki v knjigi [6] ter ONR 24806, ki se navezuje na omenjeno knjigo.

Zaustavitvene pregrade štejemo po klasifikaciji statičnega sistema po ONR 24800 med masivne konstrukcije. Sestavljene so iz plošč, stebrov in nosilcev. Pregrada učinkuje tako, da povzroča turbulenco v zmesi zraka in snega, po drugi strani pa povzroči povratni tok plaz, [6].

Pri dimenzioniranju zaustavitvenih pregrad je potrebno razlikovati med žlebastim plazom ter odprtim pobočnim plazom. Slednji povzročajo samo dinamično obtežbo. Konstrukcije v žlebastih plaznicah so pogosto podvržene tudi hudourniškim procesom. V takih primerih je potrebno preveriti tudi ustrezne hudourniške procese [6].

3.7.2 Postopek dimenzioniranja

V knjigi [6] so prikazane osnove projektiranja tehničnih ukrepov za varstvo pred plazovi. Kot projektiranje smatramo pripravo ustreznih osnov načrtovanja, tehnične dokumentacije in načrtov za izvajanje zaščite (gradnjo). Tabela prikazuje osnovni postopek, ki je priporočilo in se oblikuje za posamezni primer posebej.

Preglednica 11: Postopek dimenzioniranja tehnične zaščite konstrukcije pred snežnimi plazovi [6]

Korak	Naloga	Poglavje v knjigi [6]
0	Planiranje	Poglavje 5
1	Zbiranje osnovnih podatkov (meteoroloških, nivojskih, frekvenca in obseg snežnih plazov, vpliv gozda)	Poglavje 3
2	Analiza plazov	Poglavje 5.2.1
2.1	Zgodovinska metoda: Kronika plazov	Poglavje 5.2.1.2
2.2	Statistična metoda: Statistika ekstremne vrednosti	Poglavje 3.4.3
2.3	Numerično-matematična metoda: Modeliranje plazov	Poglavje 4.2
2.4	Morfološka metoda	Poglavje 5.2.1.3
3	Analiza tveganja (analiza izpostavljenosti, analiza učinka, ocena tveganja)	Poglavje 5.2.2
4	Predstavitev nevarnosti in tveganj	Poglavje 5.3
4.1	Izdelava nevarnih con (zemljevid ogroženosti)	Poglavje 5.3.4
4.2	Izdelava karte tveganja	Poglavje 5.3.5
5	Določitev ciljev varovanja	Poglavje 6.2.3
6	Določitev koncepta varovanja s primerjavo potencialnih variant	Poglavje 6.3
7	Dokaz uspešnosti in učinkovitosti koncepta zaščite	Poglavje 6.5.3
8	Določitev funkcije in kategorije načrtovane zaščitne konstrukcije	Poglavje 7.2.2.1
9	Raziskave tal	Poglavje 8.1
10	Zasnova konstrukcije (izbira lokacije, opredelitev tipa, izbira dimenzij konstrukcije, določitev glavnih komponent)	Poglavje 8.2.1-8.2.4
11	Določitev ustreznih vplivov (obtežb) ter učinkov vplivov (obtežnih kombinacij)	Poglavje 8
12	Določitev ustreznih mejnih stanj in projektnih stanj	Poglavje 8
13	Dokaz nosilnosti in odpornosti	Poglavje 8
14	Konstrukcijsko detajliranje	
15	Priprava vseh potrebnih načrtov	
16	Preverjanje skladnosti s ciljem zaščite	Poglavje 9.2.2
17	Določitev pogojev za delovanje pregrade	
18	Dokončanje projekta: Sprejetje in odobritev	

3.7.3 Mejno stanje nosilnosti

Po ONR 24802 je potrebno preveriti, ali niso prekoračena za projekt značilna mejna stanja iz spodnje preglednice 12.

Preglednica 12: Mejna stanja nosilnosti po ONR 24802 [16].

Mejno stanje	Dokaz	Material	Standard
EQU	Statično ravnotežje	neodvisno od materiala, toga konstrukcija	ÖNORM B 1997-1-1
STR	Statična analiza konstrukcije	nearmiran beton	ÖNORM EN 1992-1-1:2009, poglavje 12 ÖNORM B 1992-1-1
		armiran beton	ÖNORM EN 1992-1-1:2009, poglavje 6 ÖNORM B 1992-1-1
		jeklo	ÖNORM EN 1993-1-1, ÖNORM B 1993-1-1
GEO	Porušitev temeljnih tal, prevrnitev	zemljina	ÖNORM B 1997-1-1
	Zdrs	zemljina	ÖNORM B 1997-1-1
	Odpoved pobočja	zemljina	ÖNORM B 1997-1-1
UPL	Vzgon	neodvisno od materiala, toga konstrukcija	ÖNORM B 1997-1-1
HYD	Hidravlični lom tal	zemljina	ÖNORM B 1997-1-1
	Notranja erozija	zemljina	ÖNORM B 1997-1-1
	Tvorba podzemnih poti	zemljina	ÖNORM B 1997-1-1

3.7.4 Kombinacije vplivov

Vplivi so na podlagi ONR 24802 kategorizirani na:

- trajna projektna stanja;
- začasna projektna stanja;
- nezgodna projektna stanja.

3.7.4.1 Kombinacije vplivov za trajna projektna stanja

Trajna projektna stanja opisujejo situacije, ki so pomembne v enakem obdobju kot je načrtovana življenjska doba pregrade [16].

Trajna projektna stanja so tista, ki ustrezajo normalnim pogojem uporabe stavbe. Upoštevajo vse pričakovane vplive in učinke vplivov kot so lastna teža, redno ponavljajoče se obtežbe in koristna obtežba kot so sneg, talna voda, veter [16].

Splošna oblika kombinacije učinkov vplivov je :

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

kjer je:

- $\gamma_{G,j}$ delni faktor za stalni vpliv j
- $G_{k,j}$ karakteristična vrednost stalnega vpliva j
- γ_P delni faktor za vplive prednapetja
- P odločilna reprezentativna vrednost vpliva prednapetja
- $\gamma_{Q,1}$ delni faktor za spremenljivi vpliv 1
- $Q_{k,1}$ karakteristična vrednost prevladujočega spremenljivega vpliva 1
- $\gamma_{Q,i}$ delni faktor za spremenljivi vpliv i
- $\psi_{0,i}$ faktor za kombinacijsko vrednost spremenljivega vpliva i
- $Q_{k,i}$ karakteristična vrednost prevladujočega spremenljivega vpliva i

3.7.4.2 Kombinacija vplivov za začasna projektna stanja

Začasna projektna stanja opisujejo situacije, kjer obtežba deluje krajše obdobje kot je planirana življenjska doba pregrade in ima visoko stopnjo verjetnosti, da se zgodi. To so faze gradnje in stanje pri popravilih [16].

Splošna oblika kombinacije učinkov vplivov je :

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

kjer so posamezne oznake identične oznakam pri kombinaciji vplivov za stalna projektna stanja zgoraj (poglavje 3.7.4.1).

3.7.4.3 Kombinacija vplivov za nezgodna projektna stanja

Nezgodna projektna stanja opisujejo situacije, ki vključujejo izjemne pogoje za konstrukcije npr. požar, eksplozija, potres ali lokalna poškodba [16].

Splošna oblika kombinacije učinkov vplivov je :

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + (\psi_{1,1} + \psi_{2,1}) Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

kjer je:

- $G_{k,j}$ karakteristična vrednost stalnega vpliva j
- P odločilna reprezentativna vrednost vpliva prednapetja
- A_d projektna vrednost nezgodnega vpliva

$\psi_{1,1}$	faktor za pogosto vrednost spremenljivega vpliva 1
$\psi_{2,1}$	faktor za navidezno stalno vrednost spremenljivega vpliva 1
$Q_{k,1}$	karakteristična vrednost prevladujočega spremenljivega vpliva 1
$\gamma_{Q,i}$	delni faktor za spremenljivi vpliv i
$Q_{k,i}$	karakteristična vrednost prevladujočega spremenljivega vpliva i
$\psi_{2,i}$	faktor za navidezno stalno vrednost spremenljivega vpliva i

3.7.5 Delni faktorji

3.7.5.1 Mejno stanje EQU

V mejnem stanju nosilnosti (EQU) se preverja kontrola prevrnitve po enačbi:

$$M_{dst,d} \times \gamma_{R,M} \leq M_{st,d}$$

kjer je $\gamma_{R,M} = 1,0$ globalni varnostni faktor za prevrnitev pregrade.

V nadaljevanju so prikazani delni faktorji za podporne konstrukcije, kamor spada tudi zaustavitvena pregrada, po ÖNORM B 1997-1-1 za mejno stanje EQU.

Preglednica 13: Delni faktorji γ za mejno stanje EQU po ÖNORM B 1997-1-1 [19].

	Delni faktorji za vplive (γ_F)				Delni faktorji strižnih karakteristik (γ_M)		
	Stalni neugodni	Stalni ugodni	Spremenljivi neugodni	Spremenljivi ugodni	Strižni kot	Efektivna kohezija	Prostorninska teža
	$\gamma_{G,sup}$	$\gamma_{G,inf}$	$\gamma_{Q,sup}$	$\gamma_{Q,inf}$	γ_ϕ	γ_c	γ_γ
EQU	1,10	0,90	1,50	0,00	1,25	1,25	1,00

3.7.5.2 Mejno stanje GEO

Dimenzioniranje masivnih konstrukcij, kot tudi zaustavitvenih pregrad sledi postopku podpornih konstrukcij, ki se dimenzionirajo po projektnemu pristopu 2 in 2* po ÖNORM EN 1997-1 [6].

V mejnem stanju GEO se preverja naslednje kontrole:

- $H_d \cdot \gamma_{R,h} \leq R_d + R_{p,d}$... odpornost proti zdrs
- $V_d \cdot \gamma_{R,v} \leq R_d$... nosilnost tal
- globalna stabilnost

Odpornost proti zdrs, nosilnost tal, PP2

V nadaljevanju so prikazani delni faktorji za podporne konstrukcije, kamor spada tudi zaustavitvena pregrada, po ÖNORM B 1997-1-1 za mejno stanje GEO za dokaz odpornosti proti zdrs ter dokaz nosilnosti tal. Avstrijski nacionalni dodatek razširi delne faktorje na vsa projektna stanja. Splošni evropski standard EN 1997 podaja delne faktorje samo za stalno projektno stanje.

Preglednica 14: Delni faktorji γ za mejno stanje GEO (projektni pristop 2) po ÖNORM B 1997-1-1 [19].

	Delni faktorji za vplive (γ_F)				Delni faktorji strižnih karakteristik (γ_M)			Delni faktorji odpornosti (γ_R)		
Projektni pristop 2: Kombinacija: A1+M1+R2	Stalni neugodni	Stalni ugodni	Spremenljivi neugodni	Spremenljivi ugodni	Strižni kot	Efektivna kohezija	Prostorninska teža	Nosilnost temeljnih tal	Odpornost proti zdrs	Odpornost tal (pasivna)
Projektno stanje	$\gamma_{G,sup}$	$\gamma_{G,inf}$	$\gamma_{Q,sup}$	$\gamma_{Q,inf}$	γ_ϕ	γ_c	γ_γ	$\gamma_{R,v}$	$\gamma_{R,h}$	$\gamma_{R,e}$
Stalno projektno stanje	1,35	1,00	1,50	0,00	1,00	1,00	1,00	1,40	1,10	1,40
Začasno projektno stanje	1,20	1,00	1,30	0,00	1,00	1,00	1,00	1,30	1,10	1,30
Nezgodno projektno stanje	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,20	1,10	1,20

V primeru sider je potrebno dodatno upoštevati delne faktorje za sidra, ki pa so po ÖNORM B 1997-1-1 neodvisni od projektnega stanja. Na faktor ima vpliv kategorija stavbe.

Preglednica 15: Delni faktorji γ za prednapeta sidra po ÖNORM B 1997-1-1 [19].

Trajanje	Oznaka	Kategorija stavbe		
		CC 1	CC 2	CC 3
Začasna sidra	$\gamma_{a,t}$	1,05	1,25	1,4
Trajna sidra	$\gamma_{a,p}$	1,05	1,25	1,4

Globalna stabilnost, PP3

V nadaljevanju so prikazani delni faktorji za podporne konstrukcije, kamor spada tudi zaustavitvena pregrada, po ÖNORM B 1997-1-1 za mejno stanje GEO za dokaz globalne stabilnosti. Globalno stabilnost po ÖNORM EN 1997-1 preverjamo po projektnem pristopu 3. V nacionalnem dodatku ÖNORM B 1997-1-1 so podani delni faktorji, ki so razdeljeni na podlagi kategorije stavbe ter projektnega stanja.

Preglednica 16: Delni faktorji γ za mejno stanje GEO (projektni pristop 3) po ÖNORM B 1997-1-1 [19].

	Delni faktorji za vplive (γ_F)				Delni faktorji strižnih karakteristik (γ_M)			Delni faktorji odpornosti (γ_R)	
Projektni pristop 3:	A1, A2				M1, M3			R1, R2, R3	
Kombinacija: A2+M2+R3	Stalni neugodni	Stalni ugodni	Spremenljivi neugodni	Spremenljivi ugodni	Strižni kot	Efektivna kohezija	Prostorninska teža	Odpornost sider in drugih elementov	Odpornost tal (pasivna)
Projektno stanje	$\gamma_{G,sup}$	$\gamma_{G,inf}$	$\gamma_{Q,sup}$	$\gamma_{Q,inf}$	γ_ϕ	γ_c	γ_γ	γ_a	$\gamma_{R,e}$
	Kategorija objekta CC 3 po ÖNORM EN 1990.								
Stalno projektno stanje	1,00	1,00	1,10	0,00	1,30	1,30	1,00	1,00	1,00
Začasno projektno stanje	1,00	1,00	1,10	0,00	1,20	1,20	1,00	1,00	1,00
Nezgodno projektno stanje	1,00	1,00	1,10	0,00	1,10	1,10	1,00	1,00	1,00
	Kategorija objekta CC 2 po ÖNORM EN 1990.								
Stalno projektno stanje	1,00	1,00	1,10	0,00	1,15	1,15	1,00	1,00	1,00
Začasno projektno stanje	1,00	1,00	1,10	0,00	1,10	1,10	1,00	1,00	1,00
Nezgodno projektno stanje	1,00	1,00	1,10	0,00	1,05	1,05	1,00	1,00	1,00
	Kategorija objekta CC 1 po ÖNORM EN 1990.								
Stalno projektno stanje	1,00	1,00	1,10	0,00	1,10	1,10	1,00	1,00	1,00
Začasno projektno stanje	1,00	1,00	1,10	0,00	1,05	1,05	1,00	1,00	1,00
Nezgodno projektno stanje	1,00	1,00	1,10	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

3.7.5.3 Mejno stanje STR

Pri mejnem stanju STR se izdelata statična analiza konstrukcije. Če mejno stanje STR primerjamo z mejnim stanjem GEO ugotovimo, da imamo iste vrednosti delnih faktorjev za vplive in učinke vplivov.

Preglednica 17: Delni faktorji γ za vplive in učinke vplivov za mejno stanje STR po ÖNORM B 1997-1-1 [19].

Mejno stanje	Trajanje vpliva			Projektno stanje		
				Stalno	Začasno	Nezgodno
STR	stalni	neugodno	$\gamma_{G,sup}$	1,35	1,20	1,00
		ugodno	$\gamma_{G,inf}$	1,00	1,00	1,00
	spremenljivi	neugodno	$\gamma_{Q,sup}$	1,50	1,30	1,00
		ugodno	$\gamma_{Q,inf}$	0,00	0,00	0,00

3.7.6 Mejno stanje uporabnosti

Splošna enačba za dokaz mejnega stanja uporabnosti je:

$$E_d \leq C_d ,$$

kjer je:

E_d projektna vrednost učinka vplivov,

C_d mejna vrednost učinka vpliva.

Delni faktorji so enaki 1,0. Za mejno stanje uporabnosti so potrebne naslednje analize:

- zasnova uporabnosti na podlagi funkcije pregrade
- omejitev pomikov po ÖNORM B 1997-1-1;
- omejitev širine razpok po ÖNORM EN 1992-1-1.

Omejitev širine razpok $w_{\max}$ pri armirano betonskih konstrukcijah je odvisna od razreda izpostavljenosti, definiranega v ÖNORM B 1992-1-1. Pri objektih v stiku z vodo je $w_{\max}$ omejen na 0,25 mm.

3.8 Konstrukcijsko detajliranje

Detajliranje sledi EN 1992. Debelina zaščitne plasti sledi razredu izpostavljenosti. V standardu najdemo zaščito med 25 do 40 mm, vendar je pri hudourniških pregradah minimum po ONR 24802 6 mm [6].

Plošče in grede iz AB betona se obleče do višine plazu z jeklenimi ploščami debeline 8 do 20 mm na delu kjer gre material plazu lahko skozi. Te plošče so povezane s privarjenimi žebli ali vijaki na konstrukcijo. Plošče se uporabljajo za zaščito betona pred balvani in bloki ledu [6].



Slika 26: Primer zaščite pregrade z jeklenimi ploščami [21]

Pri konstrukcijah, ki so podvržene hudourniškim procesom, je potrebno upoštevati konstrukcijske principe za hudourniške pregrade. Te najdemo v ONR 24802.

4 HUDOURNIŠKI PROCESI

4.1 Splošno

Poleg snežnih plazov se v alpskem svetu lahko pojavijo tudi hudourniški procesi. Po ONR 24800 poznamo štiri tipe hudourniških procesov in sicer poplave, rečni sedimentni transport, drobirski sedimentni transport ter drobirski tok [2].

Preglednica 18: Lastnosti različnih hudourniških procesov po ONR 24800 [2].

Tip premika	Poplave			Drobirski tok	
Način premika	rečni			drobirski	
Izraz	poplave	rečni sedimentni transport		drobirski sedimentni transport	drobirski tok
Tip procesa	odtok vode	rahel	sedimentni transport	močan	drobirski tok
Tip tekočine	newtonska	newtonska		skoraj newtonska	nenewtonska
Volumen sedimentov na enoto prostornine	0,1 %	0-20 %		20-40%	>40%
Najvišja velikost zrn	mm-cm	-dm		-m	-m
Gostota	1000 kg/m ³	<1300 kg/m ³		1300-1700 kg/m ³	>1700 kg/m ³
Pomembne sile	turbulenca, strižne napetosti	turbulenca, strižne napetosti		vzgon, turbulenca, strižne napetosti, razpršen tlak	vzgon, razpršen tlak, viskozne in trenjske sile
Porazdelitev snovi v prečnem prerezu	Trdni delci na dnu in suspenzija	Trdni delci na dnu in suspenzija		Trdne snovi in suspenzija	Trdne snovi
Škoda povzročena z	Vodo in suspenzijo	Vodo, suspenzijo in plavinami		Trdno snovjo in vodo	Trdno snovjo in vodo

Premiki se med seboj ločijo po gostoti, debelini ter količini sedimentov. Poplave imajo gostoto 1000 kg/m³, medtem ko ima drobirski tok največjo od 1700 kg/m³ naprej. Prav tako ima drobirski tok v primerjavi s poplavami bistveno večji procent trdnih snovi na enoto prostornine nad 40 %, medtem ko imajo poplave minimalen delež trdne snovi.

4.2 Drobirski tok

Drobirski tok je eden najnevarnejših procesov zemeljskih premikov. Zgodi se lahko v trenutku, same posledice pa so lahko uničujoče. Za nastanek drobirskega toka morajo biti na sami lokaciji omogočene svojevrstne morfološke, geološke in hidrološke razmere, ki privedejo do tega, da se ob ekstremni količini vode večja količina nesprijetega ali slabo sprijetega materiala zasiti z vodo, tako da preide v tekočo fazo. Da pride do proženja toka mora masa vsebovati tako grob material (drobir), kot tudi drobne frakcije. Kamninska masa običajno v nagnjenem pobočju zdrsne v hudourniško strugo, po kateri lahko prepotuje več kilometrov, če to dovoljuje teren struge. Potovanje omogoča kinetična

energija kamninske mase in trki med kosi drobirja v toku. Čelo toka tekom gibanja vključuje material s struge, drevesa in ves material, ki je na poti, s čimer se masa toka veča. Ko se nagib pobočja zmanjša ali močno razširi, se tok konča. Največkrat se konča v dolini v obliki vršaja.

Drobirski tok je torej gravitacijski tok mešanice zemljin, hribin (skale), vode in/ali zraka, ki je sprožen z nastankom plazu pri veliki količini vode. Glede na nastanek in razvoj ga lahko razdelimo na tri dele: proženje, gibanje in odlaganje [7].

Na podlagi skupnega mehanskega obnašanja tekoče mešanice poznamo dve vrsti drobirskih tokov v alpskih okoljih:

- Blatni drobirski tok ima zelo široko porazdelitev velikosti zrn z veliko vsebnostjo gline. Zaradi relativno nizke strižne odpornosti se lahko blatni tokovi širijo preko pobočij z naklonom minimalno 5%.
- Granulirani drobirski tokovi imajo prav tako široko porazdelitev velikosti zrn, vendar je vsebnost gline omejena, saj prevladujejo grobi delci. Odpornost toka je tako večja zaradi trenja in kohezije med posameznimi delci. Disipacija energije je znatno večja kot pri blatnih tokovih, zato potrebuje granulirani drobirski tok za potovanje naklon pobočja minimalno 15% [7].

4.3 Numerično modeliranje in simulacija drobirskih tokov

4.3.1 Splošno

Uporaba numeričnih modelov za simulacijo drobirskih tokov je v inženirski praksi močno napredovala. Najpogostejši modeli uporabljeni za hudourniške simulacije so programi MORMO, FLUMEN, HEC-RAS ter FLO-2D [6].

V nadaljevanju sledita opisa dveh računalniških programov za numerično modeliranje in simulacijo drobirskih tokov, ki sta najbolj razširjena pri nas. Drobirske tokove pa lahko prav tako modeliramo s pomočjo modelov opisanih v poglavju 3.3. S programoma RAMMS in SAMOS-AT je poleg modeliranja snežnih plazov možno modeliranje drobirskih tokov. S slednjim je bila izračunana predvidena obtežba snežnega plazu in drobirskega toka za načrtovano pregrado v nadaljevanju.

4.3.2 Pregled modelov drobirskih tokov

4.3.2.1 HEC-RAS

Računalniški program HEC – RAS je bil zasnovan pod okriljem ameriške vojske. Program je enodimenzionalen, tako da ne moremo upoštevati vpliva spremembe preseka prečnih prereзов ter modeliranja morebitnega razlivanja v območjih odlaganja.

4.3.2.2 FLO-2D

Računalniški program je bil razvit v ZDA in je delo avtorja J. S. O'Briena, ki se je teoretično in eksperimentalno ukvarjal predvsem z blatnimi in drobirskimi tokovi ter problemi plavin v vodotokih. FLO-2D je nadgradnja in razširitev programa MUDFLOW, ki je bil narejen izključno za računanje blatnih in drobirskih tokov [8].

Prvotni model MUDFLOW je bil omejen na 250 mrežnih elementov. Zagon 6-urnega hidrograma na XT računalniku je trajal več kot 12 ur. Po 21 letih razvoja, FLO-2D izračuna površinski tok v osmih smereh, poroča o kontinuiteti masnega toka v dvodimenzionalni obliki, uporablja shemo variabilnega časovnega koraka, vključuje učinkovit kriterij numerične stabilnosti, ima neomejeno število mrežnih elementov, vključuje komponente za grafično urejanje in ima procesorski program za prikaz rezultatov. V ZDA je program že uradno verificiran in priznan ter se uporablja pri raznih študijah. V Evropi ga veliko uporabljajo v Avstriji, Švici in Italiji, pri nas pa se vedno bolj uveljavlja [8].

4.4 Dinamični vpliv hudourniških procesov na konstrukcije

Kakor je že omenjeno zgoraj, poznamo v grobem dva tipa hudourniških procesov in sicer poplave (visoko vodo) ter drobirski tok. Pri pregradah, kjer imamo za pregrado zemljino, se mobilizira aktivni oz. pasivni zemeljski pritisk, ki ga pri dimenzioniranju upoštevamo kot statično obtežbo. Kot dinamična obtežba se pri hudourniških procesih pojavi obtežba vode (poplave) oziroma drobirski tok.

4.4.1 Dinamični vpliv vode

Enostavno se lahko dinamični vpliv vode izračuna po Czernyu, kjer se hidrostatski pritisk poveča s faktorjem 1,5 do 2,0. Analitično se lahko izračuna preko gibalne enačbe [2]:

$$p = 0,9 \cdot \frac{\gamma_w \cdot Q \cdot v}{g}$$

kjer je:

γ_w prostorninska teža [kN/m³]

Q pretok vode [m³/(s·m²)]

v hitrost vode [m/s]

g težnostni pospešek [m/s²]

Redukcija 0,9 je dovoljena pri hidravličnih izgubah pri precejanju skozi podlago (propustna podlaga). Pri nepropustni podlagi je potrebno upoštevati celoten dinamičen vpliv [2].

4.4.2 Dinamični vpliv drobirskega toka

V praksi dinamični vpliv drobirskega toka običajno določimo s pomočjo dinamičnega koeficienta k s katerim povečamo hidrostatski pritisk vode [2]:

$$p = k \cdot \gamma_w \cdot h_w$$

kjer je:

k dinamični faktor

k=7-10 po Lichtenhahn

k=3-11 v praksi

γ_w prostorninska teža vode [kN/m³]

h_w višina pregrade [m]

Armanini izhaja iz eksperimentov in teoretičnih pristopov za izračun obtežbe na pregrado. V skrajšani obliki jo lahko zapišemo [2]:

$$P_{wg} = 4,5 \cdot \rho_{wg} \cdot g \cdot h_{wg}^2$$

kjer je:

P_{wg} nadomestna sila drobirskega toka [kN]

g težnostni pospešek [m/s²]

h_{wg} globina toka [m]

ρ_{wg} gostota drobirskega toka [kg/m³]

Hübl/Holzinger sta razvila formulo za izračun maksimalnega pritiska drobirskega toka. Formula izhaja iz laboratorijskih testov [2]:

$$p_{max} = 4,5 \cdot \rho_{wg} \cdot v^{0.8} \cdot (g \cdot h_{wg})^{0.6}$$

kjer je:

p_{max} maksimalni pritisk drobirskega toka [kN/m²]

g težnostni pospešek [m/s²]

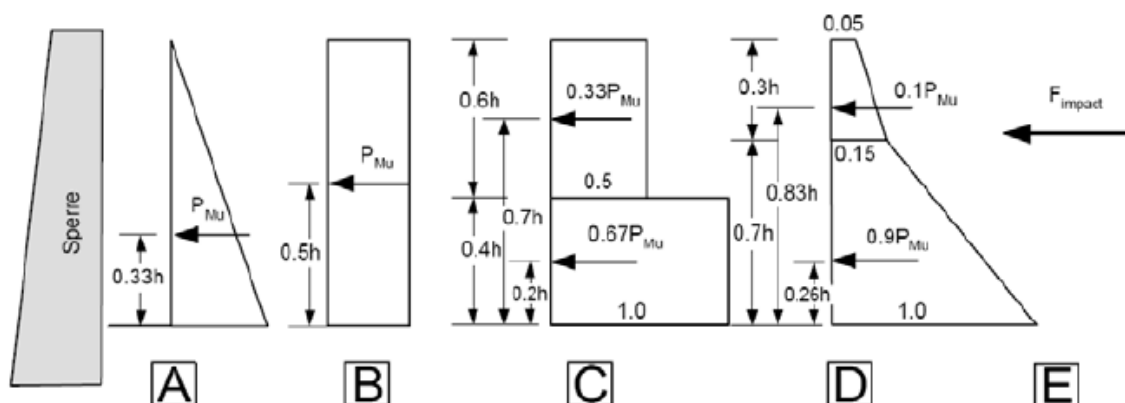
h_{wg} globina toka [m]

ρ_{wg} gostota drobirskega toka [kg/m³]

v hitrost toka [m/s]

Pretočnost toka opišemo s Froudovim številom. Zgornja enačba velja za tokove, katerih Froudovo število je med 1 in 15, kar pomeni, da gre za deroči tok.

Na spodnji sliki 27 so prikazani predlogi porazdelitve obtežbe drobirskih tokov. Pod A se nahaja trikotna razporeditev obtežbe, pod B pravokotna, pod C stopničasta, pod D se nahaja razporeditev obtežbe, ki predstavlja blatne tokove in pod E razporeditev obtežbe, ki predstavlja koncentrirano obtežbo trdnega predmeta (balvana,...).



Slika 27: Predlogi delovanja obtežbe drobirskega toka (pod A se nahaja trikotna razporeditev obtežbe, pod B pravokotna, pod C stopničasta, pod D razporeditev obtežbe, ki predstavlja blatne tokove in pod E razporeditev obtežbe, ki predstavlja koncentrirano obtežbo) [2]

4.5 Tehnična zaščita pred hudourniški procesi

4.5.1 Splošno

Hudourniške zaščitne konstrukcije (v nadaljevanju pregrade) po definiciji upoštevajo vse konstrukcije, ki so postavljene v povodje hudournika ali potoka za stabilizacijo posteljice in sosednjih pobočij, za reguliran izpust visokih voda, za filtracijo velikih predmetov (bloki skal, kamenja, lesa, ...), za disipacijo energije drobirskih tokov ter preusmeritev nevarnih vod od objektov ali območij, ki so v nevarnosti.

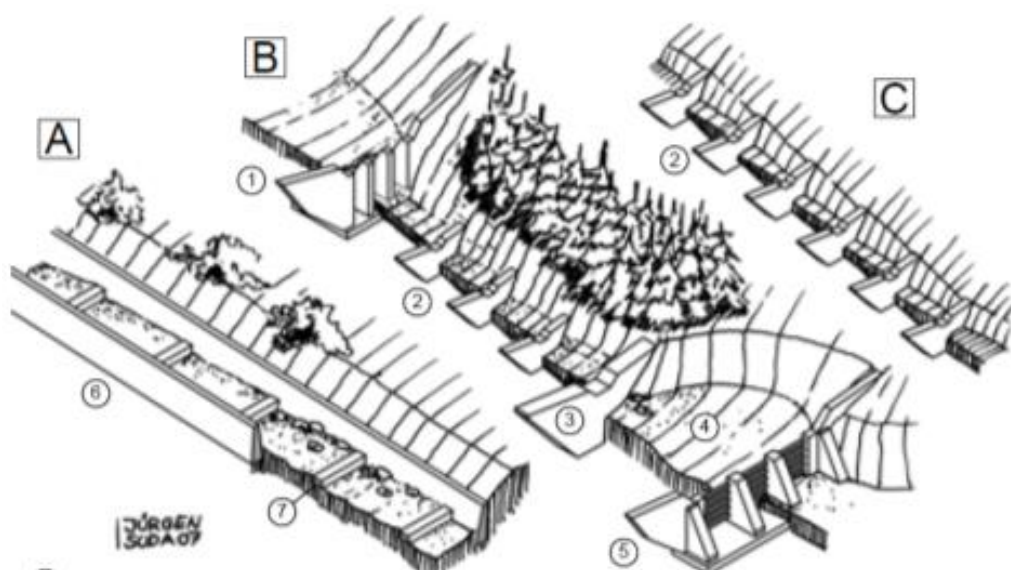
V Avstriji se je sistematična zaščita začela pred 125 leti. Do leta 1960 so bile zgrajene pregrade na izhodiščih iz sedimentacijskih območjih za preprečitev dosega večjih področij. Razvoj pregrad z velikimi režami in razpokami se je začel z uporabo armiranega betona v sedemdesetih letih. Pregrade za disipacijo energije drobirskih tokov so bile zasnovane v osemdesetih. Z upočasnitvijo in deponiranjem sprednjega dela drobirskega toka so dolvodni predeli struge in poselitvena območja izpostavljena bistveno manjšemu dinamičnemu vplivu [7].

Zaščita pred naravnimi nesrečami je zelo zapletena naloga. V najboljšem primeru lahko optimalno stopnjo zaščite dosežemo z integralnim sistemom zaščite. V skladu z ONR 24800 poznamo pasivne zaščitne ukrepe (kartiranje nevarnostih območij, zaščita stavb, ...) in aktivne zaščitne ukrepe (tehnični zaščitni objekti, vzdrževanje vodotoka,...) [7].

Zunanja oblika pregrade je v največji meri odvisna od funkcije pregrade v skladu s cilji zaščite ter procesov v hudournikih. Zaprte pregrade se uporabljajo predvsem za stabilizacijo in utrditev struge ter okoliških pobočij. Odprte stavbe (stavbe s odprtinami in režami) so sposobne izpolnjevati kompleksne funkcije. Uporabljajo se za podporo (zadrževanje), doziranje vode in sedimentov ter za zaustavitev drobirskih tokov.

Pregrade so izbrane na podlagi procesov, ki se pojavijo v hudourniku. Po ONR 24800 so povzeti hudourniški procesi. Te procese lahko razdelimo na sproženje, transport ter odlaganje. Značilnosti teh procesov so kratek čas sprožitve, kratko trajanje in povezava s predhodnimi pretiranimi vremenskimi razmerami (močan ali dolgotrajen dež). Poleg znanih rečnih premikov pride v hudournikih tudi do drobirskih premikov.

Strukturne zaščitne enote v hudournikih lahko razdelimo na regulacijske enote, stopenjske enote ter v funkcionalne verige. Strukturne enote si lahko pogledamo na sliki 28. Pod A so prikazani pragovi za stabilizacijo struge (regulacijska enota), pod B kombinacija večfunkcijskih pregrad v nizu (funkcionalna veriga) in pod C pregrade v nizu (stopenjska enota).



Slika 28: Primer tehnične zaščite v hudournikih (pod A se nahajajo pragovi za stabilizacijo struge, pod B kombinacija večfunkcijskih pregrad v nizu ter pod C pregrade v nizu) [13]

Pragovi za stabilizacijo struge predstavljajo zaprto konstrukcijo v kombinaciji s prečnimi in vzdolžnimi elementi za zaščito brežine ter struge. Tok se regulira s pragovi. Funkcija regulacije je zaščita dna struge ter brežin pred erozijo [13].

Kombinacija večfunkcijskih pregrad v nizu je serija zaščitnih konstrukcij drugačne oblike in funkcije, katerih glavni namen je zaščita pred enim ali več hudourniški procesi [13].

Pregrade v nizu je serija zaporednih pregrad s podobno obliko in funkcijo. Njihova funkcija je konsolidacija struge potoka, sedimentno zadrževanje ter disipacija energije [13].

S specialnimi pregradami lahko vplivamo na procese proženja, transporta ter odlaganja. Glede na naravo vpliva pregrade na zgornje tri procese lahko razdelimo zaščitne konstrukcije v več funkcionalnih tipov.

Preglednica 19: Funkcionalni tipi hudourniških pregrad po ONR 24800 [2].

Funkcija pregrade	Vplivni procesi	Področje uporabe	Princip ukrepanja	Obseg učinka
Stabilizacija	Odtok vode Rečni sedimenti transport	Celotni tok	Preventivni učinek	polni učinek za poplave, delni učinek za stabilnost pobočij
Konsolidacija	Odtok vode Rečni sedimenti transport Drobirski sedimentni tok Drobirski tok	Zgornji in srednji tok	Preventivni učinek	polni učinek za poplave, brez predhodnih vplivov
Zadrževanje	odtok vode zaradi dežja rečni sedimenti transport (občasno drobirski tok)	Srednji in spodnji tok	Direktni učinek	polni učinek za poplave, brez predhodnih vplivov
Doziranje	odtok vode zaradi dežja rečni sedimenti transport	Srednji in spodnji tok	Direktni učinek	delni do polni učinek za poplave, brez predhodnih vplivov
Filtriranje	rečni sedimenti transport drobirski sedimentni tok drobirski tok naplavljen les	Srednji in spodnji tok	Direktni učinek	delni do polni učinek za poplave, brez predhodnih vplivov
Disipacija energije	drobirski sedimentni tok drobirski tok	Srednji in spodnji tok	Direktni učinek	delni do polni učinek za poplave, brez predhodnih vplivov

Nadalje ONR 24800 deli pregrade v odvisnosti od funkcije, tipa konstrukcije ter statičnega sistema.

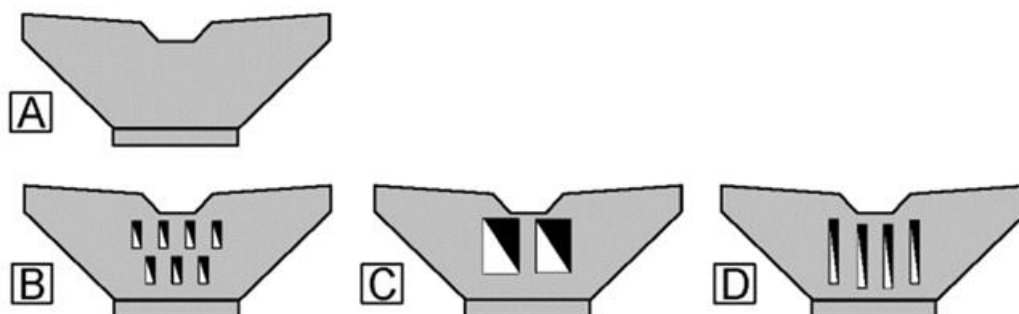
Preglednica 20: Osnovna razdelitev zaščitnih konstrukcij v odvisnosti od funkcije, tipa konstrukcije ter statičnega sistema [2].

Funkcija	Stabilizacija Konsolidacija		Zadrževanje (podpiranje)		Doziranje		Filtriranje		Disipacija energije	
	Konsolidacijska pregrada Prag Nizka pregrada Rampe		Zadrževalna pregrada		Dozirna pregrada		Filtrirna pregrada		Razbijač drobirskega toka Disipacijska pregrada Ustavitvena pregrada	
			Vodna - Sedimentna – Drobirska – zadrževalna pregrada		Vodna – Sedimentna – dozirna pregrada		Grobo sedimentna – Lesena – filtrirna pregrada			
Tip konstrukcije	Stenaste (zaprte) pregrade		Enostavne stenaste pregrade					Večkratne stenaste pregrade (kaskadne pregrade)		
	Odperte pregrade		Pregrade z zaprto krono					Pregrade z odprto krono		
			Pregrade z majhnimi odprtinami Pregrade z velikimi odprtinami					Pregrada z režami	Razčlenjene pregrade	Rešetasta pregrada Mrežasta pregrada Vrvna pregrada
Statični sistem	Težnostna pregrada	Obočna (ločna) pregrada	Ravne pregrade					Razčlenjene strukture		
			Enostavna pregrada	Stebrasta pregrada	Kotna pregrada	Težnostne		Okvirne		
						Razbijač drobirskega toka	Rešetasta pregrada (toga)	Mrežna pregrada (deformabilna)		

Najpomembnejša razlika pri tipih konstrukcij je ali je pregrada zaprta (polna) ali odprta (odprtine v telesu pregrade). Nadalje se odprte pregrade ločijo na tiste z odprtimi kronami oziroma tistimi z zaprtimi.

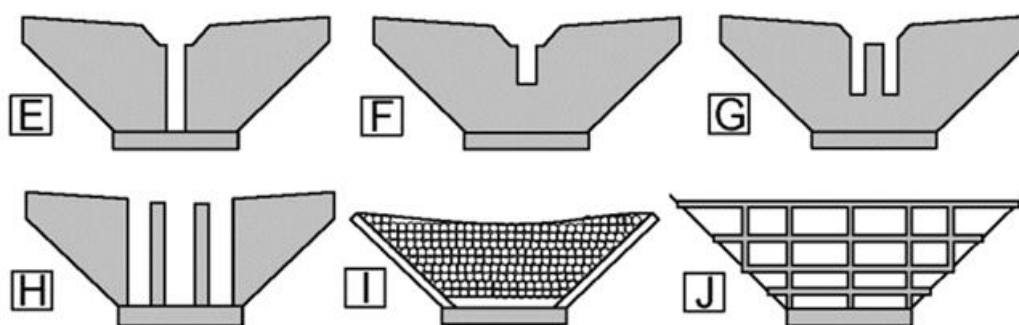
Namen posameznih tipov pregrad je zelo različen. Zaprte pregrade ter pregrade z zaprto krono so pogosto postavljene v verigo kot serija stopnic, tako da zmanjšujejo kinetično energijo hudournika ali plazu s prelivom preko krone pregrade (disipacijske pregrade). Namen odprtih pregrad, zlasti razčlenjenih, mrežastih in rešetastih, je zaustavitev plavja (les, balvani,...), medtem ko gredo manjši delci naprej.

V nadaljevanju so prikazani različni tipi pregrad.



Slika 29: Prikaz različnih tipov pregrad po konstrukcijski zasnovi (pod A se nahaja zaprta zadrževalna pregrada, od B do D pa so prikazane zadrževalne oziroma dozirne pregrade) [13]

Prva vrsta A predstavlja zaprto pregrado, druga vrsta od B do D predstavlja pregrade z odprtinami (manjše, večje, zarezne).



Slika 30: Prikaz različnih tipov pregrad po konstrukcijski zasnovi (od E do G se nahajajo zadrževalne oziroma dozirne pregrade, H predstavlja razčlenjeno, I mrežno ter J rešetasto pregrado) [13]

Vrsta E do G predstavlja pregrade z reži, H predstavlja razčlenjeno pregrado, I mrežno pregrado in J rešetasto pregrado.

Temeljna odločitev o primernosti določenega tipa konstrukcije sledi iz razmerij med vrsto funkcije, tipa konstrukcije ter statičnim sistemom. Kot pomoč projektantu pri izbiri primerne vrste pregrade se lahko uporabi funkcionalno-konstrukcijska matrika (glej preglednico 21).

Preglednica 21: Funkcionalno-konstrukcijska matrika za izbiro primerne vrste pregrade za zaščito hudournikov [2].

		Tip konstrukcije					
		Zaprte pregrade	Odprte pregrade				
			Pregrada z odprtinami		Pregrada z režami	Razčlenjena pregrada	Rešetasta pregrada
			majhne	velike			Mrežasta pregrada
						Vrvna pregrada	
Funkcija	Konsolidacija	Konsolidacijske pregrade					
	Zadrževanje	Sedimentno zadrževalna pregrada (Vodno zadrževalna pregrada)					
	Doziranje			Sedimentno dozirna pregrada			
	Filtriranje			Grobo sedimentna filtrirna pregrada Lesena filtrirna pregrada			
	Disipacija energije	Disipacijska pregrada				Razbijač drobirskega toka	

Funkcionalna matrika kaže, da se pregrade z zaprto krono ter pregrade z majhnimi odprtinami uporabljajo za pregrade, katerih glavni namen je konsolidacija ali zadrževanje. S povečevanjem deleža odprtín v primerjavi s celotno površino se funkcija spreminja v dozirne in filtrske pregrade.

V drugem koraku se preveri primernost statičnega sistema s konstrukcijsko-strukturno matriko (glej preglednico 22).

Preglednica 22: Funkcionalno-strukturna matrika za izbiro primerne vrste pregrade za zaščito hudournikov [2].

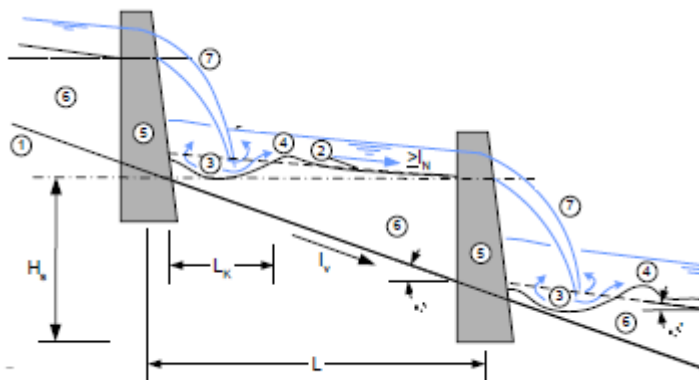
		Tip konstrukcije					
		Zaprte pregrade	Odperte pregrade				
			Pregrada z odprtinami		Pregrada z režami	Razčlenjena pregrada	Rešetasta pregrada Mrežasta pregrada Vrvna pregrada
			majhne	velike			
Statični sistem	Težnostna pregrada	Konsolidacijske pregrade Sedimentno zadrževalna pregrada Disipacijska pregrada	Sedimentno dozirna pregrada				
				Sedimentno filtrirna pregrada Lesena filtrirna pregrada			
					Razbijač drobirskega toka		
	Obočna (ločna) pregrada		Sedimentno dozirna pregrada				
	Ravne pregrade						
	Enostavne pregrade	Konsolidacijske pregrade Sedimentno zadrževalna pregrada Disipacijska pregrada					
	Stebraste pregrade		Sedimentno dozirna pregrada				
	Kotna pregrada			Sedimentno filtrirna pregrada Lesena filtrirna pregrada Razbijač drobirskega toka			
	Razčlenjena struktura						
	Težnostne					Sedimentno filtrirna pregrada Lesena filtrirna pregrada	
	Zalogovne						Sedimentno filtrirna pregrada Lesena filtrirna pregrada

V nadaljevanju so prikazani različni funkcijski tipi zaščitnih konstrukcij.

4.5.2 Stabilizacijske in konsolidacijske pregrade

Stabilizacija vključuje vse ukrepe, ki zaščitijo dno in brežino struge pred erozijo. Konsolidacija vključuje ukrepe, ki ščitijo pobočja nad konstrukcijo z zvišanjem dna kanala.

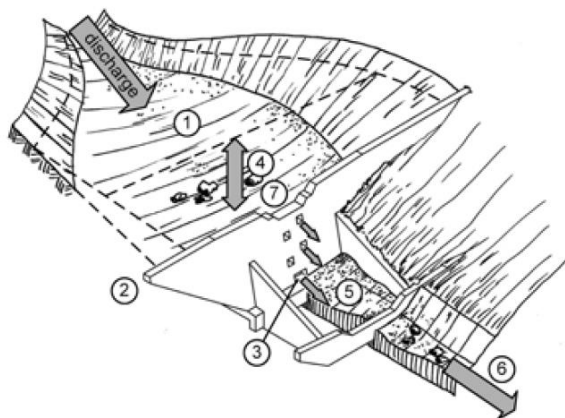
Poleg tega konsolidacijske pregrade ugodno vplivajo ena na drugo, saj omogočajo pritek naplavin, ki se preko krone odlagajo pred pregrado oziroma za naslednjo pregrado, s tem pa zmanjšujemo vzdolžni naklon struge med pregradami. S odlaganjem naplavin se stabilizira noga naslednje pregrade ter stabilizira bočna pobočja. Omenjene pregrade prav tako zavirajo erozijske procese. S zmanjševanjem kinetične energije se zmanjša njegova erozijska moč hudournika [13].



Slika 31: Prikaz delovanja stabilizacijskih pregrad [13]

4.5.3 Zadrževalne pregrade

Zadrževalne pregrade vključujejo pregrade, ki zadržujejo naplavine v naravnih ali umetnih zbiralnikih. Za zadrževanje se uporabljajo pregrade z majhnimi režami.



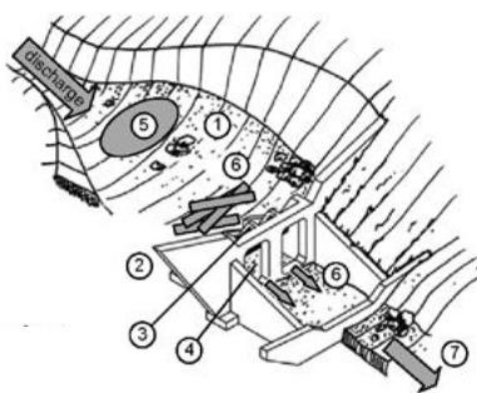
Slika 32: Prikaz delovanja zadrževalne pregrade [13]

Zadrževanje trdnih snovi vodi do bolj ali manj trajnega odlaganja naplavin. Zadržane naplavine je potrebno izkopati iz zadrževalnika, da lahko ohrani svojo primarno funkcijo. Ta koncept se uporabi na delih hudournika, kjer nima več zadostne transportne zmogljivosti. Koncept ni učinkovit pri direktni izpostavljenosti drobirskim tokovom [13].

4.5.4 Dozirne in filtrirne pregrade

Doziranje plavja pomeni začasno zadrževanje grobega plavja v času visokih vod ter nadzorovano razlivanje vode z zmanjšano energijo. Vmesno shranjevanje materiala je zasnovano za uravnoteženje nevarnosti ter zdravo vodno okolje [13].

Filtriranje vključuje vse vrste pregrad za selektivno zadrževanje plavja kot so balvani ali les. Filtrirne pregrade morajo biti zasnovane tako, da gre drobnnozrnato plavje skozi pregrado brez zadrževanja. Filtriranje mora biti omejeno na tiste predmete, ki bi v spodnjem toku povzročili zastoj pri mostovih ali zožitvah struge. Kot dozirne ali filtrirne pregrade se uporabljajo pregrade z velikimi režami. Ti tipi pregrad kontrolirajo proces transporta in odlaganja plavja [13].



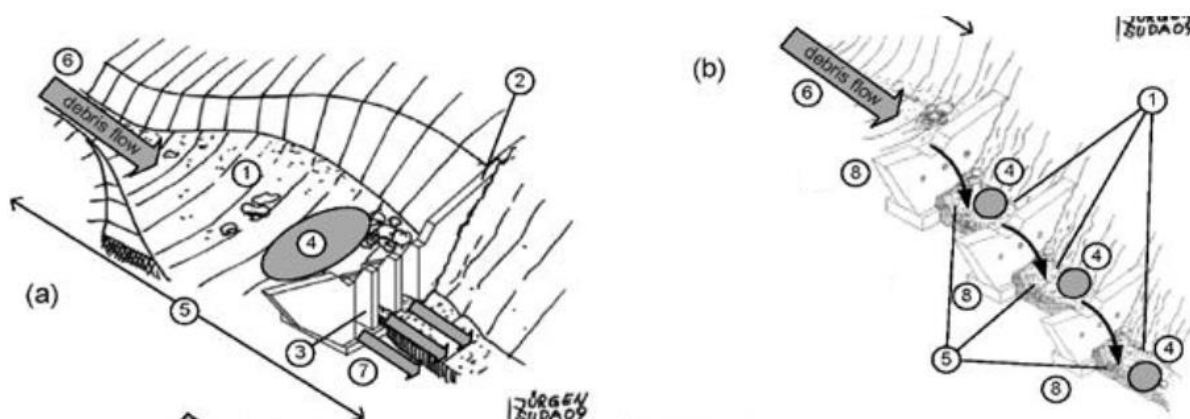
Slika 33: Prikaz delovanja dozirne in filtrirne pregrade [13]

4.5.5 Disipacijske pregrade

Disipacijske pregrade so zasnovane z namenom zmanjševanja energije drobirskega tokovom. Z upočasnitvijo in deponiranjem čela vala drobirskega toka sta dolvodna struga in poselitvena območja izpostavljena bistveno manjšemu dinamičnemu vplivu [13].

Funkcija disipacije energije drobirskega toka je lahko dosežena z zaviranjem toka (blokiranjem čela) ali transformiranjem procesa premikanja. Namen je dosežen z masivno konstrukcijo, ki direktno vpliva na drobirski tok (razbijač drobirskega toka) ali s pregrado, ki povzroči padec toka in izgubo energije v razlitvenem bazenu [13].

Funkcija razbijača drobirskega toka je dosežena v kombinaciji z zadrževalnikom. Drobirski tok vstopi v zadrževalni bazen. Del drobirskega toka se zadrži za pregrado. Zaradi nižjega naklona zadrževalnega bazena in pretočnosti pregrade se zmanjša kinetična energija toka. Razbijači drobirskega toka so zgrajeni iz armiranega betona in postavljeni najvišje v verigi varovalnih konstrukcij. Kombinacije razbijača drobirskega toka z drugo funkcijo pregrade na isti pregradi se je potrebno izogibati. Če ena konstrukcija ne zadošča, se funkcija porazdeli med več zaporednih razbijačev [13].



Slika 34: Prikaz delovanja razbijača drobirskega toka (levo) in disipacijskih pregrad (desno) [13]

Podobno je z disipacijskimi pregradami. Če ena konstrukcija ne zadošča, se funkcija porazdeli med več zaporednih pregrad.

4.6 Dimenzioniranje tehnične zaščite pred hudourniški procesi

4.6.1 Splošno

Projektiranje pregrade je predpisano v tehnični smernici ONR 20802 Zaščitne konstrukcije na hudournikih – Projektiranje, zasnova in konstruiranje. Smernica priporoča naslednje korake projektiranja, ki se morajo prilagoditi glede na posamezni primer.

4.6.2 Postopek dimenzioniranja

ONR 24802 za vsak korak projektiranja podaja poglavja, v katerih najdemo opis koraka oziroma na kaj se navezuje (drug ONR ali del evrokoda) ter kdo je za posamezni korak zadolžen/pristojen.

Preglednica 23: Postopek dimenzioniranja tehnične zaščite pred hudourniški procesi po ONR 24802 [16].

Korak	Naloga	Poglavje/sklic	Pristojnost
1	Določitev nevarnosti in možnosti poškodb	Načrt območja nevarnosti ali drugo poročilo	Hidrotehnik
2a	Določitev ciljev varovanja	ONR 24800:2009, poglavje 4.5.1.3	Investitor v dogovoru s hidrotehnikom
2b	Določitev projektnih stanj	Načrt območja nevarnosti ali drugo poročilo, ONR 24800:2009, poglavje 4.5.3.4, ONR 24800:2009, poglavje 4.7.1 in ONR 24802:2011, tabela 5.	Hidrotehnik v dogovoru z investitorjem
2c	Določitev koncepta varovanja s primerjavo potencialnih variant	ONR 24800:2009, poglavje 4.5.2.6	Hidrotehnik
3	Določitev funkcije pregrade	ONR 24800:2009, poglavje 4.6.3	Hidrotehnik

4	Določitev procesa dimenzioniranja in drugih posebnih vplivov (posebni primeri obremenitev)	Načrt območja nevarnosti ali drugo poročilo, ONR 24800:2009, tabela 3, ONR 24802:2011, poglavje 16.5 (posebni primeri obremenitev)	Hidrotehnik
5	Določitev kategorije objekta	ONR 24802:2011, poglavje 10	Hidrotehnik
6	Raziskave podlage (topografija, hidrologija, geologija, morfologija, gozdarstvo)		Hidrotehnik
7	Zasnova konstrukcije: umeščanje, opredelitev tipa, izbira dimenzij konstrukcije, določitev ključnih komponent.	ONR 24800:2009, poglavje 4.6, ONR 24800:2009, poglavje 5, ONR 24802:2011, poglavje 11.3 in 22.	Hidrotehnik
8	Hidravlični izračun	ONR 24802:2011, poglavje 12	Hidrotehnik
9	Določitev ustrezne geotehnične kategorije (GK)	ONR 24802:2011, poglavje 13	Hidrotehnik v dogovoru z geotehnikom
10	Določitev projektnih obremenitev in projektnih kombinacij (višina in porazdelitev obremenitev)	ONR 24802:2011, poglavje 16	Hidrotehnik v dogovoru z geotehnikom in statikom
11	Izvajanje geotehničnih preiskav glede na geotehnično kategorijo (GK), izdelava geotehničnega poročila	ÖNORM B 4402	Geotehnik
12	Določitev preostalih vplivov na podlagi geotehničnega poročila		Hidrotehnik
13	Določitev ustreznih obtežnih kombinacij	ONR 24802:2011, poglavje 16	Hidrotehnik v dogovoru z geotehnikom in statikom
14	Določitev ustreznih mejnih stanj in projektnih kombinacij	ONR 24802:2011, poglavji 14 in 17	Hidrotehnik v dogovoru s statikom
15	Dokaz nosilnosti in odpornosti	ONR 24802:2011, poglavji 20 in 21	Statik
16	Konstrukcijsko detajliranje	ONR 24802:2011, poglavji 20.5 in 22.	Hidrotehnik
17	Priprava načrtov		Hidrotehnik t
18	Preverjanje skladnosti z zahtevami v zaključku projektiranja		Hidrotehnik
19	Revizija projekta		Investitor

4.6.3 Določitev kategorije objekta

Po ONR 24803 je kategorija objekta podana za vsako varovalno konstrukcijo. Razlikujemo dve kategoriji objektov glede na obseg posledic funkcionalne ali strukturne okvare na sam varovalni sistem ali območje, ki ga varuje. Po ONR 24803 poznamo:

- standardne konstrukcije ter
- ključne konstrukcije [16].

Klasifikacija sledi principom v ÖNORM EN 1990 odvisno od obsega potencialnih posledic. V vsakem primeru se pregrade za zadrževanje, doziranje, filtriranje in disipacijo energije štejejo med ključne konstrukcije. Stabilnost in uporabnost teh stavb ima glavni vpliv na varnost celotnega varnostnega sistema [7].

Za kontrolo globalne stabilnosti (mejno stanje GEO) je pomembna tudi razvrstitev stavbe v razred zanesljivosti v skladu z ÖNORM EN 1990. Razred zanesljivosti dobimo iz povezave med vplivi na konstrukcijski sistem ter vplivom na varovano območje v primeru odpovedi pregrade. Korelacijo ponazarja spodnja tabela [16].

Preglednica 24: Razredi zanesljivosti stavb v skladu z ÖNORM EN 1990 [16].

	Vpliv na varovalno območje		
	visok	srednji	nizek
Vpliv na konstrukcijski sistem	gosto poseljena območja, centri, pomembna infrastruktura, regionalne ceste, visoka stopnja ljudi ki so izpostavljeni tveganju	ohlapno poseljena območja, enotni objekti, srednja stopnja ljudi ki so izpostavljeni tveganju	gospodarska poslopja, podrejena infrastruktura, majhna stopnja ljudi ki so izpostavljeni tveganju
visok (vpliv na celotno stavbo – niza stavb)	CC3	CC3	CC3
srednji	CC3	CC3	CC2
nizek (lokalni učinek, brez učinka na ostale objekte)	CC3	CC2	CC1
Opomba: Razred CC3 pomeni stavbo ključnega pomena.			

4.6.4 Mejno stanje nosilnosti

Za dimenzioniranje tehnične zaščite pred hudourniški procesi veljajo enake kontrole mejnih stanj (EQU, GEO, STR, UPL, HYD) kot pri zaustavitveni pregradi v poglavju 3.7.3.

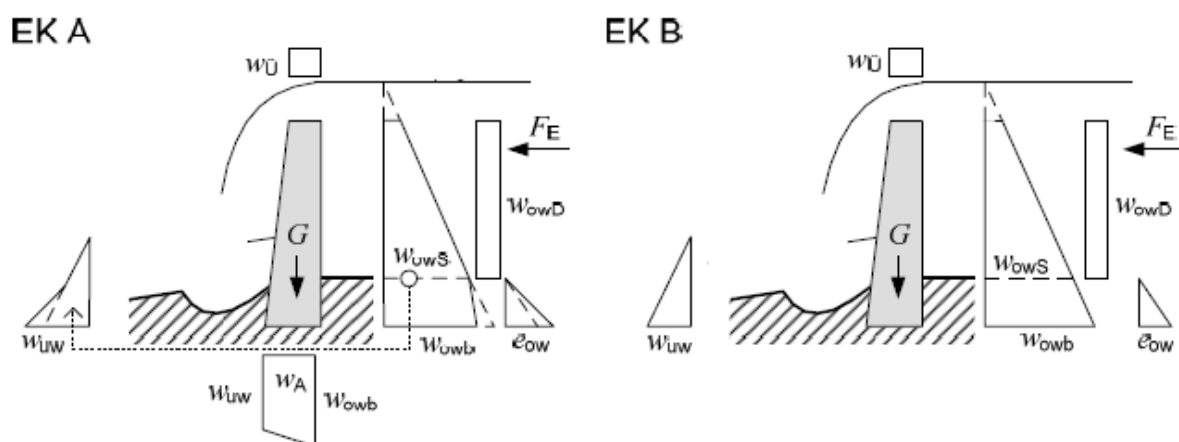
4.6.5 Kombinacije vplivov

Za kombinacije vplivov veljajo enako zahteve, kot pri zaustavitveni pregradi v poglavju 3.7.4.

V nadaljevanju so prikazane obtežne kombinacije po ONR 24802, katere je potrebno upoštevati pri hudourniški tehnični zaščiti.

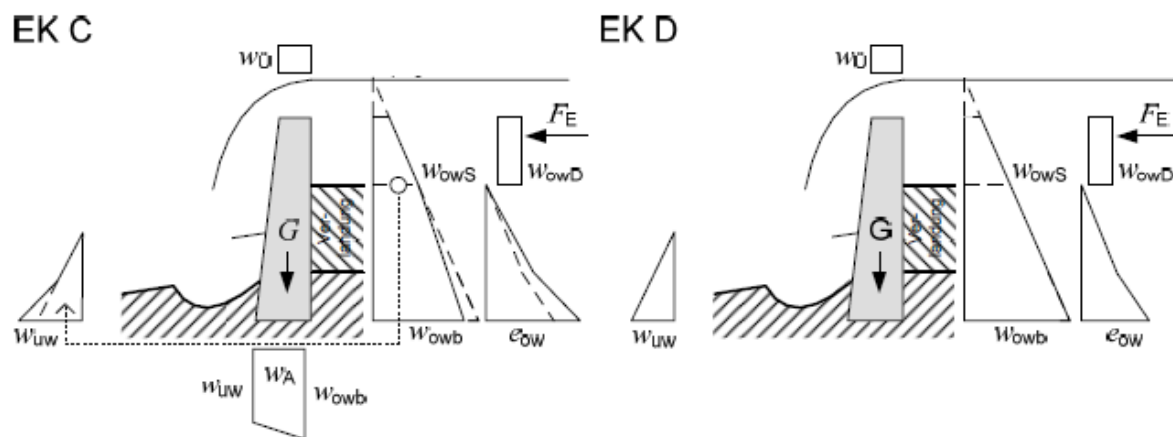
4.6.5.1 Kombinacije vplivov

Potrebno je poudariti, da se plaz in potres ne kombinirata med seboj. Prav tako se obtežba vetra ne kombinira z obtežbo plazu. V primeru snežnega plazu je potrebno kombinirati obtežbo snega in snežni plaz. ONR 24802 podaja obtežne kombinacije s poudarkom na vodnih premikih (kombinacije A do F) ter kombinacije s poudarkom na drobirskih premikih (kombinacije G do L). Kombinacije se med seboj razlikujejo po višini zapolnitve zadrževalnika (prazno, delno zapolnjeno, polno) [16].



Slika 35: Obtežna kombinacija brez zapolnitve, A ali B z ali brez pronicanja pod pregrado [16]

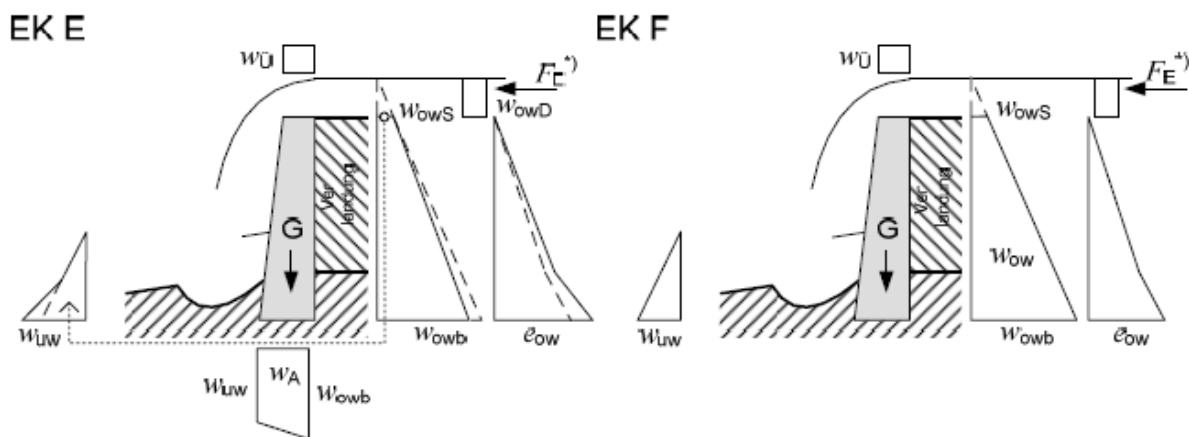
V obtežni kombinaciji A v stanju pred zapolnitvijo hidrostatski vodni pritisk zaledne vode W_{ows} deluje na pregrado. Če se pod pregrado pojavi pretok vode (pronicanje) oziroma talna voda, se v obtežni kombinaciji upošteva silo vzgona w_A , ki deluje na pregrado. Vzgon zmanjša stabilnost pregrade. Dolvodni pritisk w_{uw} na pregrado se ne sme upoštevati kot odpornost za pregrado. Obtežne kombinacije se uporabljajo pri dozirnih in zadrževalnih pregradah.



Slika 36: Obtežna kombinacija z delno zapolnitvijo, C ali D z ali brez pronicanja pod pregrado [16]

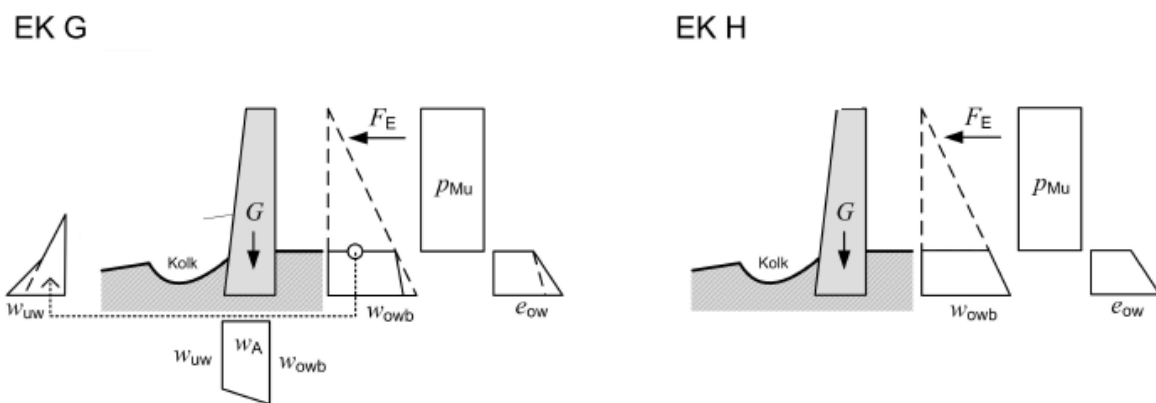
V obtežnih kombinacijah C in D je upoštevana delna zapolnitev pregrade. Višina je odvisna od intervala vzdrževanja. Obtežne kombinacije se uporabljajo za konstrukcijske faze.

Obtežni kombinaciji E in F predstavljata polno zapolnjeno pregrado. Obtežba deluje samo zgoraj nad zamuljeno pregrado, zlasti na krilih.



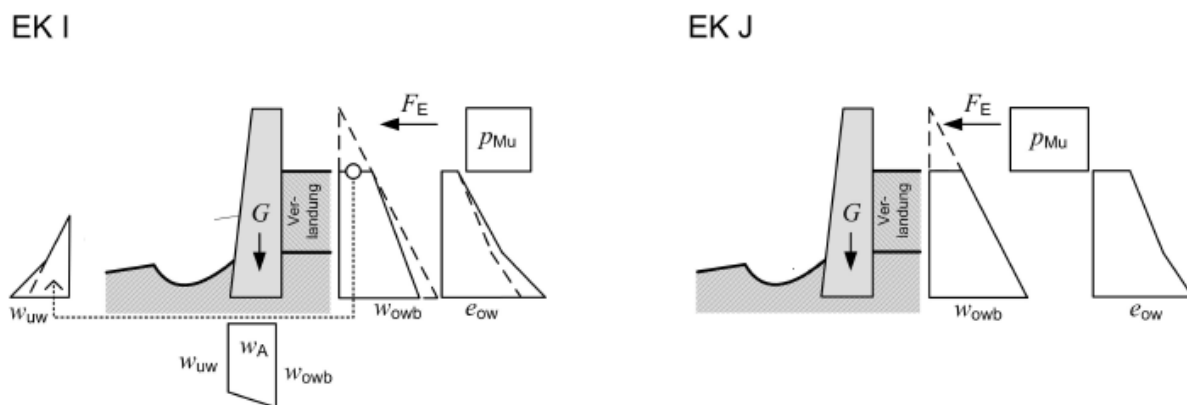
Slika 37: Obtežna kombinacija s polno zapolnitvijo, E ali F z ali brez pronicanja pod pregrado [16]

Najvišja obtežba na pregrado je seveda pri drobirskem toku. Če je možnost take obremenitve, se uporabijo obtežne kombinacije od G do L. Obtežni kombinaciji G in H delujeta pri praznem zadrževalnem bazenu (npr. razbijač drobirskega toka), zato je višina obtežbe in razporeditev določena. Pri obtežni kombinaciji G drobirski tok deluje tudi na pronicanje pod pregrado, zato se upošteva silo vzgona, medtem ko pri obtežni kombinaciji H vzgona ne upoštevamo (drenirana tla).

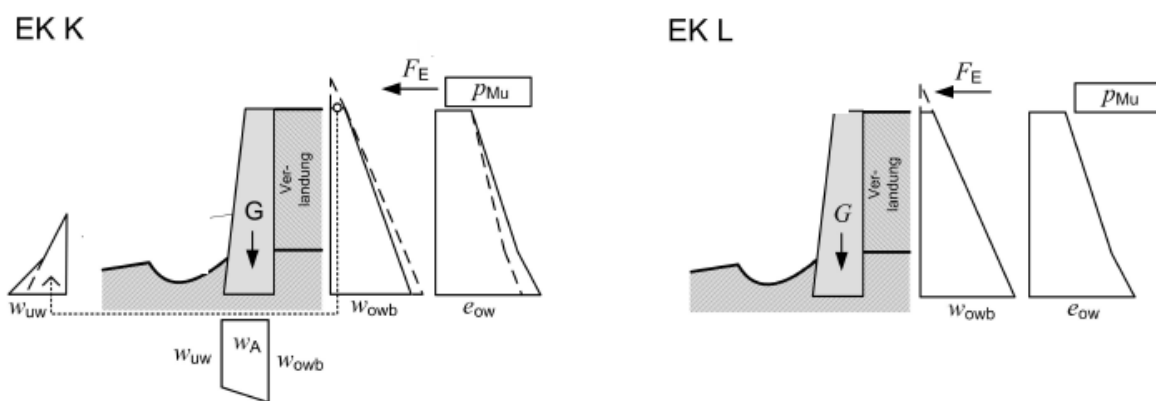


Slika 38: Obtežna kombinacija brez zapolnitve, G ali H z ali brez pronicanja pod pregrado [16]

Podobno se pojavi pri obtežnih kombinacijah I do L.

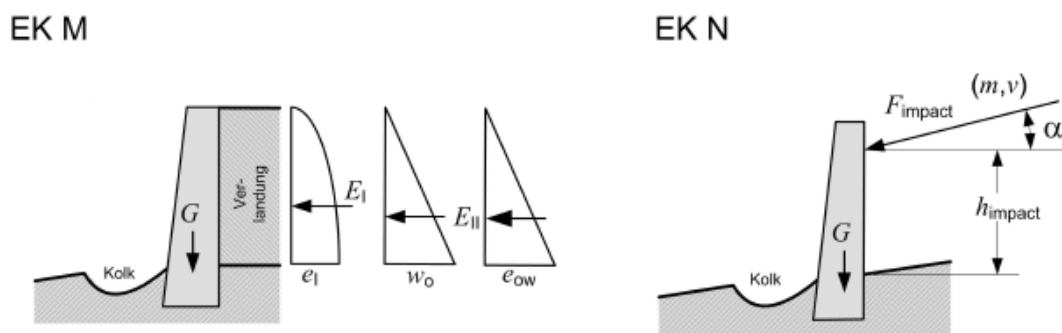


Slika 39: Obtežna kombinacija z delno zaplnitvijo, I ali J z ali brez pronicanja pod pregrado [16]



Slika 40: Obtežna kombinacija s polno zaplnitvijo, K ali L z ali brez pronicanja pod pregrado [16]

Obtežna kombinacija M upošteva vpliv potresa. Pri tem se dinamično aktivira zapolnjena zemljina za pregrado E_I in hidrostatski pritisk vode E_{II} ter zemeljski pritisk zemljine E_{ow} . Za dodatna navodila za izračun potresa je na voljo priloga B k ONR 24802. Obtežna kombinacija N upošteva vpliv skalnega podora. Ostajata še kombinacija O, ki upošteva plazove ter kombinacija P, ki upošteva bočni pritisk zemljine.



Slika 41: Obtežna kombinacija M z vplivom potresa ter N z vplivom skalnih podorov [16]

Ustrezne kombinacije so definirane za posamezne konstrukcije. V naslednjih tabelah so podane obtežne kombinacije v skladu z ustreznim projektnim scenarijem, funkcijo in projektnim stanjem. Potrebno je razlikovati med poplavami in drobirskim tokom.

Za dimenzioniranje konstrukcij v vodotokih brez drobirskega toka se uporabi spodnja preglednica 25 s pomočjo katere se razberejo obtežne kombinacije, ki jih je potrebno upoštevati v izračunu.

Preglednica 25: Merodajne obtežne kombinacije v odvisnosti od funkcije pregrade in projektnega stanja za pregrade brez drobirskega toka [16].

Funkcija	Projektno stanje		
	Stalno projektno stanje	Začasno projektno stanje	Nezgodno projektno stanje
	Obtežna kombinacija		
Stabilizacija Konsolidacija	E ali F ^a	A ali B ali C ali D v fazi gradnje	Glede na situacijo so možei naslednje obtežne kombinacije M,N,O,P
Zadrževanje	A ali B	E ali F pri začasno blokiranih odprtinah in sočasnem zasipu	
Doziranje			
Filtriranje			
^a morajo zadržati stalni pritisk pobočja			

Za obtežne kombinacije s poudarkom na drobirskih premiki velja preglednica 26.

Preglednica 26: Merodajne obtežne kombinacije v odvisnosti od funkcije pregrade in projektnega stanja za pregrade z drobirskim tokom [16].

Funkcija	Projektno stanje		
	Stalno projektno stanje	Začasno projektno stanje	Nezgodno projektno stanje
	Obtežna kombinacija		
Stabilizacija Konsolidacija	E ali F ^a	K ali L v začasnem obratovalnem stanju B ali H v fazi gradnje	Glede na situacijo so možne naslednje obtežne kombinacije M,N,O,P
Doziranje	A ali B	G ali H in I ^b ali J ^b	
Filtriranje			
Disipacija energije (sprememba toka)	K ali L	I ali J ali G ali H pri fazi gradnje	
Disipacija energije (zadrževanje)	A ali B, G ali H	I ^b ali J ^b	
^a morajo zadržati stalni pritisk pobočja			
^b upošteva drobirski tok na že naložen drobirski tok			

4.6.6 Delni faktorji

Mejna stanja EQU, GEO in STR imajo enake delne faktorje za vplive, učinke vplivov, odpornosti in strižne karakteristike, kakor je navedeno v poglavju 3.7.5.

4.6.7 Mejno stanje uporabnosti

Za dokaz mejnega stanja uporabnosti veljajo enaki dokazi kot pri dimenzioniranju zaustavitvenih pregrad, poglavje 3.7.6.

4.7 Konstrukcijsko detajliranje

Konstrukcijsko detajliranje je opisano v ONR 24802 za posamezne tipe pregrad. Za pregrade z zaprto krono predpisuje uporabo zaščitnih plošč za prelivno krono. Nadalje predpisuje geometrijo krone ter zarez na podlagi prečnega profila struge, minimalno armaturo, največjo velikost armaturnih palic, negovanje betona, izdelava delovnih fug, betoniranje v različnih vremenskih razmerah, transport betona, vgradnja in vodotesnost betona, zaščita pred abrazijo...

5 PRIMER PROJEKTIRANJA HUDOURNIŠKE PREGRADE

5.1 Uvod

Predmet te diplomske naloge je armiranobetonska hudourniška pregrada v južnem delu Avstrije, natančneje v mestu Sankt Andrä (zahodna Tirolska), katere glavni namen je zaščita pred snežnimi plazovi oziroma manj verjetnim drobirskim tokom. Mesto leži v vzhodnem delu Alp, posledično ga ogrožajo snežni plazovi.

V dolini potoka Timmelbach, severno od mesta Sankt Andrä je na nadmorski višini 1.425 m načrtovana hudourniška pregrada.



Slika 42: Lokacija predvidene hudourniške pregrade; spodaj mesto Sankt Andrä [23]

Pri omenjenem plazu je možen zdrs ploskve velikosti 15 ha. V najhujšem scenariju se lahko mobilizira 250.000 m³ snega, od tega 130.000 m³ neposredno grozi mestu Sankt Andrä. V nevarnem območju plazu se nahaja 88 stavb. Leta 1951 se je sprožil plaz, ki je prodril v center mesta. Eno oseba je umrla v kapeli, hkrati je bilo uničenih veliko hiš in poslovnih prostorov [21].

Za zaščito območja je tako predvidena izgradnja jeklenih snežnih mostov, konstrukcij za regulacijo vetrnega toka, hudourniška pregrada (razbijač drobirskega toka) ter dve zbirni zemeljski pregradi na levi in desni strani potoka Timmelbach. Velik del snežnega plazu bo oviran na samem splazitvenem območju s snežnimi mostovi. Preostali plaz pa se preko hudourniške pregrade in dveh zemeljskih zbirnih pregrad odloži v predvideno območje oblaganja [21].

Hudourniška pregrada deluje kot razbijač drobirskega toka in zagotavlja zaščito pred hudourniški procesi. Hudourniška pregrada je postavljena v tlačno cono poti plazu. Njena naloga je zmanjševanje hitrosti plazu (disipacija energije) s čimer omogoči neškodljivo odlaganje za zbirni zemeljski pregradi. Predvideno je povečanje volumna odlaganja za zbirnima pregradama s izkopom [21].

5.2 Geomehanski podatki

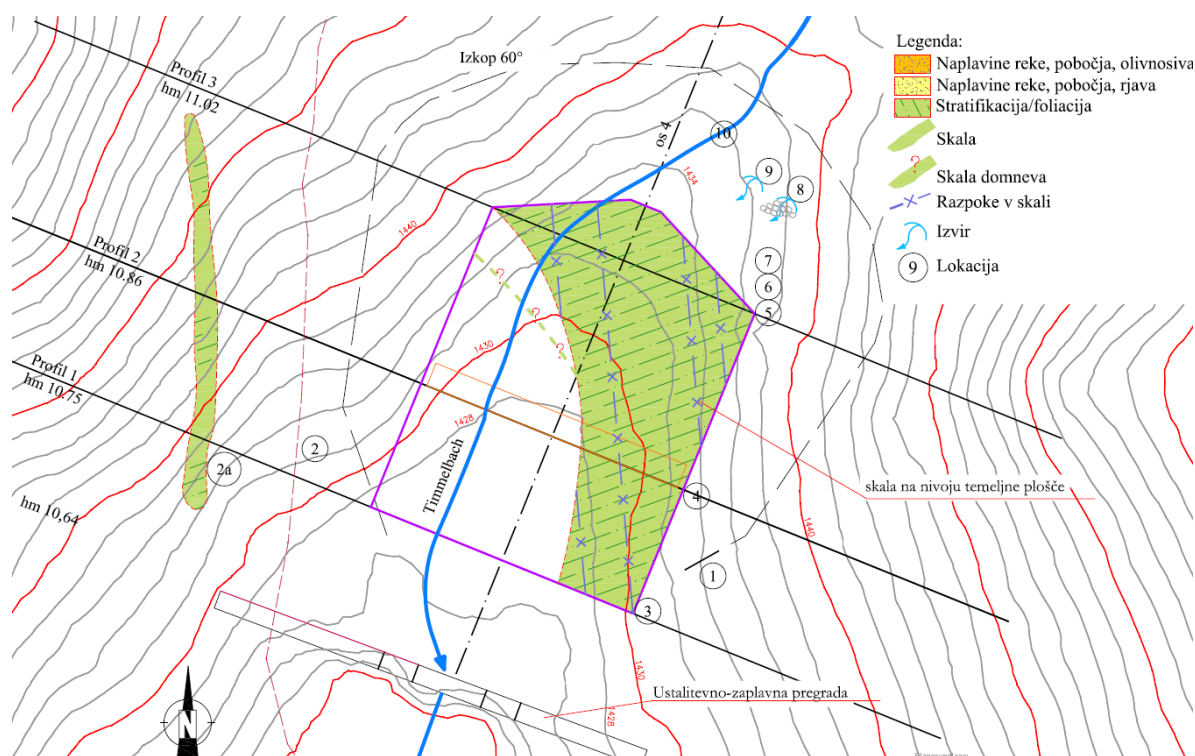
5.2.1 Splošno

Na območju predvidene pregrade so bila izdelana naslednja geološko – geomehanska poročila:

- Forsttechnischer dienst für Wildbach und Lawinenverbauung (*Geofizikalno poročilo s topografskimi podatki za območje predvidene pregrade*), št. 001084.01, Pöry Infra GmbH, februar 2012,
- Lawinenbrecher Timmelbach, Gemeinde Prägraten (*Pregrada Timmelbach, občina Prägraten*), št 3496/22_2011, Wildbach und Lawinenverbauung, april 2011,
- Begehungsprotokoll (*Geomehansko poročilo*) Nr. 01-2012, GWU Geologie-Wasser-Umwelt GmbH, september 2012,
- Seismische Erkundung, Dyn. Steifigkeit (*Seizmično raziskovanje, dinamična togost*), št. 001084.01, Pöry Infra GmbH, september 2012.

5.2.2 Povzetek geomehanskega poročila

Geološko se projektirana pregrada nahaja na področju skrilavca. Primarna kamnina je zgrajena iz zelenega skrilavca (prasinit). Skrilavec spada med metamorfne kamnine.



Slika 43: Geološka situacija na mestu predvidene pregrade

V času raziskave terena je bilo opravljenega že 2/3 predvidenega izkopa. Na ogledu je bil nivo temeljne plošče poplavljen in pokrit z rečnimi naplavinami. V večini delov izkopane jame na zahodni strani, kakor tudi na meji brežine na severu in vzhodu so vidni manjši vdori. Območje je sestavljeno iz razkrojenega zelenega skrilavca. Iz razpok in strižnih ravnin se razbere visoka stopnja zaporednega razkrajanja plasti.

V vzhodni brežini najdemo ortogonalno slojevitost. Prav tako je v vzhodni brežini povečana skalna podlaga, glede na morfologijo iz juga (lokacija 1 pri profilu 1 je cca 2 m nad nivojem temeljne plošče), proti severu (lokacija 6 pri profilu 3 je cca 12 m nad nivojem temeljne plošče).

Približno 5 m severneje od profila 3 (lokacija 8) se v pobočju na meji med skalo in rečnim materialom pojavi izvor vode s kapaciteto cca. 0,3 l/s. Da bi preprečili povečano izpiranje rečnega materiala, je bilo območje zavarovano s kamnitimi bloki. Nekaj metrov naprej vzhodno se v jarku (lokacija 9) nahaja drugi izvir s kapaciteto 0,25 l/s. Oba vira in sam potok Timmelbach so regulirani s pomočjo naplavin reke.



Slika 44: Na levi sliki je prikazan izkop na vzhodni strani gradbene jame, desno pa je prikazana gradbena jama v smeri JZ

Cela severna brežina na vzhodni strani, kakor tudi struga potoka, je iz skale (zeleni skrilavec). V dosedaj izkopanem ravninskem delu je bila vselej najdena razpokana skala, v zadnjem delu pa so se pojavile večje skale, zaradi česar bager ni mogel nadaljevati izkopa (potrebno pnevmatsko kladivo). Skalna podlaga poteka z naklonom terena, tako da doseže najnižjo točko v profilu 1 v kotu SZ, približno 5-6 m pod sedanjo raven izkopa.

V vzhodnem pobočju izkopa se nahaja skala s spremenljivo debelim slojem deluvija (sedimenti pobočij, nakopičeni s površinskim spiranjem v cono akumulacije). Gre za mešanico iz meljasto prodnega peska z velikimi kamni in bloki. Te naplavine imajo praviloma rjavo ali sivo-rjavo barvo. Sestavljeni so pretežno iz zelenega skrilavca, ki so predvsem kvadratni, pojavijo pa se tudi zaobljeni.

Na zahodni strani najdemo na pobočju ob gozdu preoblikovane skale (zeleni skrilavec) z istim vzorcem kot pri kamninah na vzhodni strani. Večji del roba pobočja je pokrit z velikimi rečnimi naplavinami. Te naplavine so nastale kot aluvialne, kot mešanica zrnatega dna iz močno prodnega, meljastega peska s spremenljivim deležem kamna in blokov. Sestavine teh pretežno olivno-zelenih rečnih sedimentov predstavljajo predvsem zeleni skrilavec (kamni, bloki), kakor tudi temni robovi filita (sedimentna kamnina).

Zaradi obstoječih lavinskih pregrad na tem območju je bila pot rečnim naplavinam ustavljena. Rečni material se je odlagal vse do vznožja hriba. Posledično so lokalno brežine na nekaterih delih krhke, nestabilne. Potok Timmelbach poteka vse od vznožja hriba, zato pri večjih nivojih vode prihaja do erozije v akumulacijskih conah oziroma lahko pride do nestabilnosti v pobočju. Celotno območje na zahodni strani je v trenutnem stanju nestabilno.



Slika 45: Na levi sliki je prikazan potok Timmelbach na območju gradbene jame, na desni pa zahodno pobočje gradbene jame

Ocenjevanje parametrov zemljine:

Po podrobni analizi geološko - geotehničnih pogojev so bile določene naslednje karakteristike zemljine kot podlaga za statično analizo.

Preglednica 27: Karakteristike zemljine (prostorninska teža, kohezija, strižni kot,...) iz geomehanskega poročila.

Parametri zemljine	Skala	Rečne naplavine (prod, melj, pesek)
Strižni kot	$\varphi = 30^\circ$	$\varphi = 30^\circ$
Kohezija	$c = 100 \text{ kPa}$	$c = 0 \text{ kPa}$
Gostota	$\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$	$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
Elastični modul	$E = 150 \text{ MPa}$	$E = 50 \text{ MPa}$
Trenje po plašču za sidra	250 kN/m^2	200 kN/m^2

Gradbene zahteve:

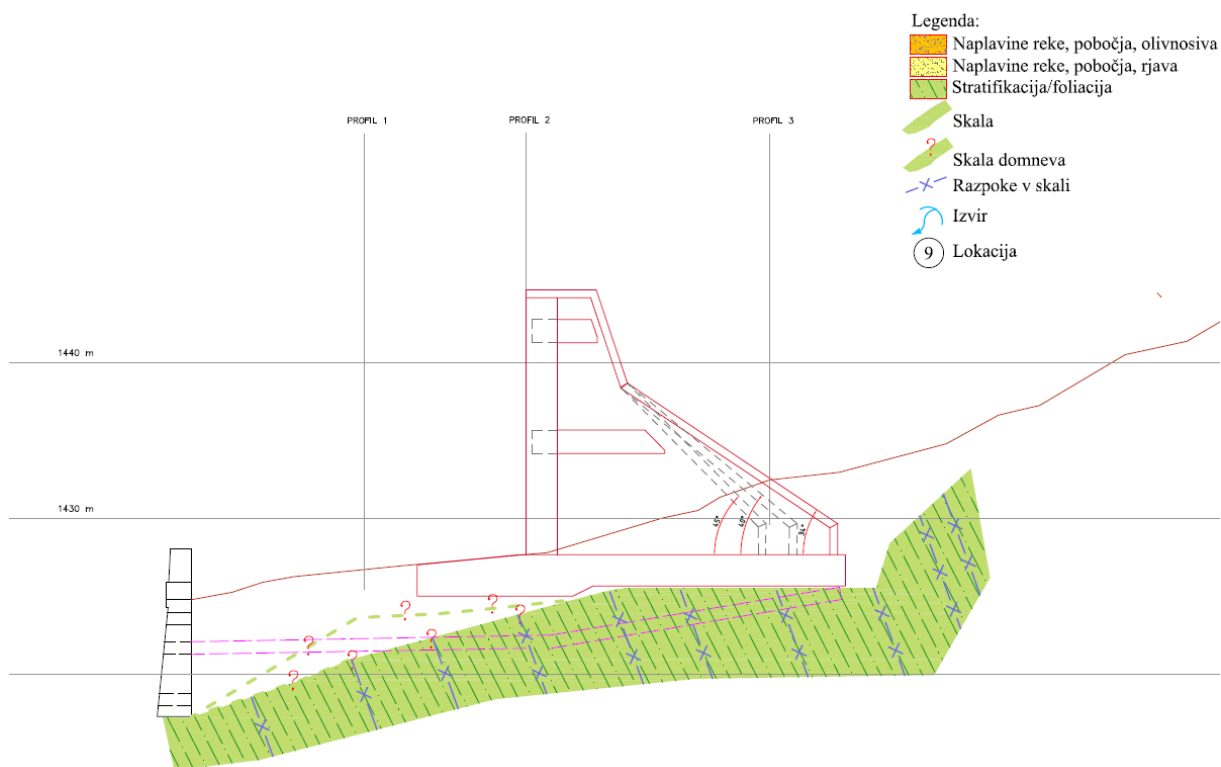
Pobočje gradbene jame na zahodni strani je trenutno na območju skale oblikovano v 70° naklonu. Zaradi višine izkopa, strukture zelenega skrilavca in geotehničnih lastnosti rečnega materiala se to področje ne obravnava kot trajno stabilno, zato priporočamo ustrezne varnostne ukrepe, npr. izkopavanje pod določenim kotom, brizgani beton ali sidra.

Ker je stabilnost brežine na zahodni strani gradbene jame brez dodatnega varovanja nezadostna, je potrebno na tem delu pripraviti projekt za zaščito in varovanje gradbene jame. Primerno varovanje se na podlagi pretežno rečnih sedimentov zdi varovanje s pomočjo brizganega betona ali sider. S tem zagotovimo tudi ustrezno bočno povezovanje.

Pred pripravo temeljnih tal je potrebno strugo potoka ustrezno varovati, da ne pride do poplav pri pripravi samih tal. Rečne sedimente na zahodni strani je potrebno pred pripravo temeljnih tal odstraniti.

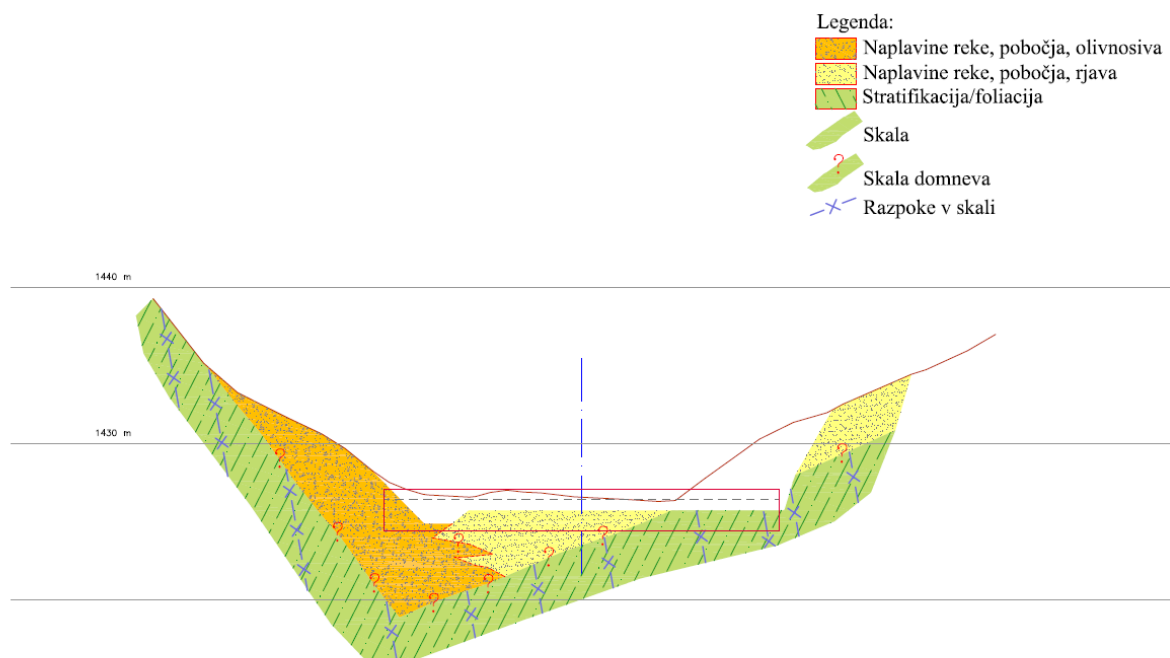
5.2.3 Geološko geotehnični profili

V nadaljevanju so podani geotehnični profili iz geomehanskega poročila in sicer prečni profili pred pregrado, na sredini ter za pregrado ter vzdolžni profil preko sredine pregrade.

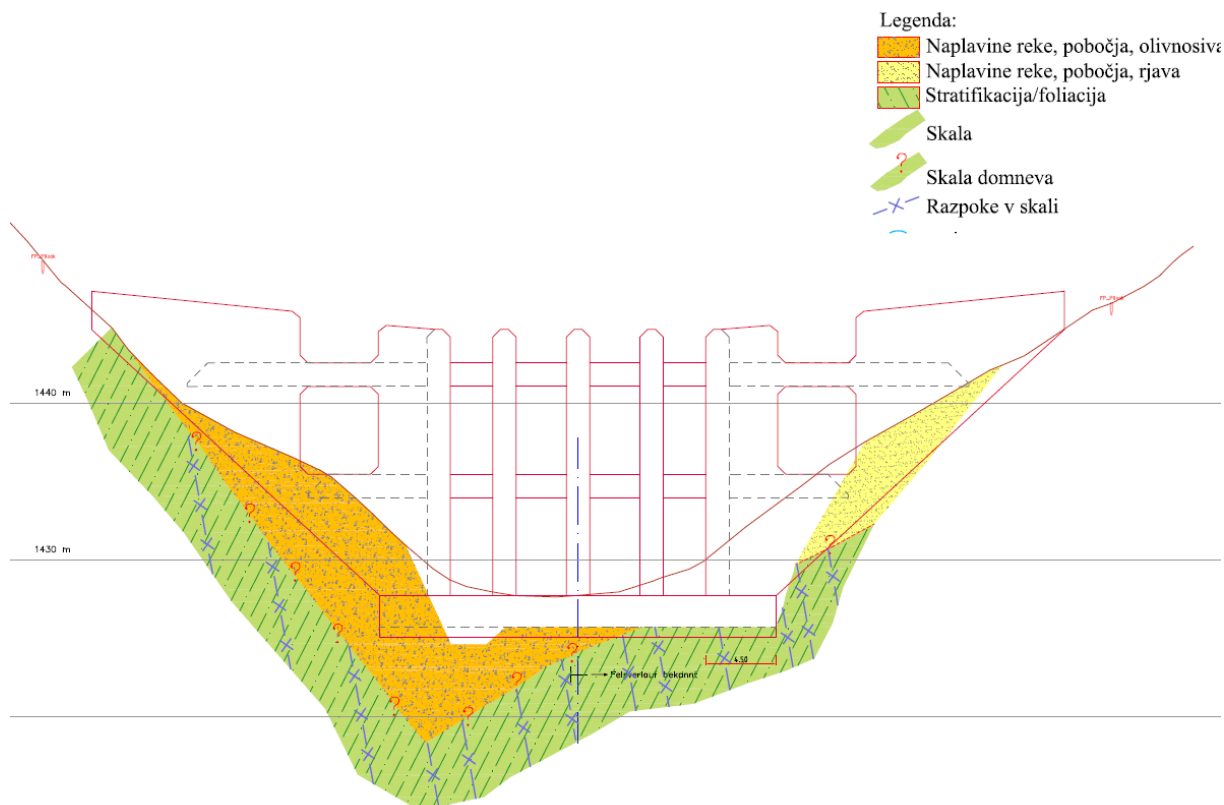


Slika 46: Vzdolžni geotehnični profil preko sredine pregrade

Na sliki 46 je viden potek temeljne hribine vzdolž pregrade. Pred pregrado ima skalna podlaga najnižjo točko. Okoli 5 m pod pregrado se pojavi skala.

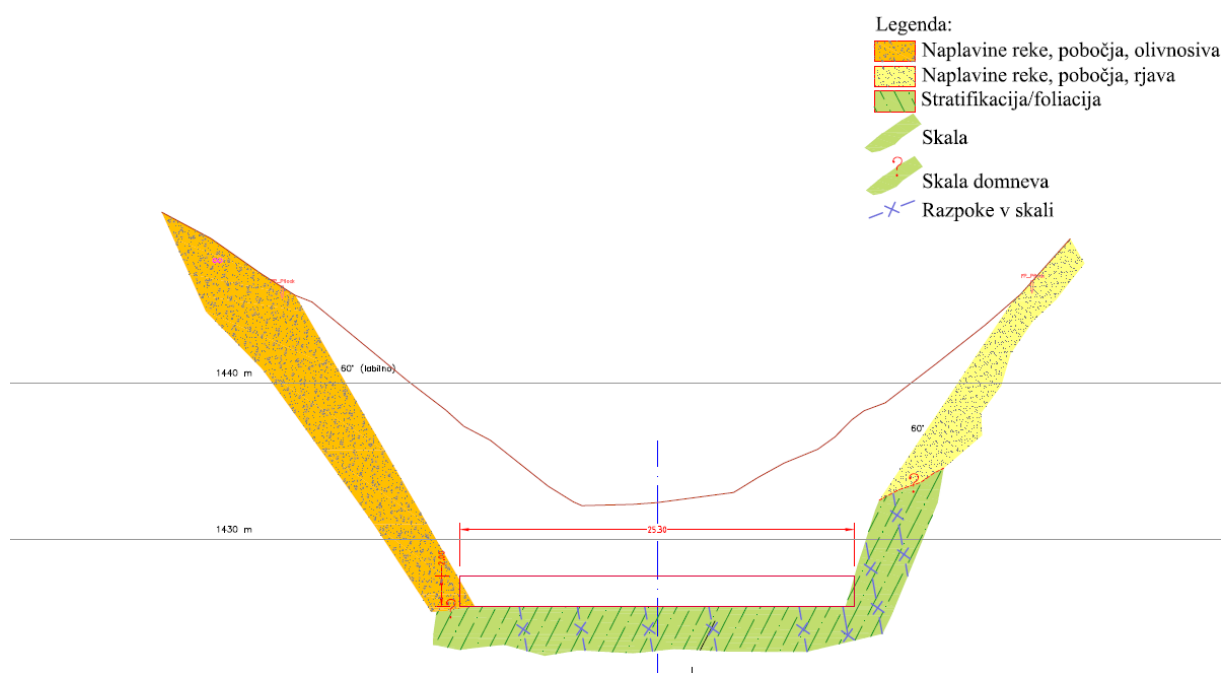


Slika 47: Prečni geotehnični profil št. 1



Slika 48: Prečni geotehnični profil št. 2

Iz geotehničnih profilov je razvidno, da se na geografski desni strani temeljnih tal nahajajo naplavine (oranžna, rumena) hudournika Timmelbach. Geomehansko poročilo pravi, da je potrebno te naplavine odstraniti pred samo izgradnjo. Analiza v nadaljevanju je pokazala, da je potrebno ta material zamenjati. V projektu so tako predvidena zamenjava s pustim betonom z dodatkom skal z izkopa na vzhodni strani gradbene jame. Zamenjavo tega materiala zahteva tudi geomehansko poročilo. S tem se izognemo eroziji temeljev in spiranje zemeljske podlage. Pri gradnji je predvidena korekcija kril do skalne podlage za preprečitev odtekanja pregrade na bokih in posledično notranje erozije v zemeljski podlagi.



Slika 49: Prečni geotehnični profil št. 3

5.3 Zasnova konstrukcije

5.3.1 Splošno

Zasnova konstrukcije temelji na izbiri ustrezne lokacije objekta, tipa pregrade, dimenzij objekta ter določitvi ključnih delov in odprtih pregrade. Prav tako je pomembna za zasnovo izbira globalnega koncepta varovanja od območja slazitve do območja odlaganja.

5.3.2 Izbira lokacije

Sama lokacije pregrade mora na podlagi ONR 24802 slediti naslednjim kriterijem:

- lokacija do območja, ki ga varujemo,
- geotehnične – geološke razmere (talne razmere, naklon brežin),
- učinkovitost konstrukcije v smislu funkcije,
- vpliv in mesto pregrade v skupini ukrepov,
- možnosti odlaganja materiala za pregrado,

- zagotavljanje stabilnosti, uporabnosti in trajnosti zaščitne konstrukcije,
- dostopnost pregrade (za inšpekcijski pregled, vzdrževanje in odstranitev),
- tveganje pri posebnih obtežnih primerih.



Slika 50: Niz ustalitveno-zaplavnih pregrad na območju predvidene pregrade [23]

V dolini potoka Timmelbach, severno od mesta Sankt Andrä je na nadmorski višini 1.425 m locirana hudourniška pregrada. Pregrada ima zagotovljen dostop. Locirana je nad obstoječe ustalitveno-zaplavne pregrade. Ker gre v našem primeru za niz varovalnih konstrukcij in ker so na tem območju že postavljene pregrade, je bila edina možnost postavitve nad njih, tudi zaradi njene funkcije. Prav tako bi bila postavitve nižje, za obstoječe pregrade predaleč od izvora, tako pa bi bil njen učinek manjši.

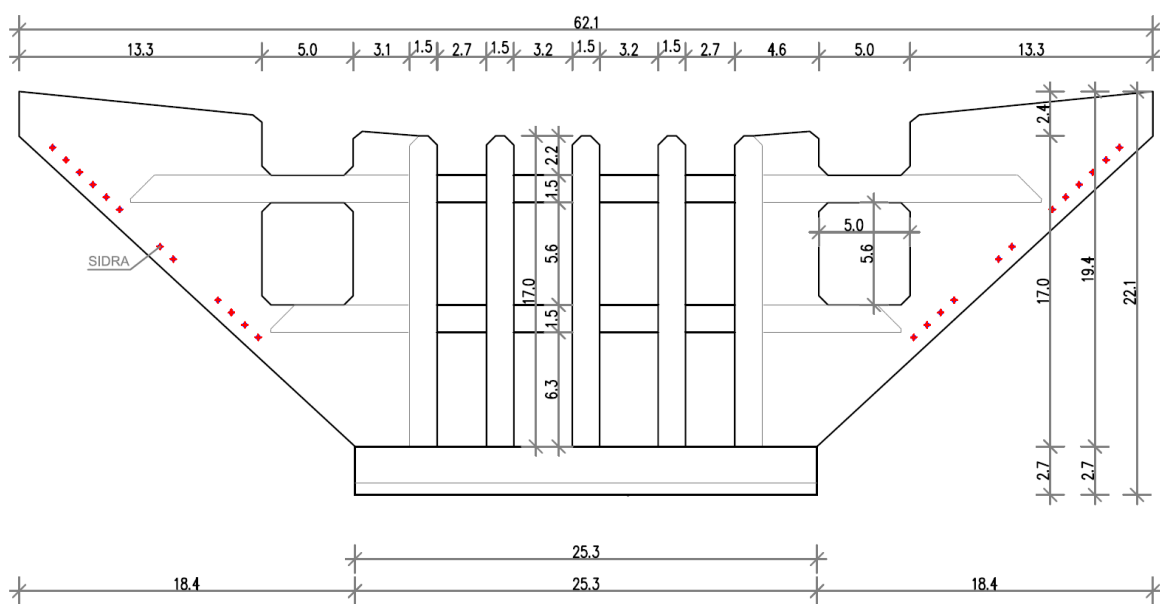
5.3.3 Tip pregrade

Pregrada spada med zaustavitvene pregrade. Njen namen je zaustavitev čela snežnega plazua in s tem zmanjšanje dolžine odlaganja. V primeru hudourniških procesov, ki so po poročilu o obtežbah (predstavljeno v nadaljevanju) možni na tem delu, spada pregrada med filtrirne. S pomočjo zarez v srednjem delu pregrade filtrira večje kose (skale, balvane, les, ...). Del toka gre naprej, kjer funkcijo varovanja prevzamejo obstoječe ustalitveno-zaplavne pregrade, ki s pomočjo spremembe transporta materiala (padec preko preliva pregrade) zmanjšujejo energijo z razlivanjem pred pregrado.

5.3.4 Dimenzije objekta, ključni deli in odprtine

Izbira dimenzij pregrade temelji na funkciji pregrade, topografskih podatkih, geoloških podatkih ter kategoriji objekta. Pregrada v našem primeru sledi topografiji terena. Opažni načrti, tloris in prereza so priloženi v prilogi A.

Načrtovana pregrada meri v višino približno 22 m. Krovna širina znaša 62,1 m. Širina temeljne plošče znaša 25,3 m, dolžina pa 22,5 m, pri čemer se na sredinskem zadnjem delu trapezno podaljša 5 m.



Slika 51. Prečni prerez predvidene pregrade z dimenzijami

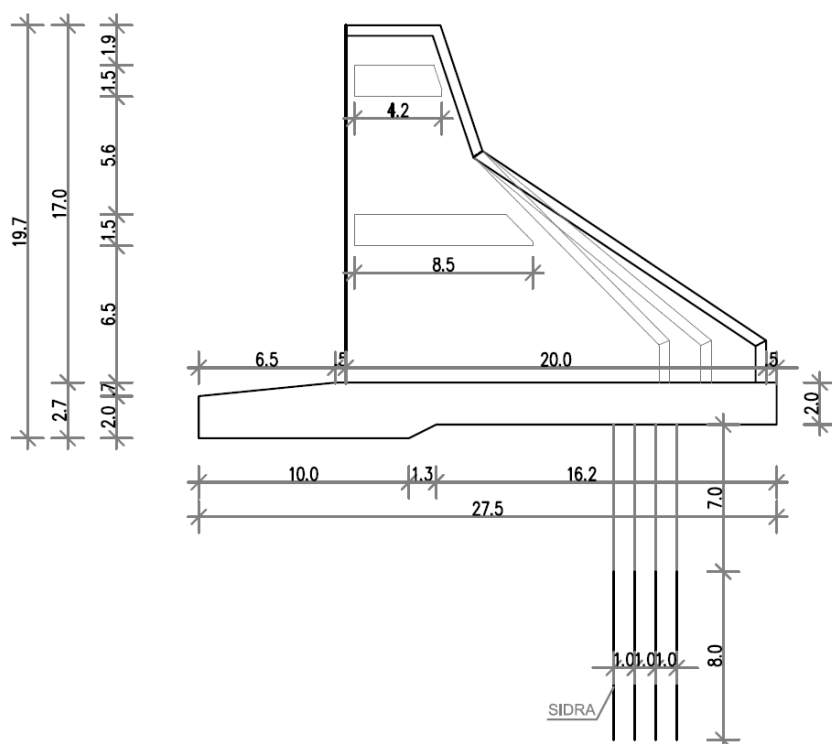
Debelina temeljne plošče na zadnjem delu znaša 2 m. Slednja se pod frontalno ploščo poveča na 2,65 m. Debelina temeljne plošče se nato zmanjšuje, tako da na čelu pregrade doseže višino 2 m. Pregrada tako spredaj sledi prvotnemu terenu.

Debelina frontalne stene znaša 2 m. V vsaki steni se nahaja odprtina dimenzij 5 x 5,6 m. Odprtina dopušča v primeru plazu določen pretok materiala skozi pregrado. Material se nato usede pred pregrado, lahko pa pot nadaljuje proti dolini, kjer pa se nahaja še devet ustalitveno-zaplavniških pregrad.

Frontalni steni sta ločeni med seboj, povezujeta jih dve prečni rebri debeline 1,5 m. Spodnje rebro se nahaja 6,25 m od zgornjega roba temeljne plošče, širine 8,5 m, zgornje rebro pa 13,35 m, širine 4,15 m. Med frontalnima stenama se nahaja še 5 vzdolžnih reber, debeline 1,5 ter višine 17 m. Rebra imajo različno dolžino na stiku s temeljno ploščo. Tako vzdolžna kot prečna rebra imajo posnete robove v smeri predvidenega poteka morebitnega plaz. Funkcija prečnih in vzdolžnih reber je filtriranje.

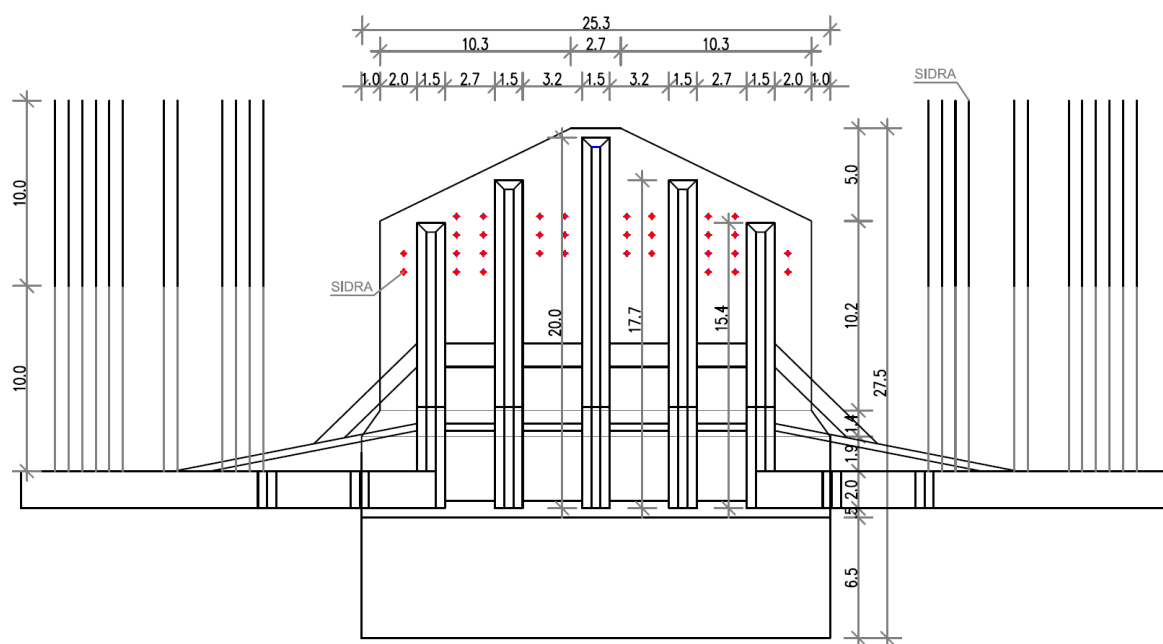
Pregrada je dodatno ojačana s prednapetimi Dywidag sidri. Tako se nahaja v temeljni plošči 32 vertikalnih Dywidag sider, $\phi 57,5$ mm, $L=15$ m ter 12 horizontalnih Dywidag sider, $\phi 57,5$ mm, $L=20$ m v posamezni frontalni plošči. Sama izbira s sidri je bolj ekonomična, saj bi prenos celotne obtežbe s

težo pregrade privedel do tega, da bi bila konstrukcija še bolj masivna, s čimer pa se občutno poveča poraba betona.



Slika 52: Vzdolžni prerez predvidene pregrade z dimenzijami

Hudournik Timmelbach se na območju pregrade zacevi s cevjo ϕ 800 pod dnom pregrade do naslednje ustalitveno-zaplavne pregrade.



Slika 53: Tloris predvidene pregrade z dimenzijami

5.4 Izhodišča in predpostavke pri izdelavi analize s programom Midas GTS

5.4.1 Statični sistem

Konstrukcijska zasnova je klasična armirano betonska težnostna pregrada. Vsi stiki med posameznimi konstrukcijskimi elementi so togi.

Glavno obtežbo predstavlja zemeljski plaz. Horizontalne obremenitve zemeljskega plazu se preko dveh sten (kril) ter prečnih in vzdolžnih reber prenašajo na temeljno ploščo, preko katere se obremenitev prenaša na temeljna tla.

Temeljna plošča je v celoti vkopana. Prav tako sta obe krili $\sim 1,0$ m vkopani v temeljna tla.

5.4.2 Izbrani materiali

Celotna konstrukcija je iz betona C 25/30 in armirana z mrežno oziroma rebrasto armaturo kvalitete B 550 B.

Izbrana so prednapeta sidra Dywidag $\phi 57,5$ mm. Nosilnost sidra je pridobljena na spletni strani podjetja DSI (Dywidag systems international). Nosilnost Dywidag sidra, $\phi 57,5$ mm znaša na meji tečenja $T_y = 1.740$ kN.

Preglednica 28: Materialne karakteristike pregrade upoštevane v 3D analizi.

Pregrada	Razred	f_{ck}/f_{cd} [MPa]	Armatura	f_{sk}/f_{sd} [MPa]
temeljna plošča	C 25/30	25/16,67 ^a	B 550B	55/47,8 ^b
frontalna stena	C 25/30	25/16,67 ^a	B 550B	55/47,8 ^b
prečna rebra	C 25/30	25/16,67 ^a	B 550B	55/47,8 ^b
vzdolžna rebra	C 25/30	25/16,67 ^a	B 550B	55/47,8 ^b
^a varnostni faktor za beton znaša $\gamma_c = 1,5$				
^b varnostni faktor za armaturo znaša $\gamma_s = 1,15$				

Preglednica 29: Karakteristike sider upoštevane v 3D analizi.

Sidra	Razred	$T_{a,k}$ [kN]	Dolžina [m]	Prosta dolžina [m]	Vezna dolžina [m]
horizontalna sidra	Dywidag $\phi 57,5$ mm	1.740 ^c	20	10	10
vertikalna sidra	Dywidag $\phi 57,5$ mm	1.740 ^c	15	7	8
^c varnostni faktor sider je odvisen od kategorije stavbe po ÖNORM B 1997-1-1					

V modelu so uporabljene materialne karakteristike iz geomehanskih poročil. Sestava temeljnih tal sledi risbam iz geomehanskih poročil. V analizi so bili uporabljeni naslednji materialni parametri.

Preglednica 30: Materialne karakteristike upoštevane v 3D analizi.

ID	1	2	3	4
Material	Hribina	Naplavine	Beton	Sidra
Tip	Solid	Solid	Solid	Truss
Elastični modul [MPa]	150	50	34.000	205.000
Poissonovo število [ν]	0,3	0,3	0,2	0,2
Prostorninska teža [γ]	24	20	25	78
Kohezija [c]	100	0	-	-
Strižni kot [ϕ]	30	30	-	-
Materialni model	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Elastičen	Elastičen

Iz geomehanskega poročila sledi, da se na površju pojavita dva izvira. Sklepamo, da gre v našem primeru za nepropustna tla, zato se pojavijo izviri na površju. V analizi tako ni bila upoštevana voda.

5.4.3 Analiza zunanjih vplivov

5.4.3.1 Vpliv lastne teže

Specifične teže materialov, uporabljenih pri gradnji, so navedene v standardu ÖNORM EN 1991-1-1. Lastna teža konstrukcije je določena ob upoštevanju specifičnih tež, navedenih v spodnji preglednici 31.

Preglednica 31: Specifične teže materialov, uporabljenih za izračun lastne teže konstrukcije.

material	γ [kN/m ³]
beton	24.0
armiran beton	25.0
jeklo	78

5.4.3.2 Vpliv dinamične obtežbe plazov

V poglavju 3 so podani numerični modeli za izračun obtežbe snežnih plazov. Nekateri modeli so poleg snežnih plazov sposobni izračunati tudi obtežbe, ki pripadajo drobirskim tokovom. V konkretnem primeru je bil izračun narejen na podlagi numeričnega modela v programu ELBA+ ter SAMOS-AT za možna procesa, t. j. za snežni plaz ter drobirski tok. Vrednost obtežbe plazu je povzeta po projektu »TIMMELBACH LAWINE PROJEKT 2010«. Pridobljeno poročilo o obtežbah smo uporabili kot vhodni podatek. Povzetek poročila je podan v nadaljevanju.

Pregrada kot osrednji objekt pri načrtovanih ukrepih v sklopu projekta »TIMMELBACH LAWINE PROJEKT 2010« mora biti sposobna prenesti sile plazov in drobirskih tokov oziroma imeti neškodljiv vpliv na okolje v primeru le teh. Zato je potrebno posebno pozornost nameniti dimenzioniranju pregrade.

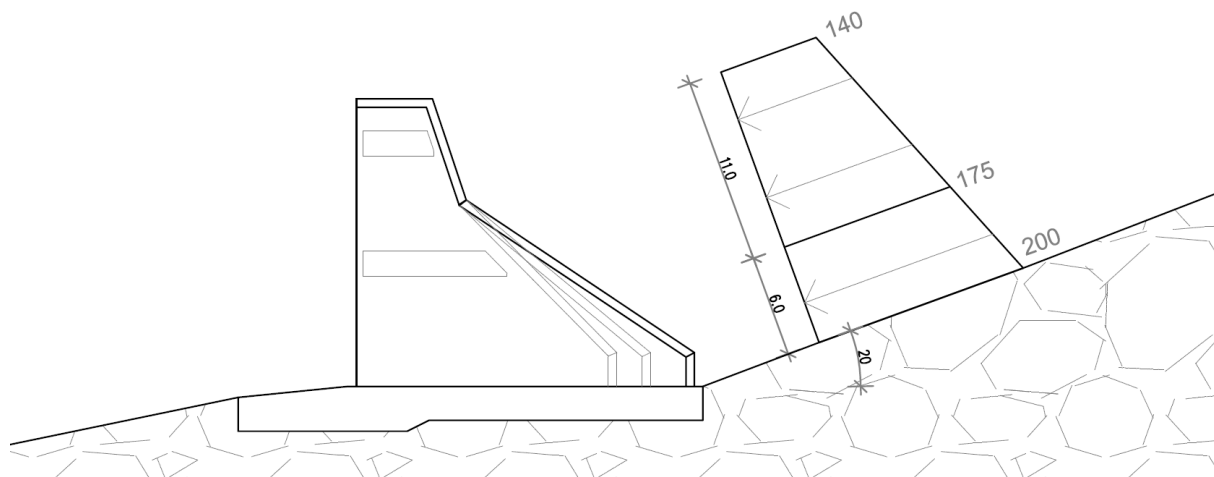
Možni procesi so:

- plaz (npr. mešani snežni plaz),
- drobirski tok.

Drobirski tok zahteva dimenzioniranje pregrade na obtežbo 175 kPa. Obremenitev predstavlja pravokotnik po celotni višini toka do 6 m in po celotni širini objekta.

Snežni plaz, kot merodajni proces na tem območju, vpliva na celotno višino pregrade do 17 m. Preden doseže pregrado je plaz ocenjen na cca 140 kPa (simulacija po SAMOS-AT), posledično mora biti pregrada dimenzionirana najmanj na 140 kPa do višine 15 m (višina toka). Zaradi možnega zastoja, zamašitve, zasipanja je potrebno računati s silo po celotni višini pregrade t. j. 17 m, čeprav je verjetnost za zamašitev v času trajanja objekta zelo majhna. V simulaciji s programom ELBA+ so bile določene spodnje vrednosti tlakov, zdi pa se, da je obremenitev s tlakom 140 kPa, če primerjamo z ostalimi primeri, zelo verjetna. Visoke obremenitve ustvarijo točkovne (lokalne) obremenitve, ki jih s plazom povzročajo balvani, kamenje ter les, zato je potrebno v spodnjem delu pregrade upoštevati večje obremenitve. Pri podajanju obtežbe se upošteva trapezna obremenitev. Na dnu pregrade je potrebno računati z obtežbo 200 kPa. Pri višini 6 m (višina drobirskega toka) ima pregrada horizontalno obremenitev 175 kPa ter nad 17 m obremenitev 140 kPa.

V poročilu možni obtežbi (snežni plaz, drobirski tok) združijo v en obtežni primer. Do višine 6 m je merodajna obtežba z drobirskim tokom 175 kPa, ki se spodaj poveča na 200 kPa, s čimer upoštevamo točkovne obremenitve trdnih plavin. Nad 6 m pa je merodajen snežni plaz, do celotne višine pregrade.



Slika 54: Shema delovanja obtežbe plazov (drobirskega toka in snežnega plazov) upoštevana v 3D analizi

V analizi je bil upoštevan 20° kot (naklon terena za pregrado) delovanja obtežbe plaz. Plaz deluje na pregrado pod kotom 20° , tako da njegova vertikalna komponenta deluje ugodno na prevrnitev ter zdrs. Poleg tega je v analizi upoštevana konservativna predpostavka na zahtevo investitorja in sicer, da obtežba plaz deluje samo na krila in rebra, ne pa na temeljno ploščo. Vemo, da pride težko do primera, da bi obtežba delovala samo na krila in rebra, brez obtežbe na temeljna tla. Delno bi lahko prišlo do tega učinka pri pršnih snežnih plazovih.

Preglednica 32: Vrednosti vpliva plaz upoštevanega v 3D analizi.

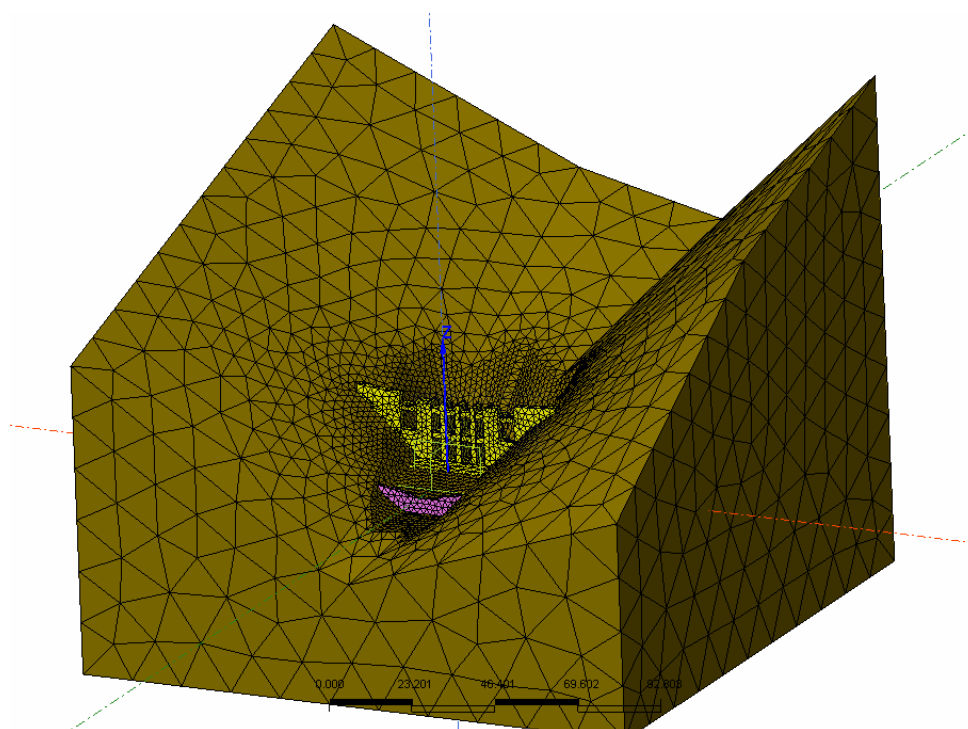
višina	obtežba	horizontalna komponenta ($\varphi=20^\circ$)	vertikalna komponenta ($\varphi=20^\circ$)
0-6 m	200 kPa	188 kPa	68,5 kPa
6-17m	175 kPa	164,5 kPa	60 kPa
nad 17m	140 kPa	132 kPa	48 kPa

5.4.3.3 Prednapetje sider

Sidra v temeljni plošči so prednapeta s silo 225 kN, v frontalni plošči pa 300 kN.

5.4.4 Računski model

Zemljina ter pregrada sta modelirani s 3D elementi, medtem ko so sidra modelirana kot 1D elementi. Vezna dolžina sider, tako vertikalnih kot horizontalnih, pade v sloj hribine, medtem ko je prosti del pri horizontalnih sidrih v sloju naplavin. Vertikalna sidra so cela v hribini. Prosti del sider je modeliran kot 1D element z dvema vozliščema, tako da ni vmesne povezave s terenom.



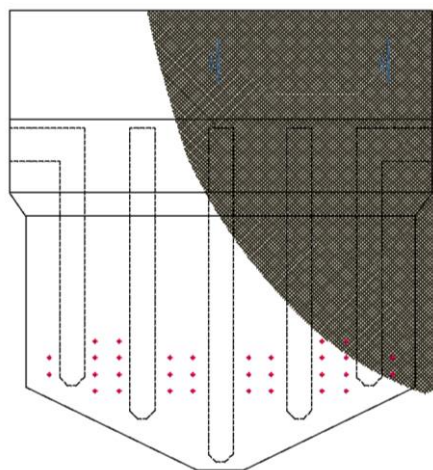
Slika 55: Končni 3D model predvidene pregrade v programu Midas GTS

Analiza je bila narejena po metodi končnih elementov na podlagi 3D modela s pomočjo programa Midas GTS. Za izračun je uporabljena nelinearna analiza računskih korakov. Spodaj so računski koraki z navedbo aktiviranih elementov oziroma obtežbe v posameznem računskem koraku. Za začetno stanje je upoštevana zemljina z že izvedenim izkopom.

Preglednica 33: Računski koraki uporabljeni v 3D analizi.

ID	Računski korak	Aktivirani elementi	Aktivirana obtežba
1	Začetno stanje	Hribina Naplavine Obstoječe ustalitveno-zaplavne pregrade	Stalna
2	Pregrada	Pregrada	
3	Sidra	Sidra	
4	Prednapetje sider		Prednapetje sider
5	Plaz		Plaz

Prvi 3D modeli so pokazali določene probleme s terenom. Zaradi slabih strižnih karakteristik sloja naplavine je prišlo do dviga dela naplavin pred pregrado, prav tako so se naplavine z brežin vdiralale, kar je privedlo do tega, da analiza ni konvergirala. Geomehansko poročilo je zahtevalo odstranitev sloja naplavin pred in pod pregrado, kar je pokazala tudi analiza. V projektu je bila tako predvidena zamenjava tega materiala z betonom C 10/12 z dodatkom skale iz izkopa na levi strani, tako da se zmanjša poraba betona.



Slika 56: Prikaz dela temeljne zemljine, ki se zamenja s pustim betonom in dodatkom skal, zaradi slabe nosilnosti

V prvotnem modelu je bil upoštevan sloj naplavine višine 5 m po celotnem terenu. Risbe poteka posameznih plasti hribine v geomehanskem poročilu so nakazovale, da se v višjih predelih že na

površju pojavi hribina. V analizi težavne brežine je izpostavilo tudi geomehansko poročilo, ki je za predmetne brežine zahtevalo dodaten projekt varovanja gradbene jame. Predlagalo je sidranje brežine oziroma ojačitev z brizganim betonom. Med gradnjo so brežine zavarovane s kamnito zložbo skupaj z mrežo preko pobočja gradbene jame.

Ker smo zamenjali sloj naplavine pod pregrado ter sedaj še sloj naplavin v višjih predelih, je tako sloj naplavin ostal samo še na majhnem delu okoli kril. Z analizo so se ponovno pojavile singularne točke, v katerih se brežine vdrejo. Posledično je v končnem modelu upoštevan celoten teren s karakteristikami temeljne hribine. Ker imamo sidra v sloju naplavin modelirana kot 1D element z dvema vozliščema brez stika s terenom, ta sprememba ne bo imela vpliva na sidra.

5.5 Dokaz statičnega ravnovesja konstrukcije (EQU)

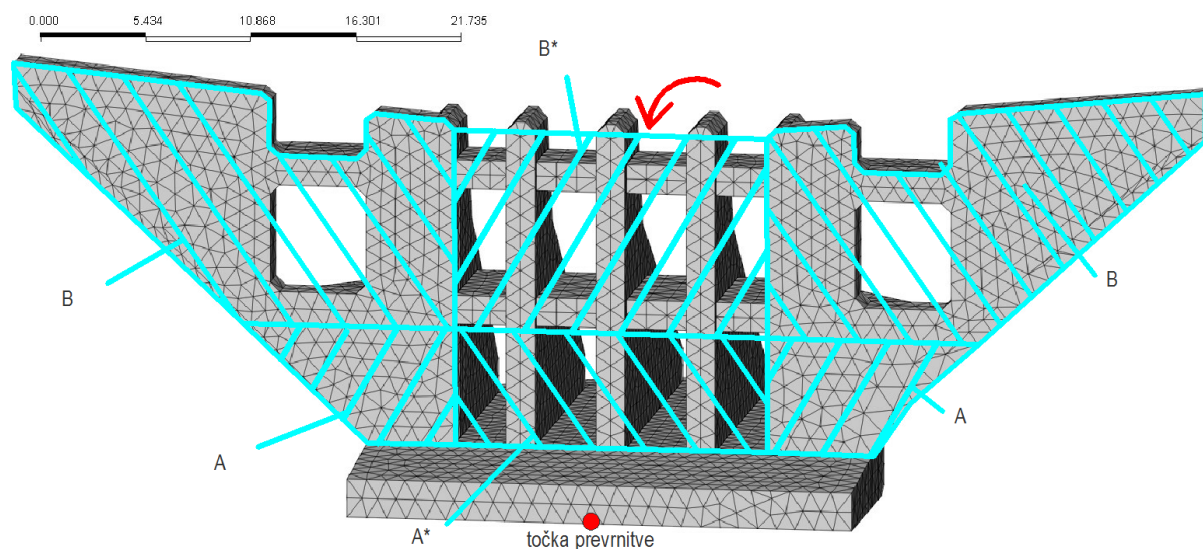
Prevrnitev se preverja v mejnem stanju nosilnosti (EQU) po naslednji enačbi.

$$E_{dst,d} \leq E_{stb,d} + T_d$$

T_d ... strižni odpor (ga ne upoštevamo)

$E_{stb,d} = M_{G,stb,k} + M_{Ad,stb,k}$... stabilizacijski moment (učinek vplivov, ki delujejo ugodno)

$E_{dst,d} = M_{G,dst,k} + M_{Ad,dst,k}$... destabilizacijski moment (učinek vplivov, ki delujejo neugodno)



Slika 57: Prikaz oznak površin na prerezu pregrade za izračun kontrol v nadaljevanju

Vse vrednosti delnih faktorjev za vplive in učinke vplivov v nezgodnih projektnih stanjih so enake 1,0. V izračunu je upoštevano, da sta luknji v frontalni steni ter prostor med prečnimi rebri zapolnjeni z obtežbo plaz. Obtežba je upoštevana po celotni višini pregrade. Karakteristike (volumen pregrade, geometrijsko središče, ročica in površina delovanja obtežbe) potrebne za izračun so vzete iz programa Midas GTS.

Stabilnostni moment stalne teže pregrade:

$$M_{G, \text{stb}, k} = V \cdot \gamma_b \cdot e$$

$$e = 11,3 \text{ m} \quad \dots \text{ ročica}$$

$$M_{G, \text{stb}, k} = 3.777,9 \cdot 25,0 \cdot 11,3 = 1.070.082 \text{ kNm}$$

Stabilizacijski moment plazuz:

$$M_{Ad, \text{stb}, k} = ((2 \cdot A + A^*) \cdot P_A + (2 \cdot B + B^*) \cdot P_B) \cdot e \cdot \sin \theta$$

$$M_{Ad, \text{stb}, k} = ((2 \cdot 46,5 + 97,8) \cdot 200 + (2 \cdot 199,8 + 179,3) \cdot 175) \cdot 9 \cdot \sin(20) = 429.306 \text{ kNm}$$

Destabilizacijski moment plazuz:

$$M_{Ad, \text{dst}, k} = ((2 \cdot A \cdot e_A + A^* \cdot e_A^*) \cdot P_A + (2 \cdot B \cdot e_B + B^* \cdot e_B^*) \cdot P_B) \cdot \cos(\theta)$$

$$M_{Ad, \text{dst}, k} = ((2 \cdot 46,5 \cdot 6,07 + 97,8 \cdot 5,65) \cdot 200 + (2 \cdot 199,8 \cdot 15,6 + 179,3 \cdot 14,15) \cdot 175) \cdot$$

$$\cos(20) = 1.652.276 \text{ kNm}$$

$$E_{\text{stb}, d} = 1.070.082 + 429.306 = 1.499.388 \text{ kNm}$$

$$1.652.276 \text{ kNm} \not\leq 1.499.388 \text{ kNm} \quad (110 \%) \quad \dots \text{ konstrukcija se zvrne}$$

Iz zgornjega izračuna sledi, da konstrukcija s svojo lastno težo ne more prenesti celotne obtežbe plazuz. Možni rešitvi sta dve. Prvič, da se poveča teža pregrade, drugič pa, da se pregrado sidra. Tako se v temeljni plošči nahaja 32 sider Dywidag, $\phi 57,5 \text{ mm}$, $L=15 \text{ m}$, v posamezni frontalni steni pa po 12 horizontalnih sider Dywidag, $\phi 57,5 \text{ mm}$, $L=20 \text{ m}$. Izbira sider je bolj ekonomična, saj bi prenos celotne obtežbe s težo pregrade privedel do tega, da bi bila konstrukcija še bolj masivna, s čimer pa se občutno poveča poraba betona.

Stabilnostni moment sider:

$$M_{\text{sider}, \text{stb}, k} = \sum_{i=1}^{56} T_y \cdot e_i$$

$$T_y = 1740 \text{ kN} \quad \dots \text{ nosilnost sidra}$$

$$e_i \quad \dots \text{ ročica}$$

$$M_{\text{sider}, \text{stb}, k} = \sum_{i=1}^{56} T_y \cdot e_i = 1.812.732 \text{ kNm}$$

Mejno stanje EQU po definiciji ne predvideva delnih faktorjev za trdnosti materialov konstrukcije in tal. Prav tako mejno stanje EQU ne predvideva delnega faktorja za odpornost proti prevrnitvi.

Kontrola:

$$E_{\text{stb}, d} = M_{G, \text{stb}, k} + M_{\text{sider}, \text{stb}, k} + M_{Ad, \text{stb}, k} \quad \dots \text{ stabilnosti moment}$$

$$E_{\text{dst}, d} = M_{G, \text{dst}, k} + M_{Ad, \text{dst}, k} \quad \dots \text{ destabilizacijski moment}$$

$$E_{\text{stb}, d} = 1.070.081,7 + 1.812.732 + 429.306,25 = 3.312.120 \text{ kNm}$$

$$1.652.276,2 \text{ kNm} \leq 3.312.120 \text{ kNm} \quad (50\%) \quad \dots \text{ konstrukcija se ne zvrne}$$

5.6 Dokaz globalne stabilnosti (GEO)

V nadaljevanju je prikazana globalna 2D stabilnostna analiza s programom Midas GTS in Rocscience Slide. V izračun je bil vzet pas 1 m na sredini pregrade s sodelujočo širino 4,7 m. Upoštevana je bila obtežba plazu (horizontalna in vertikalna komponenta). Po ÖNORM EN 1997-1 se globalna stabilnost preverja s projektnim pristopom 3.

Preglednica 34: Upoštevani delni faktorji za mejno stanje GEO pri dokazu globalne stabilnosti po projektnem pristopu 3 za nezgodno projektno stanje.

	Delni faktorji za vplive (γ_F)				Delni faktorji strižnih karakteristik (γ_M)			Delni faktorji odpornosti (γ_R)	
Projektni pristop 3:	A1, A2				M1, M3			R1, R2, R3	
Kombinacija: A2+M2+R3	Stalni neugodni	Stalni ugodni	Spremenljivi neugodni	Spremenljivi ugodni	Strižni kot	Efektivna kohezija	Prostorninska teža	Odpornost sider in drugih stabilizacijskih elementov	Odpornost tal (pasivna)
Projektna stanja	$\gamma_{G,sup}$	$\gamma_{G,inf}$	$\gamma_{Q,sup}$	$\gamma_{Q,inf}$	γ_φ	γ_c	γ_γ	γ_a	$\gamma_{R,e}$
	Kategorija objekta CC 3 po ÖNORM EN 1990.								
Nezgodno projektno stanje	1,00	1,00	1,10	0,00	1,10	1,10	1,00	1,00	1,00

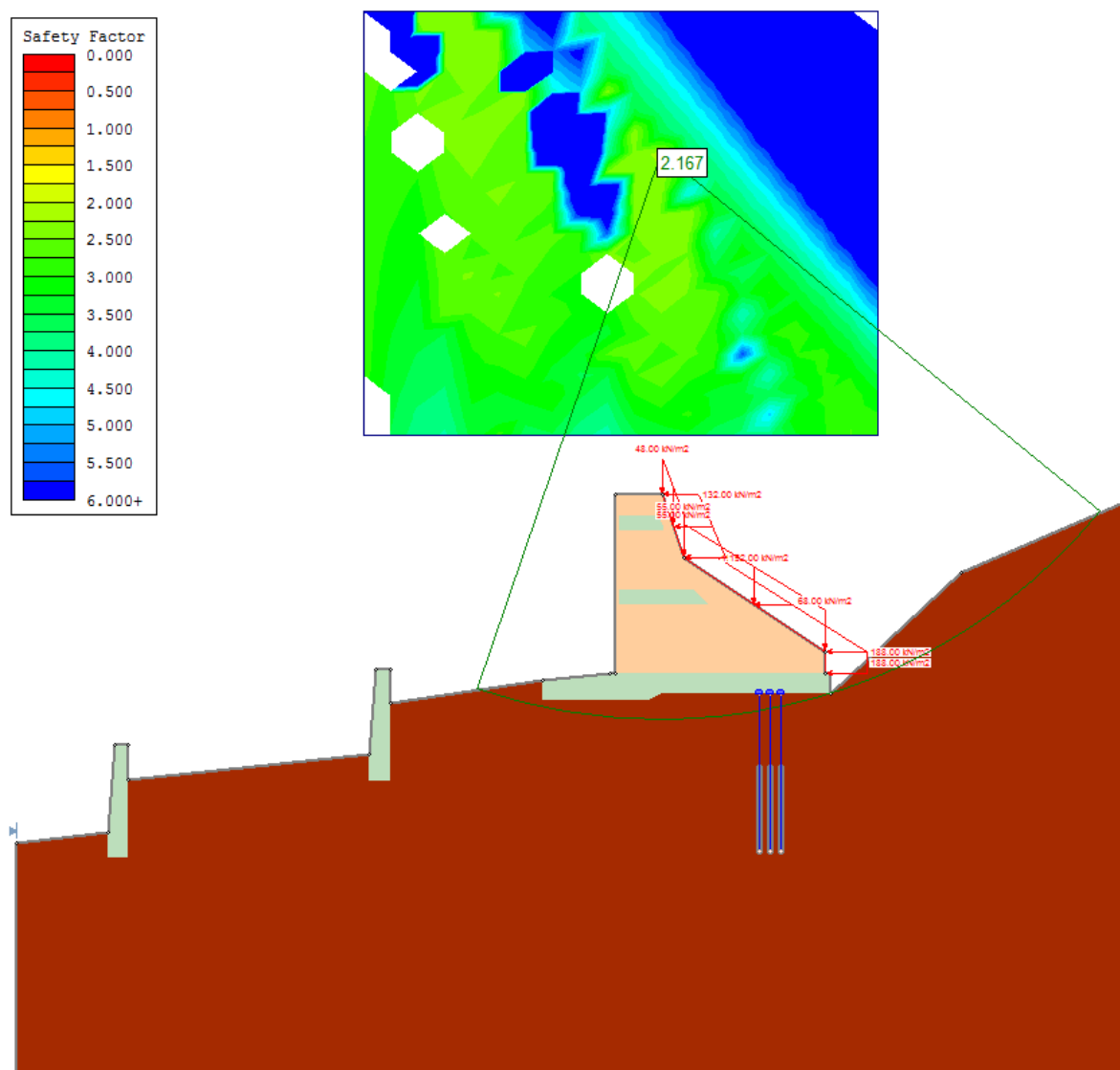
Upoštevali smo nezgodno projektno stanje. Ker gre za nezgoden vpliv, so delni faktorji za vplive in učinke vplivov v našem primeru enaki 1,0. V primeru, da bi imeli na konstrukciji spremenljiv vpliv, bi bilo potrebno le tega v primeru neugodnega učinka množiti z 1,1 oziroma v primeru ugodnega vpliva zanemariti. Po ÖNORM B 1997-1-1 je za projektni pristop 3 pri globalni analizi predviden delni faktor za strižni kot in kohezijo $\gamma_\varphi = \gamma_c = 1,1$. Iz risb poteka plasti terena v geomehanskem poročilu sledi, da se na srednjem delu nahaja samo hribina. Strižni karakteristiki hribine sta ustrezno zmanjšani za delni faktor. Beton je modeliran z neskončno trdnostjo, da se izločijo morebitne možne drsine, ki potekajo preko pregrade. Tak pristop podaja tudi priporočilo programa Rocscience Slide.

Rocscience Slide:

Izračun globalne stabilnosti je narejen s krožnimi porušnicami ter izračunan z Bishopovo poenostavljeno metodo. V spodnji tabeli so podane projektne vrednosti strižnih karakteristik upoštevanih v analizi. Pregrada je modelirana z dvema materialoma, zaradi razčlenjene strukture. Na delu, kjer je pregrada na svoji sodelujoči širini 4,7 m polna, je upoštevana polna prostorninska teža, na delu kjer pa je votla, se je izračunana povprečna teža na območju sodelujoče širine 4,7 m.

Preglednica 35: Materialne karakteristike uporabljene v globalni stabilnostni analizi s programom Slide.

Ime	Barva	Prostorninska teža [kN/m ³]	Materialni model	Kohezija [kN/m ²]	Strižni kot	Voda
Hribina		24	Mohr-Coulomb	90,9	27,2	NE
Pregrada delno		8	Neskončna trdnost			NE
Pregrada polna		25	Neskončna trdnost			NE

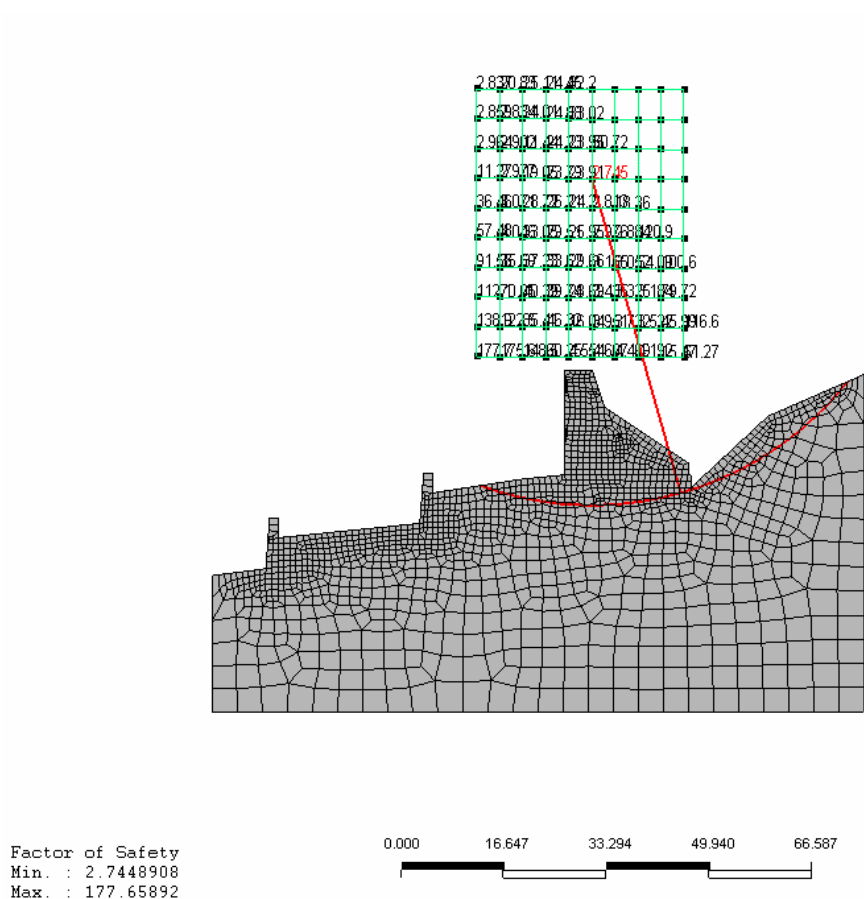


Slika 58: Rezultati globalne stabilnosti s krožnimi porušnicami s programom Slide

Izračun po Bishopovi poenostavljeni metodi pokaže, da je minimalni faktor varnosti $F_{\min}=2,16$, kar je večje od 1. Po projektnem pristopu 3 ni potrebna redukcija izračunanega faktorja varnosti. Varnosti faktor znaša $\gamma=1,0$.

Midas GTS:

Program Midas GTS omogoča 2D stabilnostno analizo po poenostavljeni Bishopovi metodi. Poleg tega se lahko stabilnost pobočja izračuna z metodo reducirane trdnosti, ki jo lahko izvedemo z 2D in 3D analizo.



Slika 59: Rezultati globalne stabilnosti s krožnimi porušnicami s programom Midas GTS

Z Midasom dobimo faktor varnosti 2,7, kar je malo več kot s programom Slide. Oblika drsine z najmanjšo varnostjo je podobna kot pri izračunu s programom Slide. Potrebno je poudariti, da je potrebno v Midasu ročno podati tangente, k katerim program naredi možne krožne porušnice. Ta način pa lahko vodi do manjšega odstopanja, saj se lahko, če minimalno spremenimo naklon tangente, ki jo podamo v program, spremeni faktor varnosti. V Midasu prav tako ne upoštevamo vpliva sider, saj se pojavijo težave z modelom. S tem smo na varni strani. Narejena je bila analiza brez sider v programu Slide. Pokazala je, da sidra pri globalni stabilnostni analizi nimajo vpliva.

5.7 Dokaz odpornosti proti zdrs (GEO)

Dokaz odpornosti proti zdrs preverjamo v mejnem stanju GEO s projektnim pristopom 2. Spodaj so v preglednici 36 prikazani delni faktorji upoštevani v dokazu odpornosti proti zdrs po projektnem pristopu 2 za mejno stanje GEO. Upoštevano je nezgodno projektno stanje. Poleg tega se v mejnem

stanju GEO pri projektnem stanju 2 za trajna sidra upošteva delni faktor $\gamma_{a,p} = 1,4$ ne glede na projektno stanje.

Preglednica 36: Upoštevani delni faktorji γ za mejno stanje GEO pri dokazu odpornosti proti zdrsru za nezgodno projektno stanje.

	Delni faktorji za vplive (γ_F)				Delni faktorji strižnih karakteristik (γ_M)			Delni faktorji odpornosti (γ_R)		
Projektni pristop 2: Kombinacija: A1+M1+R2	Stalni neugodni	Stalni ugodni	Spremenljivi neugodni	Spremenljivi ugodni	Strižni kot	Efektivna kohezija	Prostorninska teža	Nosilnost temeljnih tal	Odpornost proti zdrsru	Odpornost tal (pasivna)
Projektna stanja	$\gamma_{G,sup}$	$\gamma_{G,inf}$	$\gamma_{Q,sup}$	$\gamma_{Q,inf}$	γ_ϕ	γ_c	γ_γ	$\gamma_{R,v}$	$\gamma_{R,h}$	$\gamma_{R,e}$
Nezgodno projektno stanje	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,20	1,10	1,20

Preglednica 37: Upoštevani delni faktor za prednapeta sidra pri dokazu odpornosti proti zdrsru za ključne stavbe.

Trajanje	Oznaka	Kategorija stavbe
		CC 3
Trajna sidra	$\gamma_{a,p}$	1,4

Zdrs se preverja po naslednji enačbi.

$$H_d \leq R_d + R_{p;d} + S_d$$

H_d ... vsota horizontalne obtežbe

R_d ... projektna strižna odpornost pod temeljnimi tlemi

$R_{p;d}$... pasivni zemeljski pritisk (zanemarimo)

S_d ... projektna horizontalna nosilnost sider

Neugodno delujoči del horizontalne obtežbe predstavlja obtežba plaz, stabilizacijski del pa horizontalna sidra v frontalni plošči. Ker imamo sidra v frontalni plošči prednapeta do 300 kN, se ta del obtežbe prišteje vsoti horizontalne obtežbe.

Vsota horizontalne obtežbe:

$$H_d = ((2 \cdot A + A^*) \cdot P_A + (2 \cdot B + B^*) \cdot P_B) \cdot \cos(\theta) + 24 \cdot 300$$

$$H_d = ((2 \cdot 46,5 + 97,8) \cdot 200 + (2 \cdot 199,8 + 179,3) \cdot 175) \cdot \cos(20) + 7.200 = 138.256,6 \text{ kN}$$

Strižna odpornost pod temeljnimi tlemi:

$$R_d = V_d \cdot \tan(\delta_k) / \gamma_{R,h}$$

$$\delta_k = \varphi_k = 30 \quad \dots \text{ kot trenja, za temelje betonirane na mestu}$$

$$V_d = V_d^{\text{pregrade}} + V_d^{\text{plazu}} \quad \dots \text{ vertikalna obtežba na temeljno ploskev}$$

$$V_d^{\text{pregrade}} = V \cdot \gamma_b = 3.777,9 \cdot 25 = 94.447,4 \text{ kN}$$

$$V_d^{\text{plazu}} = ((2 \cdot A + A^*) \cdot P_A + (2 \cdot B + B^*) \cdot P_B) \cdot \sin(\theta)$$

$$V_d^{\text{plazu}} = ((2 \cdot 46,5 + 97,8) \cdot 200 + (2 \cdot 199,8 + 179,3) \cdot 175) \cdot \sin(20) = 47.700,7 \text{ kN}$$

$$R_d = (94.447,4 + 47.700,7) \cdot \frac{\tan(30)}{1,1} = 110.897,7 \text{ kN}$$

Vsota horizontalne obtežbe:

$$S_d = \sum \frac{P_{a,k}}{\gamma_{a,p}} = 24 \cdot \frac{1700}{1,4} = 29.142,9 \text{ kN}$$

kjer je:

$P_{a,k}$ odpornost sira na izvlek [kN]

Odpornost sidra na izvlek je predpostavljena in jo je potrebno na terenu preveriti s testi.

Kontrola:

$$138.256,6 \text{ kN} \leq 140.040,6 \text{ kN} \quad \dots \text{ konstrukcija ne zdrsne}$$

Vidimo, da konstrukcija ne zdrsne. Kljub nezgodnemu projektnemu stanju ÖNORM B 1997-1-1 predvideva delne faktorje za odpornost sider in odpornost proti zdrsni $\gamma > 1,0$, medtem ko imajo vplivi, učinki vplivov in strižne karakteristike zemljine delne faktorje enake 1,0.

5.8 Dokaz nosilnosti temeljnih tal (GEO)

5.8.1 Splošno

Dokaz nosilnosti temeljnih tal plitvega temeljenja preverjamo v mejnem stanju GEO s projektnim pristopom 2. Nosilnost temeljnih tal preverjamo po spodnji enačbi.

$$V_d \leq R_d$$

V_d ... vsota vertikalne obtežbe na temeljno ploskev

R_d ... projektna nosilnost temeljnih tal

V preglednici 38 so prikazani delni faktorji upoštevani v dokazu odpornosti proti zdrsni po projektnem pristopu 2 v mejnem stanju GEO iz ÖNORM B 1997-1-1. Upoštevano je nezgodno projektno stanje.

Preglednica 38: Upoštevano delni faktorji γ v mejnem stanju GEO pri dokazu nosilnosti temeljnih tal za nezgodno projektno stanje.

	Delni faktorji za vplive (γ_F)				Delni faktorji strižnih karakteristik (γ_M)			Delni faktorji odpornosti (γ_R)		
Projektni pristop 2: Kombinacija: A1+M1+R2	Stalni neugodni	Stalni ugodni	Spremenljivi neugodni	Spremenljivi ugodni	Strižni kot	Efektivna kohezija	Prostorninska teža	Nosilnost temeljnih tal	Odpornost proti zdrsu	Odpornost tal (pasivna)
Projektna stanja	$\gamma_{G,sup}$	$\gamma_{G,inf}$	$\gamma_{Q,sup}$	$\gamma_{Q,inf}$	γ_ϕ	γ_c	γ_γ	$\gamma_{R,v}$	$\gamma_{R,h}$	$\gamma_{R,e}$
Nezgodno projektno stanje	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,20	1,10	1,20

V nadaljevanju je prikazan izračun odpornosti temeljnih tal po ÖNORM EN 1997-1.

5.8.2 Nosilnost temeljnih tal po ÖNORM EN 1997-1-1

Oznaka/podatek	Opis
$\phi_k = 30^\circ$	... strižni kot hribine
$c = 100 \text{ kPa}$	... kohezija hribine
$\gamma_z = 24 \text{ kN/m}^3$	... prostorninska teža hribine
$L = 25 \text{ m}$	... dolžina temelja
$B = 25 \text{ m}$	... širina temelja
$D = 2,0 \text{ m}$	... debelina (=globina) temelja

Vsota navpične obtežbe

$$V_d^{\text{pregrade}} = V \cdot \gamma_b = 3.777,9 \cdot 25 = 94.447,4 \text{ kN}$$

$$V_d^{\text{plazu}} = ((2 \cdot 46,5 + 97,8) \cdot 200 + (2 \cdot 199,8 + 179,3) \cdot 175) \cdot \sin(20) = 47.700,7 \text{ kN}$$

$$V_d = 94.447,4 + 47.700,7 = 142.148,1 \text{ kN}$$

Nosilnost:

$$\frac{R}{A'} = c' \cdot N_c \cdot b_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot b_q \cdot s_q \cdot i_q + \gamma' \cdot \frac{B'}{2} \cdot N_\gamma \cdot b_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma$$

$$N_q = e^{\pi \cdot \tan(\phi')} \cdot \tan^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right) = e^{\pi \cdot \tan(30)} \cdot \tan^2 \left(45 + \frac{30}{2} \right) = 18,4$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\phi') = 2 \cdot (18,4 - 1) \cdot \tan(30) = 20,1$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \text{ctg}(\phi') = (18,4 - 1) \cdot \text{ctg}(30) = 30,1$$

$$q' = D \cdot \gamma \quad \dots \text{efektivni navpični tlak ob temelju na globini temeljne ploskve}$$

$$q' = 2 \cdot 24 = 48 \text{ kPa}$$

$b_c, b_y, b_q = 1,0$... koeficienti naklona

$$s_q = 1 + \left(\frac{B'}{L'}\right) \cdot \sin\varphi' = 1 + \left(\frac{25}{25}\right) \cdot \sin(30) = 1,5$$

$$s_y = 1 - 0,3 \cdot \left(\frac{B'}{L'}\right) = 1 - 0,3 \cdot \left(\frac{25}{25}\right) = 0,7$$

$$s_c = (s_q \cdot N_q - 1) / (N_q - 1) = (1,5 \cdot 18,4 - 1) / (18,4 - 1) = 1,53$$

$$m = [2 + (B'/L')]/[1 + (B'/L')] = [2 + (25/25)]/[1 + (25/25)] = 1,5$$

$$H_d = ((2 \cdot A + A^*) \cdot P_A + (2 \cdot B + B^*) \cdot P_B) \cdot \cos(\theta) + 24 \cdot 300$$

$$H_d = ((2 \cdot 46,5 + 97,8) \cdot 200 + (2 \cdot 199,8 + 179,3) \cdot 175) \cdot \cos(20) = 131.056,6 \text{ kN}$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c} \cdot \tan\varphi' = 0,33 - \frac{1 - 0,33}{30,1} \cdot \tan(30) = 0,32$$

$$i_q = \left[1 - \frac{H}{V + A' \cdot c' \cdot \cot\varphi'}\right]^m = \left[1 - \left(\frac{131.056,6}{142.148,1 + 625 \cdot 100 \cdot \cot(30)}\right)\right]^{1,5} = 0,33$$

$$i_y = \left[1 - \frac{H}{V + A' \cdot c' \cdot \cot\varphi'}\right]^{m+1} = \left[1 - \left(\frac{131.056,6}{142.148,1 + 625 \cdot 100 \cdot \cot(30)}\right)\right]^{1,5+1} = 0,16$$

$$\frac{R}{A'} = 100 \cdot 30,1 \cdot 1,53 \cdot 0,32 + 48 \cdot 18,4 \cdot 1,5 \cdot 0,33 + 24 \cdot 25 \cdot 0,5 \cdot 20,1 \cdot 0,7 \cdot 0,16 = 2.586 \text{ kPa}$$

Kontrola nosilnosti:

$$R_d = R_k \cdot \frac{A'}{\gamma_{R,v}} = 2.586 \cdot \frac{625}{1,2} = 1.347.000 \text{ kPa} \geq V_d = 142.148,1 \text{ kN}$$

5.9 Dokaz nosilnosti prednapetih sider

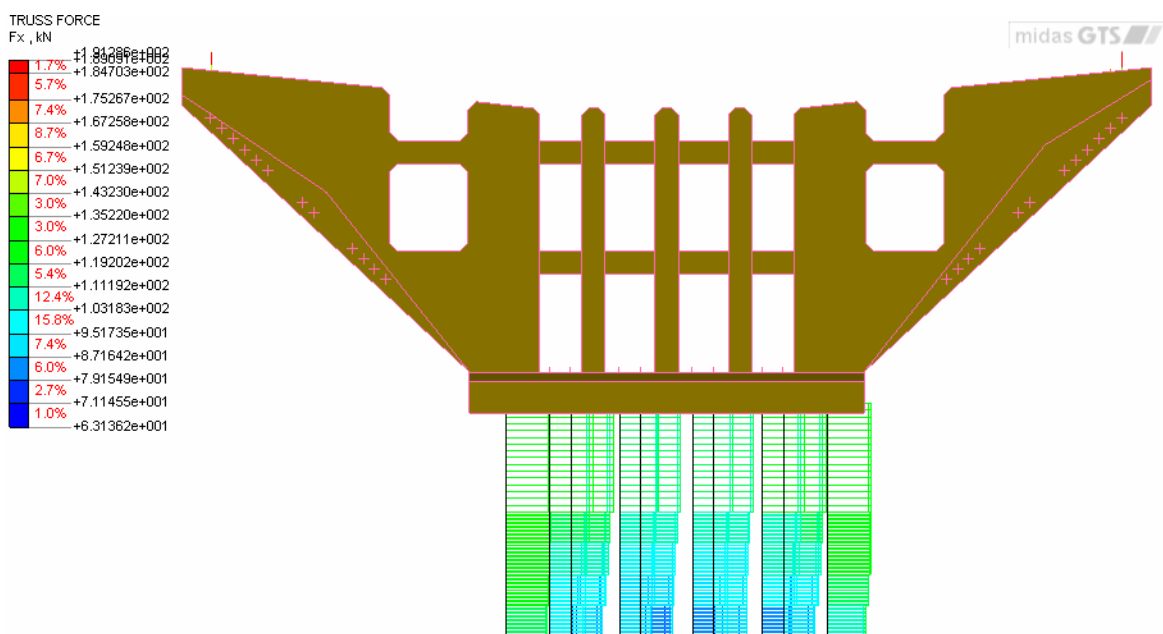
Projektno obremenitev sidra P_d določimo kot maksimalno izmed vrednosti, ki jo izkaže mejno stanje nosilnosti, mejno stanje uporabnosti oziroma sila zaklinjenja.

$$P_d = \max \begin{cases} P_d \text{ (MSN)} \\ 1,35 \cdot P_{SLs} \\ 1,35 \cdot P_0 \end{cases}$$

V našem primeru mejno stanje uporabnosti nismo analizirali, saj je mejno stanje nosilnosti pokazalo enakomerne pomike pod temeljno ploskvijo, tako da ne pride do zasukov temeljne plošče. Prav tako so pomiki pri mejnem stanju nosilnosti v okviru razumnih mej. Do manjših zasukov je prišlo pri prvotnih modelih, ko je bila v analizi na geografski desni strani uporabljen material naplavin. Na tem delu je prišlo do relativnih pomikov. Na tem mestu je bila predlagana zamenjava s pustim betonom z dodatkom skal iz izkopa na geografski levi strani.

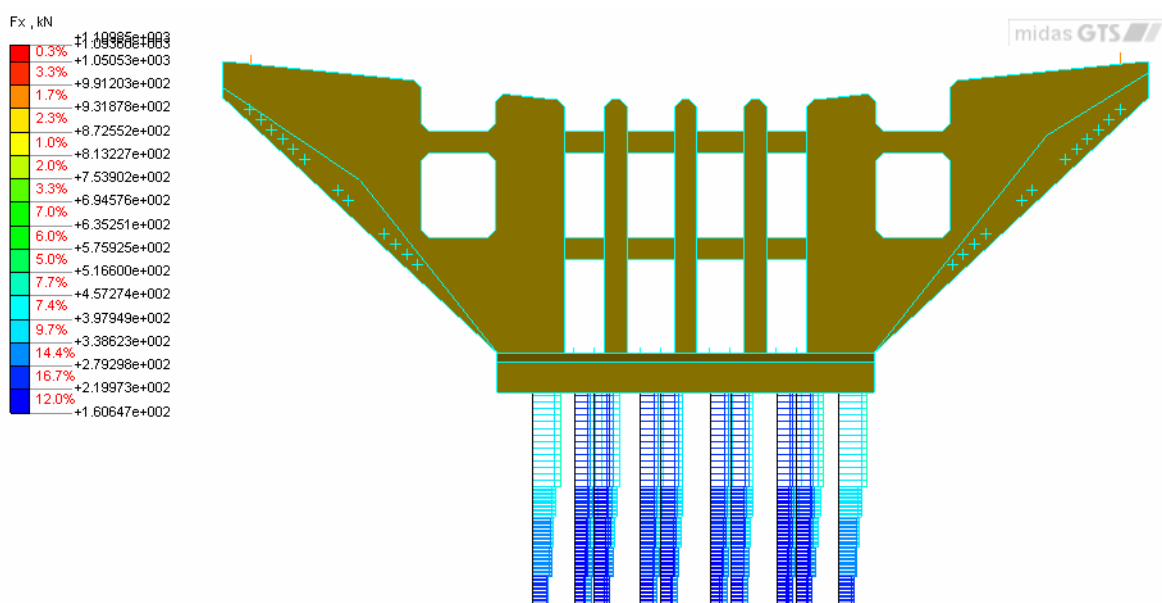
Spodaj so na sliki 60 prikazane osne sile v vertikalnih sidrih zaradi sile prednapetja. Vertikalna sidra v temeljnih tleh so prednapeta s silo 225 kN, medtem ko so horizontalna sidra prednapeta s silo 300 kN na posamezno sidro. Pregrada se zaradi prednapetja nagne nazaj. Posledično dobimo v vertikalnih kot tudi horizontalnih sidrih negativno deformacijo, kar privede do tega, da sila prednapetja pade. V

vertikalnih sidrih pade sila na sredini pregrade na 104 kN na robovih pa na 126 kN. Sila prednapetja pade za cca. 40 %. Podobno se zgodi v horizontalnih sidrih.



Slika 60: Osne sile v vertikalnih sidrih v temeljni plošči zaradi sile prednapetja iz 3D analize

Na sliki 61 so prikazane osne sile v vertikalnih sidrih v temeljni plošči za končno stanje. Sile v sidrih so v razponu med 225 kN do maksimalne sile 490 kN. Pojavijo se razumljive razlike med posameznimi vrstami, prav tako pa prihaja tudi do razlik vzdolž same vrste. Največje vrednosti dobimo v zadnji vrsti ter na obeh stranskih robovih temeljne plošče. Če pogledamo razmerje vsote sil v sidrih v posamezni vrsti s številom sider v posamezni vrsti, ugotovimo, da je najbolj obremenjena zadnja vrsta, kar je razumljivo zaradi daljše ročice od osi vrtenja.



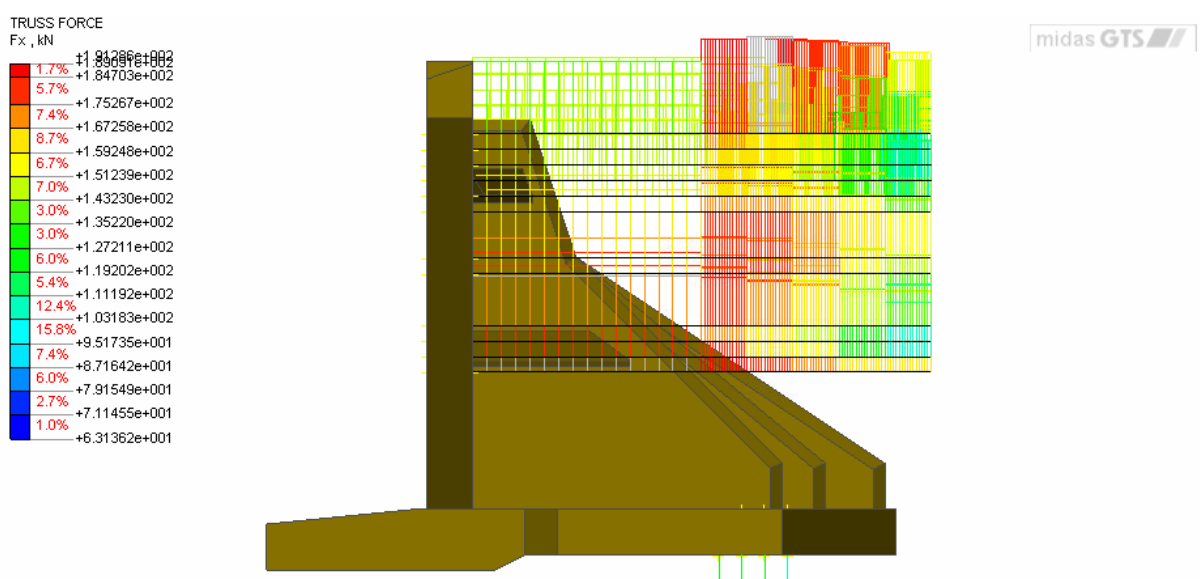
Slika 61: Osne sile v vertikalnih sidrih v temeljni plošči zaradi obtežbe plazju iz 3D analize

Izračun v nadaljevanju pokaže, da je projektna nosilnost sider v vertikalnih sidrih zadostna, saj je večja od projektne obremenitve.

$$P_d = \max \left\{ \begin{matrix} P_d \text{ (MSN)} \\ 1,35 \cdot P_{SLS} \\ 1,35 \cdot P_0 \end{matrix} \right\} = \max \left\{ \begin{matrix} 581 \\ / \\ 1,35 \cdot 225 \end{matrix} \right\} = \max \left\{ \begin{matrix} 581 \\ / \\ 304 \end{matrix} \right\} = 581 \text{ kN} < \frac{P_{a;k}}{\gamma_{a;p}} = \frac{1700 \text{ kN}}{1,4} = 1214 \text{ kN}$$

Odpornost sidra na izvlek $P_{a;k}$ je predpostavljena na 1700 kN in jo je potrebno na terenu preveriti s testi.

Na spodnji sliki 62 so prikazane osne sile v horizontalnih sidrih v frontalni plošči. Sile v sidrih padajo od vrednosti 1110 kN spodaj do 985 kN v vrhnjih sidrih.



Slika 62: Osne sile v horizontalnih sidrih v frontalni steni zaradi obtežbe plazju iz 3D analize

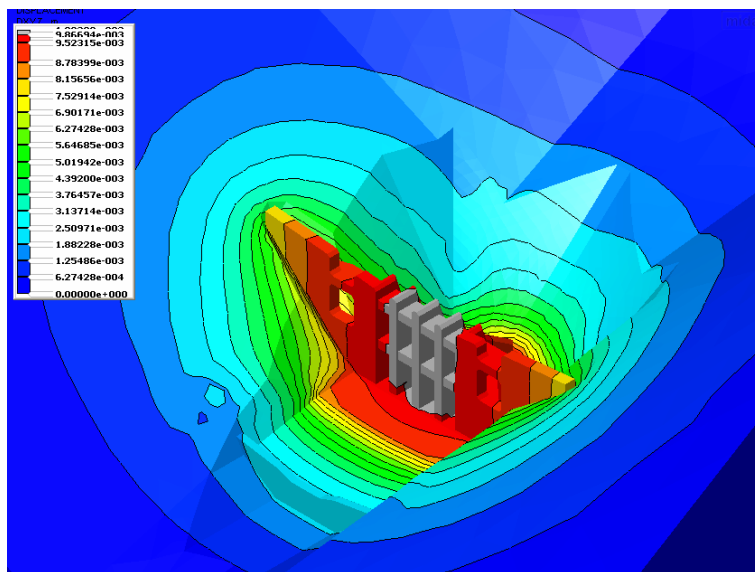
$$P_d = \max \left\{ \begin{matrix} P_d \text{ (MSN)} \\ 1,35 \cdot P_{SLS} \\ 1,35 \cdot P_0 \end{matrix} \right\} = \max \left\{ \begin{matrix} 1110 \\ / \\ 1,35 \cdot 300 \end{matrix} \right\} = \max \left\{ \begin{matrix} 1110 \\ / \\ 405 \end{matrix} \right\} = 1110 \text{ kN} < \frac{T_{a;k}}{\gamma_{a;p}} = \frac{1700 \text{ kN}}{1,4} = 1214 \text{ kN}$$

Projektna sila v horizontalnih sidrih je prav tako manjša od projektne nosilnosti Dywidag sidra. Od tod sledi, da sidra Dywidag, ϕ 57,5 mm v izbranem rastru zadostujejo.

5.10 Kontrola pomikov

V nadaljevanju si pogledjmo še pomike, ki nastanejo zaradi različnih konstrukcijskih stanj. Omejili se bomo na pomike zaradi lastne teže ter pomike zaradi obtežbe plazju (končno stanje). Vmesni računski korak (prednapetje) ima zanemarljiv vpliv na pomike.

V prvem računskem koraku je v analizi upošteevano, da se pomiki, samo zaradi lastne teže zemljine, zbrisejo, tako da dobimo v drugem koraku samo pomike zaradi lastne teže pregrade.

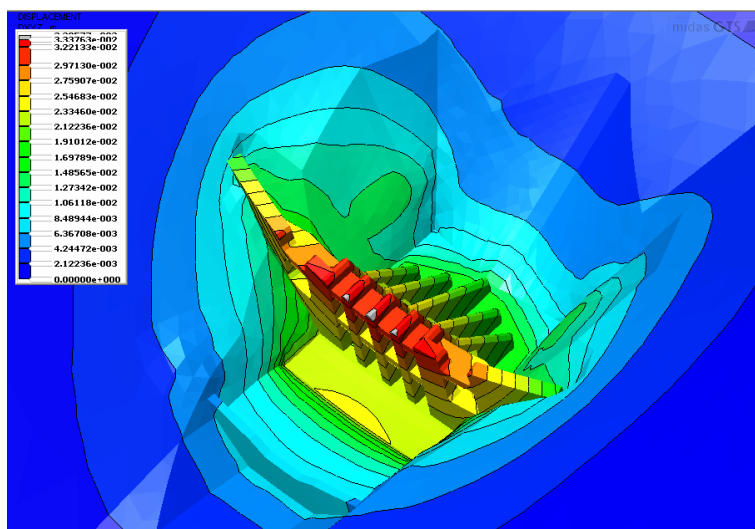


Slika 63: Prikaz velikosti vektorja pomikov zaradi lastne teže pregrade iz 3D analize

Iz zgornje slike 63 lahko vidimo obliko pomikov zaradi lastne teže, ki je pretežno enakomerna na sredini pod temeljnimi tlemi, medtem ko se krili posedeta manj.

Pomiki zaradi lastne teže so velikostnega reda $u_z = 1$ cm po celotni temeljni ploskvi, kar je ugodno, saj ne prihaja do diferenčnih posedkov, ki bi neugodno delovali na konstrukcijo (povečanje notranje statičnih količin).

V nadaljevanju so prikazani pomiki zaradi obtežbe plaz. Iz slike 64 se lahko razbere pričakovana deformacijska oblika. Največji vektor pomika je na sredini pregrade in znaša 3,5 cm ($u_y = 2,9$ cm), medtem ko je na robu krila pomik 1,5 cm ($u_y = 0,9$ cm). Pregrada se zaradi obtežbe dvigne na zadnjem delu glede na prejšnji računski korak, kar je pričakovano. Relativni pomik v primerjavi s prejšnjim računskim korakom znaša $u_z = 0,8$ cm.

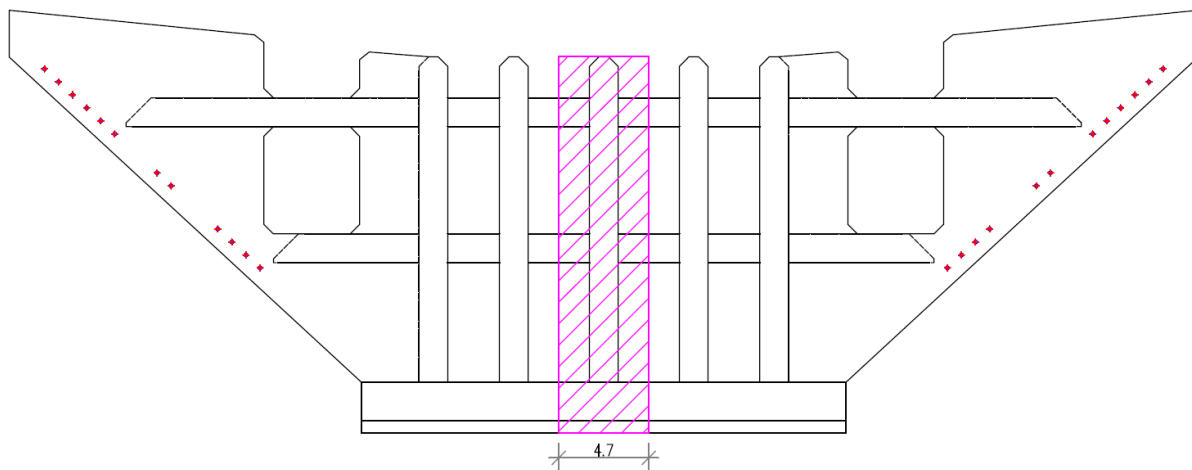


Slika 64: Prikaz velikosti vektorja pomikov zaradi obtežbe plaz iz 3D analize

6 PRIMERJAVA 2D IN 3D ANALIZE S PROGRAMOM MIDAS GTS

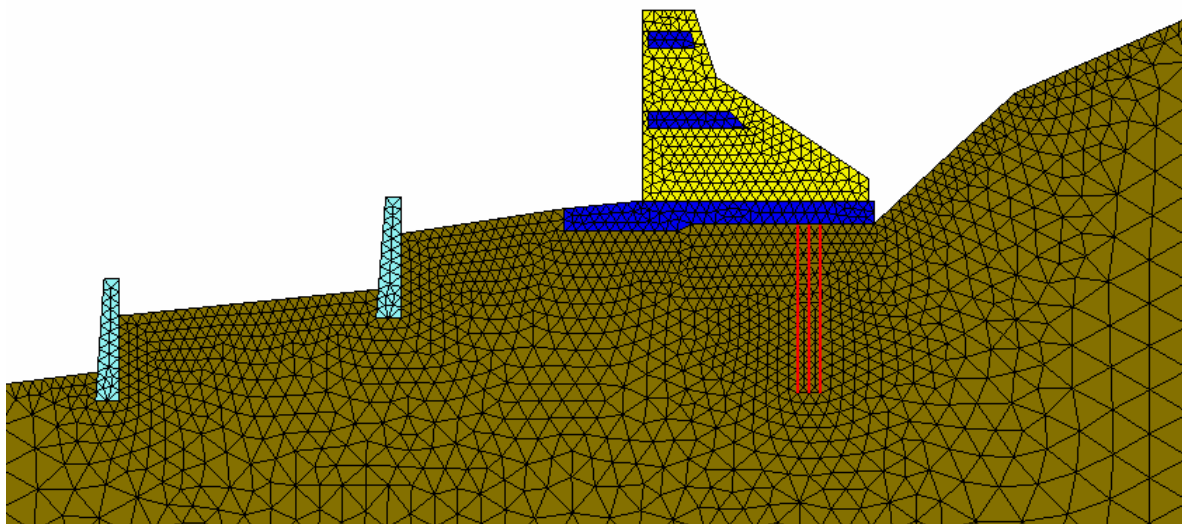
6.1 Splošno

Poleg 3D analize je bila narejena še 2D analiza s programom Midas GTS. Pas enega metra preko sredine pregrade je bil vzet v izračun s sodelujočo širino 4,7 m.



Slika 65: Prikaz sredinskega pasu predvidene pregrade upoštevanega v 2D analizi

Upoštevana je bila obtežba plaz, ki odpade na 1 m. Prerez sider ter sila prednapetja je bila ustrezno zmanjšana, da ustreza modelu. Pregrada je modelirana z dvema materialoma, zaradi razčlenjene strukture. Na delu, kjer je pregrada na svoji sodelujoči širini polna, je upoštevana polna prostorninska teža, na delu, kjer je votla, pa je izračunana povprečna teža za območje sodelujoče širine. Tako je na sliki 66 spodaj vidna razlika v materialu pregrade. Modro predstavlja polno pregrado na sodelujoči širini, medtem ko rumena predstavlja delno zapolnjeno pregrado na delu sodelujoče širine. Pri delno zapolnjeni pregradi je bila upoštevana prostorninska teža $\gamma_b = 8 \text{ kN/m}^3$, katero dobimo iz razmerja med debelino srednjega rebra (1,5 m) in sodelujočo širino (4,7 m).



Slika 66: 2D model predvidene pregrade v programu Midas GTS

Karakteristike materialov so enake kot pri 3D analizi. Prav tako je za izračun uporabljena nelinearna analiza računskih korakov.

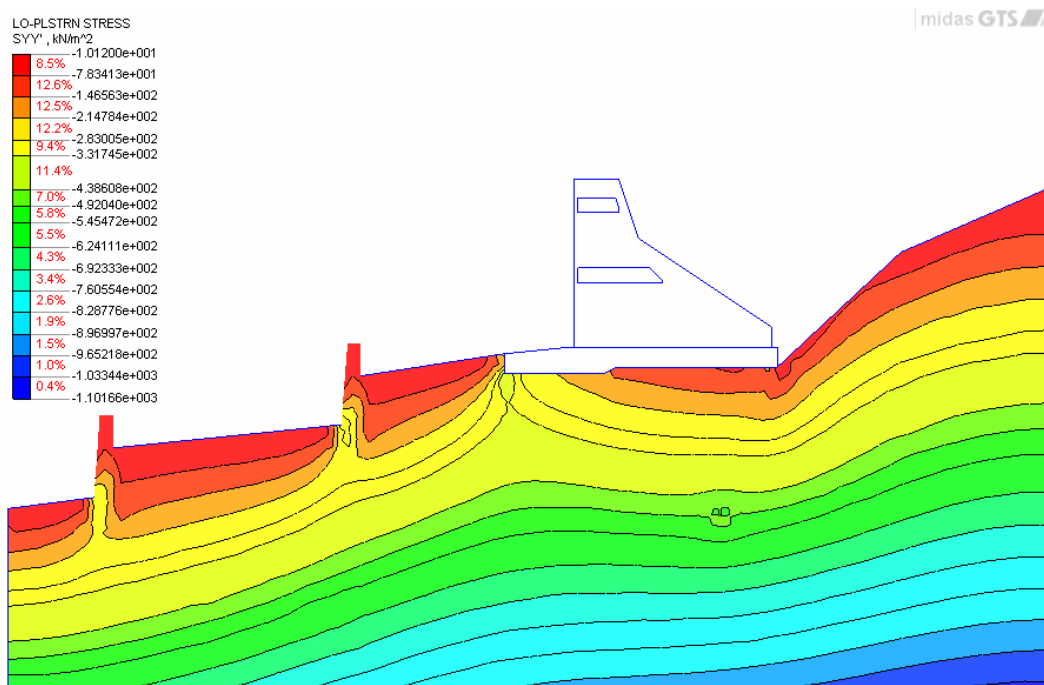
6.2 Primerjava 2D in 3D analize

6.2.1 Splošno

V nadaljevanju je izvedena primerjava napetosti, osnih sil v sidrih ter pomikov.

6.2.2 Napetosti v temeljnih tleh

Spodaj so na sliki 67 prikazane vertikalne napetosti σ_{yy} v temeljnih tleh iz 2D analize. Na zadnji strani pregrade se pojavijo napetosti velikosti 350 kPa, ki se proti sredini zmanjšajo na 100 kPa, nato pa do sprednjega dela narastejo na 280 kPa.



Slika 67: Napetosti σ_{yy} v temeljnih tleh zaradi obtežbe plazu iz 2D analize

Če primerjamo rezultate s 3D analizo ugotovimo, da dobimo z 2D analizo večje vrednosti. S 3D analizo dobimo na sredini pregrade napetosti velikostnega reda 95 kPa, medtem ko z 2D analizo dobimo napetosti okoli 115 kPa. Razlika je 27 %. Razliko si razlagamo s tem, da primer ni tipičen 2D, kjer bi bila ena dimenzija veliko večja v primerjavi z ostalimi. Poleg tega 2D model ne predvideva, zaradi strmega pobočja, bočnega prenosa obtežbe v hribino. Ta vpliv 3D analiza zajame.

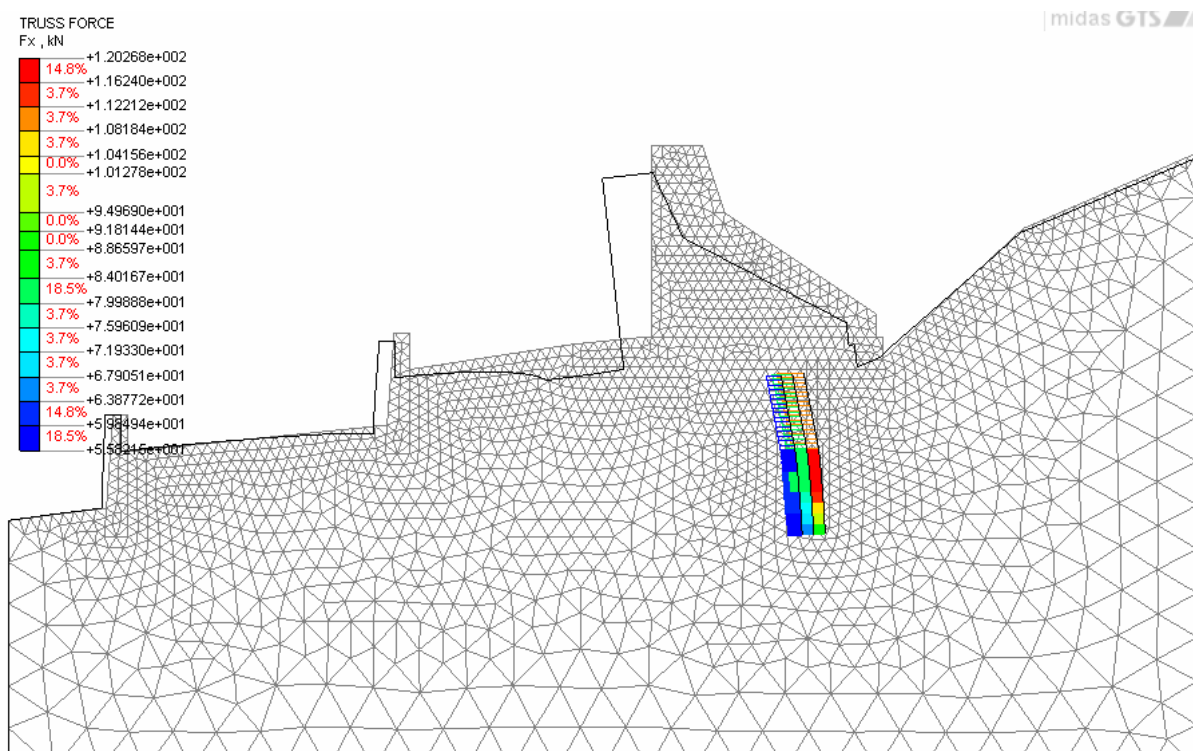
Preglednica 39: Primerjava vertikalnih napetosti σ_{yy} med 2D in 3D analizo v temeljnih tleh zaradi obtežbe plazu.

	σ_{yy} [kN] iz 2D analize	σ_{yy} [kN] iz 3D analize	Razmerje
sredina	100-130	80-100	27 %

Če si pogledamo vsoto vertikalne reakcije zaradi stalne obtežbe pregrade vidimo, da je pri 3D analizi vsota vertikalne reakcije okoli 3700 kN/m, s predpostavko, da se celotna stalna obtežba prenese preko temeljne plošče, tudi krila. Pri 2D analizi dobimo vsoto vertikalne reakcije okoli 3400 kN/m, kar je manj kot pri 3D analizi. Posledično bi morali pri 2D analizi dobiti za cca 8% nižje vrednosti kakor pri 3D analizi. Sklepamo, da se določen del obtežbe prenese bočno preko kril.

6.2.3 Sile v sidrih

Kakor je navedeno zgoraj, so v 2D analizi upoštevana sidra z ustrezno zmanjšanim prerezom in silo prednapetja, tako da ustreza računski širini enega metra.



Slika 68: Osne sile v vertikalnih sidrih v temeljni plošči zaradi obtežbe plazuz iz 2D analize

Iz analize smo dobili sile, ki veljajo za en meter, tako da jih je potrebno za primerjavo s 3D analizo pretvoriti. To naredimo tako, da pomnožimo s sodelujočo širino 4,7 m.

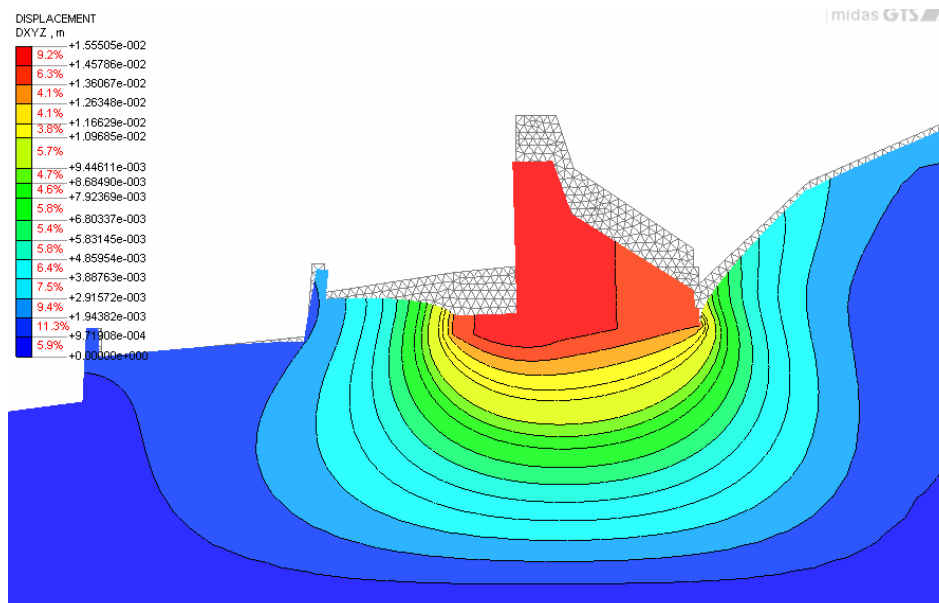
Preglednica 40: Primerjava osnih sil v sidrih med 2D in 3D analizo zaradi obtežbe plazuz.

	Osne sile 2D [kN]	Dejanske sile 2D [kN]	Osne sile iz 3D [kN]	Razmerje
1 vrsta	62,5	293,8	246,0	19 %
2 vrsta	83,5	392,5	304,0	29 %
3 vrsta	120,5	566,4	391,0	45 %

Razmerja odstopanj rezultatov so podobna kot pri vertikalnih napetosti σ_{yy} v temeljnih tleh. Če primerjamo s 3D analizo ugotovimo, da dobimo večje vrednosti z 2D analizo.

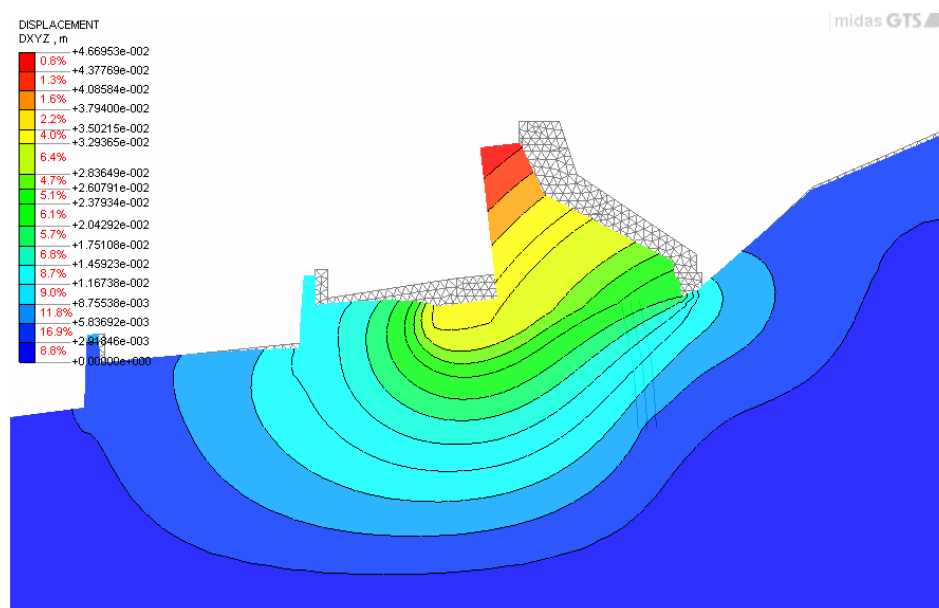
6.2.4 Pomiki

V sklopu primerjave rezultatov med 2D in 3D analizo si pogledjmo še pomike. Spodaj so na sliki 69 prikazani pomiki zaradi lastne teže pregrade. Maksimalni pomik z 2D analizo znaša $u_{\max}=1,55$ cm. Če primerjamo s 3D analizo ($u_{\max}=1,0$ cm), ugotovimo, da dobimo večji pomik. Razlog je podoben kot pri napetostih v temeljnih tleh.



Slika 69: Pomiki zaradi lastne teže konstrukcije iz 2D analize

Če pogledamo še pomike v končnem stanju, dobimo $u_{\max}=4,6$ cm, kar je več kot dobimo s 3D analizo, kjer je $u_{\max}=3,5$ cm. Razlika je 31 %, kar je podobno kakor smo dobili pri vertikalnih napetostih v temeljnih tleh in silah v vertikalnih sidrih v temeljni plošči.



Slika 70: Pomiki zaradi obtežbe plazju iz 2D analize

7 ZAKLJUČEK

Analiza je pokazala, da z 2D analizo dobimo večje vrednosti, kar je s strani varnosti ugodno (bolj konservativen primer). Problem je v tem, da ne gre za tipičen 2D primer, kjer bi bila ena dimenzija veliko večja v primerjavi z ostalimi. Poleg tega 2D model predvidena raven teren izven ravnine modela. V našem primeru to ne moremo trditi, saj imamo na levi in desni strani strma pobočja. Zaradi tega pride do bočnega prenosa obtežbe v hribino. Ta vpliv 3D analiza zajame.

Spodaj so v preglednici 41 našteje določene prednosti in slabosti uporabe 2D oziroma 3D analize. 2D analiza se lahko pohvali s krajšim časom porabljenim za modeliranje in analizo. Danes je vedno stiska s časom, zato se večina poslužuje 2D modelov.

Preglednica 41: Primerjava prednosti in slabosti 2D in 3D analize.

	PREDNOSTI	SLABOSTI
2D ANALIZA	+ modeliranje + krajši čas analize + možnost hitre spremembe modela	- v primeru razčlenjenih konstrukcij slabša primerljivost rezultatov s 3D
3D ANALIZA	+ upoštevanje 3D učinkov + 3D vizualizacija obnašanja modela + realno obnašanje konstrukcije	- dolgotrajno modeliranje pregrade - daljši čas analize - konvergenca zaradi lokalnih problemov (nestabilnost pobočja,...)

Za 2D in 3D analizo smo uporabili program Midas GTS. Program ima določene prednosti in slabosti, ki so bile zasledene tekom uporabe programa.

Kot prednosti bi navedli velik izbor možnih uvoznih datotek od formata DXF do parametričnih modelov IGES in STEP. Z uporabo program postane uporabniku prijazen, saj obstaja kar nekaj bližnjic, ki uporabniku olajšajo monotono klikanje posameznih vozlišč, elementov. Prav tako je uporaben ukaz za generiranje terena, ki na podlagi izolinij naredi ploskev terena. Najbolj uporaben pa se mi je med samo uporabo zdel generator mreže končnih elementov. Omogoča podajanje velikosti mreže končnih elementov za linijske elemente (robove 3D elementov), ploskovne elemente ter 3D elemente. S pomočjo tega lahko generiramo gostejšo mrežo končnih elementov v območju konstrukcije, medtem ko okoliški teren modeliramo z večjimi elementi ter tako zmanjšamo čas izračuna. Nekaj slabosti je tudi v programu. Najbolj problematično se zdi podajanje obtežbe na konstrukcijo. Obtežbo je potrebno podati, ko je izvedena mreža končnih elementov. Če imaš npr. ploskovno obtežbo, je potrebno klikati po končnih elementih (problem pri gosti mreži). Druga zadeva, ki mi je padla v oči, je ročno podajanje potencialnih drsin pri stabilnosti analizi. V splošnem pa je program dober za uporabo in z intenzivno uporabo se tudi slabosti v programu lahko lotiš na kakšen drugačen način, ki je hitrejši in uporabniku bolj prijazen.

Preglednica 42: Prednosti in slabosti programa Midas GTS.

	PREDNOSTI	SLABOSTI
MIDAS GTS	+ možnost uvoza DXF formata ter še posebej uvoza parametričnih modelov STEP, IGES + možnost generiranja terena s TERRAIN GEOMETRY MAKER + kombinacija 1D, 2D in 3D elementov v istem modelu + možnost izračuna konstrukcijskih stanj z izračunom faktorja varnosti za posamezno konstrukcijsko stanje + omogoča tekom analize konstrukcijskih stanj zamenjavo določenega elementa (izkop-zemljina v temeljno ploščo-beton) + velik izbor možnih materialnih modelov ter analiz + modeliranje mreže končnih elementov (podajanje velikosti mreže za linijske, ploskovne ter 3D elemente)	- podajanje obtežbe na predhodno izvedeno mrežo končnih elementov - ročno podajanje potencialnih drsin pri stabilnostni analizi

Kakor smo videli, je projektiranje pregrad zelo zahtevna naloga. Za izdelavo kvalitetnega končnega izdelka je potrebnega veliko sodelovanja med posameznimi strokami znotraj gradbeništva. Pregrade večino postavljamo v zelo otežena področja, kjer je potrebna podrobna geomehanska analiza za zagotavljanje primerne temeljenja. V Sloveniji pregradno inženirstvo ni tako razširjeno kakor v Avstriji. Prav tako smo ugotovili, da v Sloveniji pregradno inženirstvo ni najbolje pokrito z zakonodajo. V primeru projektiranja pregrad v Sloveniji je tako potrebno priporočila poiskati bodisi v tuji literaturi oziroma sosednjih dveh državah (Avstrija, Švica), ki imata za to urejeno tehnično regulativo. Trenutno je v Sloveniji v fazi načrtovanja ali gradnje 14 pregrad do leta 2030.

VIRI

- [1] Bacher, M. 2007. Snow and Avalanches 03. Dunaj, Universität für Bodenkultur Wien: 109 str.
http://czu.kbx.cz/BOKU/SNOW%20AND%20AVALANCHE/Prezentace/Snow_and_Avalanches_01-3en02.pdf (Pridobljeno 25. 9. 2013.)
- [2] Bergmeister, K., Suda, J., Hübl, J., Miklau, F. R., 2009. Schutzbauwerke gegen Wildbachgefahren. Berlin, Wilhelm Ernest & Sohn: 211 str.
- [3] Horvat, A., Papež, J., Cej, T. 2006. Sistem namernega proženja snežnih plazov s strelno cevjo na smučišču Kanin. Ujma: 20, 230-233.
www.sos112.si/slo/tdocs/ujma/2006/papez.pdf (Pridobljeno 2. 11. 2013.)
- [4] Johannesson, T., Gauber, P., Issler, P., Lied, K. 2009. The design of avalanche protection dams. Bruselj, Evropska komisija: 205 str.
http://ec.europa.eu/research/environment/pdf/design_avalanche_protection_dams.pdf (Pridobljeno 26. 9. 2013.)
- [5] Markič, M. 2008. Geografski pogledi na možne oblike zavarovanj prometnic in smučišč pred snežnimi plazovi na izbranih primerih v Sloveniji. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta (samozaložba M. Markič): 130 f
- [6] Miklau, F. R., Sauermoser, S. 2011. Handbuch Technischer Lawinenschutz. Berlin, Wilhelm Ernest & Sohn: 464 str.
- [7] Miklau, F. R., Suda, J. 2011. Technical standards for debris flow barriers and breakers. Padova, 5th International conference on debris flow hazard mitigation: 9 str.
http://www.ijege.uniroma1.it/rivista/5th-international-conference-on-debris-flow-hazards-mitigation-mechanics-prediction-and-assessment/topic-9-debris-flow-countermeasures/technical-standards-for-debris-flow-barriers-and-breakers/ijege-11_bs-rudolf_miklau-suda.pdf (Pridobljeno 3. 9. 2013.)
- [8] Pestotnik, S. 2011, Hidrološki model Glinščice s programom Flo-2D. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba S. Pestotnik): 63 f.
- [9] Sampl, P., Granig, M. 2009. Avalanche Simulation with SAMOS-AT. Davos, International Snow Science Workshop: 519-523.
<http://arc.lib.montana.edu/snow-science/objects/issw-2009-0519-0523.pdf> (Pridobljeno 27. 9. 2013.)

- [10] Sauermoser, S. 2012, Avalance control. Innsbruck, Austriam service for torrent und avalanche control: 124 str.
<http://www.cem.gov.tr/erozyon/Files/moduller/etutproje/sunumlar/%C3%87%C4%B1%C4%9F%20kontrolu%20Siegfried%20Sauermoser.pdf> (Pridobljeno 23. 9. 2013.)
- [11] Galonja, S. 2010. Pregled tehničnih predpisov s področja graditve pregrad. V: Sedej, A. (ur.), Širca, A. (ur.), Ravnikar Turk, M (ur.). 12. Posvetovanje SLOCOLD: Varnost pregrad v Sloveniji. Ljubljana, SLOCOLD – Slovenski komite za visoke pregrade: str. 7-11.
www.slocold.si/zbornik/Z_12.pdf (27. 9. 2013.)
- [12] Sirk, K. 2011. Ocena nevarnosti snežnih plazov na železniškem odseku Podbrdo – Hudajužna. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba K. Sirk): 97 f
- [13] Suda, J., Skolaut, C., Bergmeister, K., Miklau, F. R., Hübl, J., 2008. Einsatz von Beton für Schutzbauwerke gegen Wildbachgefahren. Zement und Beton 3/08: 6-16.
http://www.zement.at/Service/literatur/fileupl/03_08schutzbauwerke.pdf (Pridobljeno 25. 7. 2012)
- [14] Zadnik, B. 2012. Smernice za zagotavljanje varnosti pregradnih objektov. Ljubljana, Inženirska zbornica Slovenije: 48 str.
[http://www.izs.si/fileadmin/dokumenti/publikacije-IZS/Smernice IZS/Smernice IZS MSG 01 2012 VarnostPregradnihObjektov web final.pdf](http://www.izs.si/fileadmin/dokumenti/publikacije-IZS/Smernice%20IZS/Smernice%20IZS%20MSG%2001%202012%20VarnostPregradnihObjektov%20web%20final.pdf) (Pridobljeno 18. 11. 2012.)
- [15] Zorn, M., Komac, B. 2008. Zemeljski plazovi. Ljubljana, Geografski inštitut Antona Melika: 159 str.
<http://giam2.zrc-sazu.si/sites/default/files/9789612541071.pdf> (Pridobljeno 27. 11. 2012.)

Standardi:

- [16] ONR 24802, Schutzbauwerke der Wildbachverbauung – Projektierung, Bemessung und konstruktive Durchbildung, Dunaj, Österreichisches Normungsinstitut.
- [17] ONR 24805, Permanenter technischer Lawinenschutz – Benennung und Definitionen sowie statische und dynamische Einwirkungen, Dunaj, Österreichisches Normungsinstitut.
- [18] ÖNORM EN 1997-1. Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln.

[19] ÖNORM B 1997-1-1. Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln – Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1997-1 und nationale Ergänzungen.

[20] Pravilnik o opazovanju seizmičnosti na območju velike pregrade. Uradni list RS št. 92/99, 44/03.

Slikovno gradivo:

[21] Slike poteka izgradnje pregrade. 2013.

<http://www.praegraten.info/cms/projekte/timmelbach-lawine/> (Pridobljeno 28. 9. 2013)

[22] Slika plazov za tabelo klasifikacija snežnih plazov Lawinenklassifikation. 2013.

<http://www.slf.ch/schneeinfo/rueckmeldungen/help/lawklass-de.html> (Pridobljeno 28. 9. 2013)

[23] Panoramska slika mesta St. Andrä. 2013.

<http://www.alpenpixel.at/pano/pragratendorf/dorf.html> (Pridobljeno 30. 10. 2013)

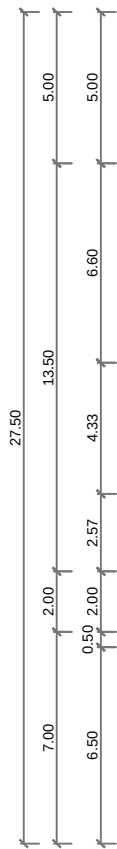
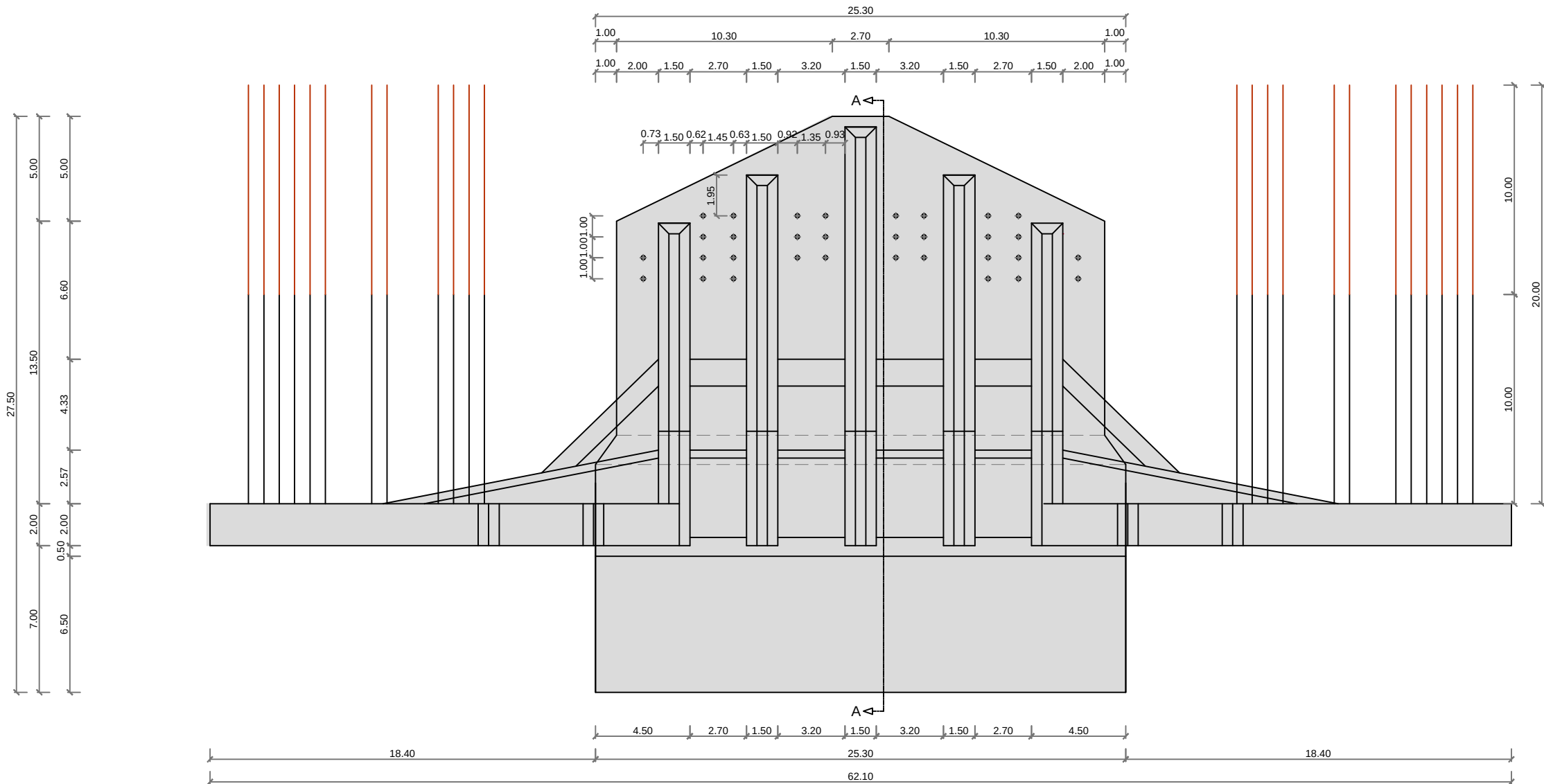
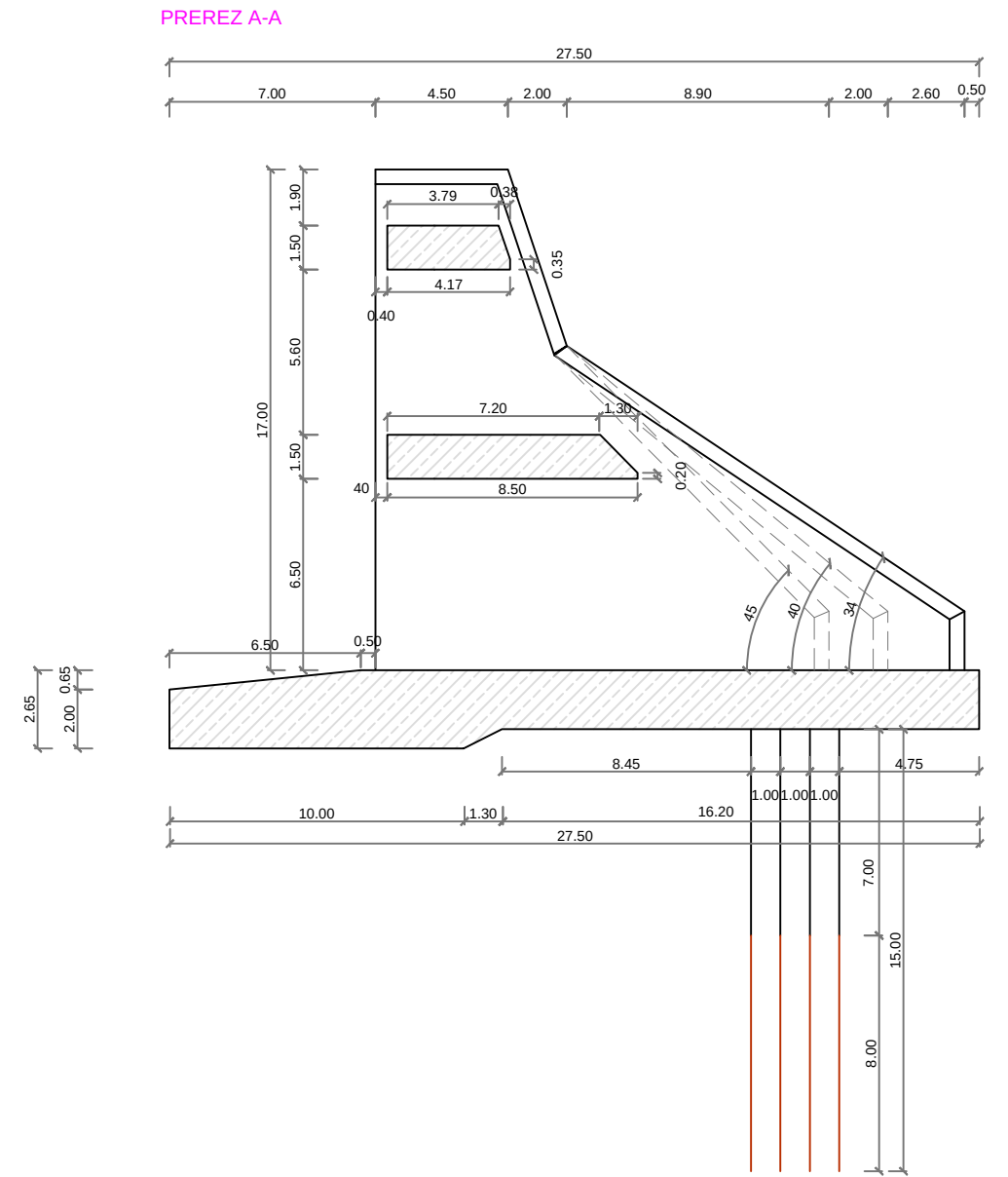
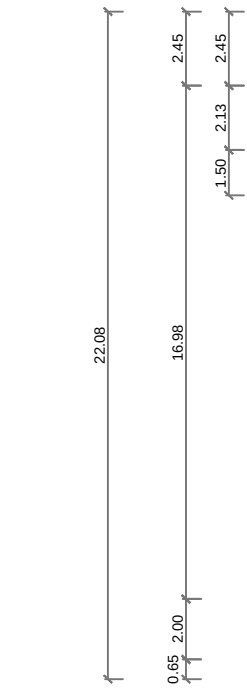
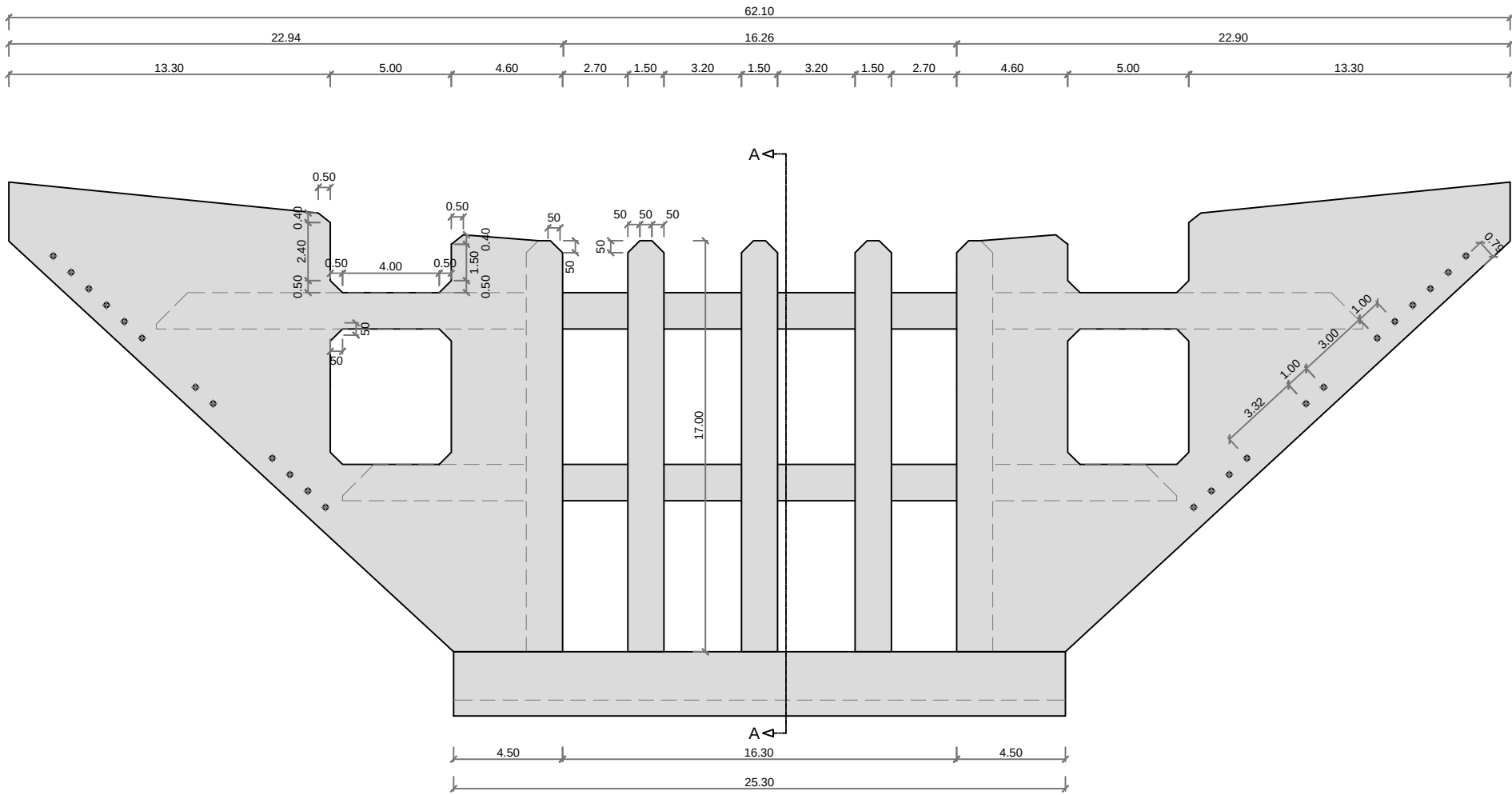
[24] Razbijač drobirskega toka v ožini hudournika Predelica. 2013.

<http://www.gore-ljudje.net/novosti/8061/> (Pridobljeno 9. 12. 2013)

SEZNAM PRILOG

PRILOGA A: Opažni načrt pregrade.....	A1
--	-----------

PRILOGA A: OPAŽNI NAČRT PREGRADE



FGG		Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
		Ljubljana
		Slovenija
diplomant:	Viktor Torkar	
vpisna številka:	26108645	
datum:	december 2013	
projekt:	Diplomska naloga	
objekt:	HUDOURNIŠKA PREGRADA	
vsebina:	Pregledna situacija	
načrt:	Opažni načrt	
merilo:	1:250	št. lista:
		A1