

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:

Vadnjal, M. 2013. Možnosti nadvišanja pregrade Klivnik. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Kryžanowski, A., somentor Schnabl, S.): 72 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:

Vadnjal, M. 2013. Možnosti nadvišanja pregrade Klivnik. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Kryžanowski, A., co-supervisor Schnabl, S.): 72 pp.

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ
GRADBENIŠTVA
HIDROTEHNIČNA SMER

Kandidat:

MIHA VADNJAL

MOŽNOSTI NADVIŠANJA PREGRADE KLIVNIK

Diplomska naloga št.: 3301/HS

POSSIBILITIES OF KLIVNIK DAM HEIGHTINING

Graduation thesis No.: 3301/HS

Mentor:

doc. dr. Andrej Kryžanowski

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Janko Logar

Somentor:

doc. dr. Simon Schnabl

Ljubljana, 30. 05. 2013

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani MIHA VADNJAL izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:

»MOŽNOSTI NADVIŠANJA PREGRADE KLIVNIK«

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

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

Ljubljana, 15.5.2013

MIHA VADNJAL

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	627.82(043.2)
Avtor:	Miha Vadnjal
Mentor:	doc.dr. Andrej Kryžanowski
Somentor:	doc.dr. Simon Schnabl
Naslov:	Možnosti nadvišanja pregrade Klivnik
Obseg in oprema:	72 str., 9 pregl., 62 sl., 3 en.
Ključne besede:	pregrada, nadvišanje, akumulacija, zaledne vode, DIANA

Izvleček

Prvi del diplomske naloge vsebuje opis problema, zaradi katerega je prišlo do ideje nadvišanja pregrade Klivnik, vlogo akumulacij Klivnik in Mola v porečju reke Reke, pregled obstoječega stanja pregrade Klivnik in njenih pripadajočih objektov, drugi del pa se nanaša na nadvišanje pregrade. Izdelana je bila problemska karta, s pomočjo katere je opisano, kako bi dvig maksimalne gladine vode v akumulaciji vplival na prostor okoli akumulacije pri različnih velikostih nadvišanja pregrade, s pomočjo krivulje volumna in površine akumulacije v odvisnosti od višine vode pa so ocenjeni novi volumni akumulacije in njene površine. S pomočjo teh podatkov so določene omejitve nadvišanja pregrade. V nadaljevanju so opisane metode nadvišanja zemeljskih pregrad, podrobneje postopek, ki je bil izbran za izvedbo nadvišanja pregrade Klivnik, material, s katerim bi gradili nadvišanje, ter ocena količine novega materiala. Nadvišanje vpliva tudi na objekte, ki se nahajajo na pregradi, zato je v ta namen opisana ureditev in dograditev vseh objektov na pregradi, za katere je to potrebno. V sklop projekta nadvišanja bi lahko vključili tudi problem iztekanja zaledne vode v akumulacijo tik ob pregradi, saj je to potrebno urediti tudi v primeru, da pregrade ne bi nadvišali. V nadaljevanju je zato podana tudi ureditev tega problema. Za izračun pomikov obstoječe pregrade in pomikov, ki bi bili povzročeni zaradi dodatnega materiala na pregradi, je bil uporabljen računalniški program TNO DIANA. V zadnjem poglavju je opisan model pregrade Klivnik s pripadajočimi obtežbami, materialnimi lastnostmi in robnimi pogoji, prav tako pa tudi izdelava tega modela v grafičnem vmesniku iDIANA, izračun v programu TNO DIANA in primerjava rezultatov izračuna za model obstoječe in nadvišane pregrade.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDK: 627.82(043.2)
Author: Miha Vadnjal
Supervisor: Assist. Prof. Andrej Kryžanowski, Ph.D.
Cosupervisor: Assist. Prof. Simon Schnabl, Ph.D.
Title: Possibilities of Klivnik dam heightening
Notes: 72 p., 9 tab., 62 fig., 3 eq.
Key words: dam, heightening, reservoir, back waters, DIANA

Abstract

The first part of this paper contains description of the problem, which led to an idea of heightening Klivnik dam, role of the Klivnik and Mola reservoirs in reka Reka river basin, review of existent state of Klivnik dam and its objects, while the second part refers to Klivnik dam heightening. The problem plan has been designed to help to describe how the rising of maximum water level in reservoir affects the area by the reservoir at different heights of dam raising. With reservoir volume – water height and reservoir surface – water height dependency graph, the new approximate volumes and surfaces of reservoir are appreciated. With help of that informations, the limitations of heightening were defined. In continuation, the methods of earth dam raising are described, more precisely the procedure, which was chosen for construction of Klivnik dam heightening, the material which is planned to be used for that construction and approximate appreciation of its amounts. Heightening of a dam also affects the objects that are set on the dam and therefore the settlement and completion of all objects, that would be affected by heightening is described. The project of Klivnik dam heightening could also include the regulation of back-waters which flow in reservoir next to the dam, because this problem needs to be solved, even if the dam would not be heightened. Therefore, the regulation of back-waters is also described in this paper. For the calculation of displacements of existent dam and displacements that would be caused by additional material on the dam, a computer program TNO DIANA was used. In the last chapter, the model of Klivnik dam with appurtenant loads, material properties and boundary conditions as well as the making of this model in graphics interface iDIANA, the calculation in program TNO DIANA and comparison of results for model of existentent and heightened dam have been described.

ZAHVALA

Za pomoč in vodenje pri nastajanju diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju doc. dr. Andreju Kryžanowskem in somentorju doc dr. Simonu Schnablu. Zahvaljujem se tudi družini in vsem ostalim, ki so mi v času študija stali ob strani.

Posebna zahvala gre tudi Agenciji RS za okolje za omogočen vpogled v projektno dokumentacijo pregrade Klivnik.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
2	OPIS PROBLEMA	3
3	VLOGA AKUMULACIJ KLIVNIK IN MOLA	5
3.1	Prvotni namen izgradnje akumulacije Klivnik	5
3.2	Prvotni namen izgradnje akumulacije Mola	6
3.3	Pomanjkanje vode v reki Reki	7
4	OPIS PREGRADE KLIVNIK	8
4.1	Geološke, seizmo-tektonske, hidrološke in hidravlične razmere na območju pregrade	8
4.1.1	Geološke razmere	8
4.1.2	Seizmo-tektonske razmere	9
4.1.3	Hidrološke in hidravlične razmere	10
4.2	Izbor tipa pregrade	11
4.3	Splošen opis pregrade Klivnik	12
4.4	Konstrukcija in temeljenje pregrade	13
4.5	Objekti na pregradi in akumulacija	15
4.5.1	Talni izpust	15
4.5.2	Zapornični objekt in podslapje talnega izpusta	16
4.5.3	Preliv za visoke vode	17
4.5.4	Objekt za upravljanje	18
4.5.5	Akumulacija	18
4.6	Opazovanje objektov	19
4.6.1	Meritve kontrolnih geodetskih točk (reperjev)	19
4.6.2	Inklinometerske vrtine	19
4.6.3	Piezometri	20
4.7	Vzdrževanje objektov, stanje pregrade in izvedeni ukrepi	20
4.7.1	Vizuelni ogled stanja brežin in objektov na pregradi	20
5	VIŠINA NADVIŠANJA IN OMEJITVE	24
5.1	Vpliv nadvišanja na povečanje volumna in površine akumulacije	24
5.2	Opredelitev višine nadvišanja	25
5.2.1	Postopek izrisa območja akumulacije v obstoječem stanju in ob nadvišani pregradi ...	26
5.2.2	Izmera površine območja akumulacije	26
5.2.3	Prednosti in slabosti pri določeni višini nadvišanja glede na omejitve v prostoru	27

6	NADVIŠANJE PREGRADE	31
6.1	Metode nadvišanja.....	31
6.1.1	Metoda nadvišanja s parapetnimi zidovi	31
6.1.2	Dvostranski dvig krone pregrade	32
6.1.3	Mehansko stabilizirana zemljina	33
6.1.4	Nadvišanje pregrade z uporabo valjanega betona ali stabilizirane zemljine	33
6.1.5	Dvostranska razširitev prečnega profila pregrade	35
6.1.6	Nadvišanje z razširitvijo prečnega profila pregrade na dolvodni brežini	36
6.2	Izbira metode nadvišanja.....	38
6.3	Izvedba gradnje na brežini	39
6.4	Izvedba gradnje na vrhu pregrade	41
6.4.1	Količina odkopanega materiala	42
6.4.2	Potrebna količina novega materiala	44
6.5	Objekti na pregradi.....	45
6.5.1	Talni izpust.....	45
6.5.2	Preliv za visoke vode.....	47
7	PROBLEM IZTEKANJA ZALEDNE VODE V AKUMULACIJO	52
7.1	Iztekanje zalednih voda v akumulacijo in v strugo dolvodno	52
7.2	Ureditev zalednih voda.....	53
8	ANALIZA PREGRADE S POMOČJO RAČUNALNIŠKEGA PROGRAMA TNO DIANA	56
8.1	Kratek opis programa	56
8.2	Postopek dela.....	56
8.3	Račun obstoječe pregrade.....	56
8.4	Komentar rezultatov računa obstoječe pregrade	60
8.5	Račun nadvišane pregrade.....	61
8.6	Dejansko posedanje pregrade.....	62
8.7	Izboljšane karakteristike materiala	62
8.7.1	Primerjava rezultirajočih pomikov	63
8.8	Dodatni material	67
9	ZAKLJUČEK	69
VIRI	71

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Podatki o potresih nastalih na Ilirsko Bistriškem področju v preteklih 50 letih (MOP, 2005b).....	10
Preglednica 2: Povratne dobe potresov na pregradi Klivnik (iz informativnega izračuna za projekt opazovanja) (MOP, 2005b)	10
Preglednica 3: Površina in volumen akumulacije ob nadvišanju za 1, 2, 3 in 4 m.....	25
Preglednica 4: Ocenjene količine odkopanega in novega materiala	44
Preglednica 5: Koordinate	49
Preglednica 6: Vrednosti elastičnih modulov za različne vrste zemljin	58
Preglednica 7: Časovni razvoj posedkov (Vir: Komunalno grad. pod. Ilirska Bistrica, 1984a).....	63
Preglednica 8: Posedki pregrade po zgornjem robu, za primer obstoječe in nadvišane pregrade	66
Preglednica 9: Posedki vozlišč dolvodne brežine obstoječe in njim najbližjih vozlišč nadvišane pregrade in razlika – posedek dolvodne brežine zaradi nadvišanja.....	68

KAZALO SLIK

Slika 1: Akumulaciji Klivnik in Mola (vir: Atlas okolja)	6
Slika 2: Pregrada Mola (vir: http://www.slocold.si/galerija/mola/mola.htm)	7
Slika 3: Pregrada Klivnik (vir: osebni arhiv)	12
Slika 4: Brežine pregrade (vir: osebni arhiv in http://www.slocold.si)	13
Slika 5: Karakteristični prečni prerez pregrade Klivnik	15
Slika 6: Vzдолžni prerez pregrade Klivnik (vir: Komunalno gradb. podj. Ilirska Bistrica, 1984a)	15
Slika 7: Podslapje talnega izpusta (vir: osebni arhiv)	16
Slika 8: Preliv za visoke vode z opremo (vir: osebni arhiv)	17
Slika 9: Podslapje preлива za visoke vode (vir: osebni arhiv)	17
Slika 10: Most na začetku podslapja preлива za visoke vode (vir: osebni arhiv)	18
Slika 11: Objekt za upravljanje in most za prehod prelivnega objekta (vir: osebni arhiv)	18
Slika 12: Piezometer tik pod krono pregrade (vir: osebni arhiv)	20
Slika 13: Dolvodna brežina pregrade (vir: lastni arhiv)	21
Slika 14: Poškodbe na dolvodni brežini	21
Slika 15: Slabo stanje prelivne drče	22
Slika 16: Težave v podslapju talnega izpusta	23
Slika 17: Krivulja volumna h-V in površine h-F akumulacije Klivnik v odvisnosti od višine pregrade	25
Slika 18: Slika topografskega načrta, sestavljena iz več manjših slik (vir: Atlas okolja, http://gis.arso.gov.si/atlasokolja)	27
Slika 19: Obrisi akumulacije Klivnik pri maksimalni gladini vode v obstoječem stanju pregrade	27
Slika 20: Križanje ceste in potoka Klivnik (vir: osebni arhiv)	28
Slika 21: Premostitev potoka klivnik pred vtokom v akumulacijo	28
Slika 22: Parapetni zid (vir: US Army Corps of Engineers, 2004)	32
Slika 23: Dvostranski dvig krone pregrade	32
Slika 24: Nadvišanje z mehansko stabilizirano zemljino ob uporabi modularnih konstrukcijskih elementov (vir: US Army Corps of Engineers, 2004)	33
Slika 25: Dvig krone pregrade z uporabo valjanega betona oziroma stabilizirane zemljine	34
Slika 26: Stabilizirana zemljina (viri: http://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/pubs/09112/page07.cfm in http://www.cement.org/basics/concreteproducts_soil.asp)	35
Slika 27: Pregrada, nadvišana z dodajanjem materiala na obe brežini	36
Slika 28: Prerez pregrade nadvišane za 2 m	37
Slika 29: Pregrada, nadvišana za 4m	38
Slika 30: Podrobnejši prikaz odkopavanja in dodajanja plasti na brežini	40

Slika 31: Stopničast stik med starim in na novo dodanim materialom na brežini.....	41
Slika 32: Detajl izvedbe nadvišanja na vrhu pregrade.....	42
Slika 33: Skica pregrade s povprečnimi dimenzijami	43
Slika 34: Podslapje talnega izpusta in zapornični objekt. Rdeča barva - nova brežina pregrade, nadvišane za 2m; zelena barva - nova brežina pregrade, nadvišane za 4m	46
Slika 35: Levo - Tloris podpornega zidu za zaporničnim objektom; desno – Podporni zid za zaporničnim objektom, pogled v prerezu A - A	47
Slika 36: Nadvišana bočna zidova podslapja talnega izpusta.....	47
Slika 37: Tloris prelivnega objekta (Vir: Komunalno gradb. podj. Ilirska Bistrica, 1984a)	48
Slika 38: Nadvišan preliv s podaljšanjem prelivne drče navzgor.....	48
Slika 39: Oblika Creager - Oficerovega preлива	49
Slika 40: Nov prelivni objekt pri pregradi nadvišani za 2 m.....	50
Slika 41: Zaklopka in prelivna drča (vir: osebni arhiv).....	51
Slika 42: Poglobitev podslapja na mestu vtoka.....	51
Slika 43: Iztok zaledne vode v akumulacijo, tik ob pregradi; prostor, ki bi ga bilo potrebno zasuti z materialom (vir: osebni arhiv)	53
Slika 44: Ureditev zalednih voda	54
Slika 45: Iztok zalednih vod izpod ceste (vir: osebni arhiv)	54
Slika 46: Pobočne fašine in možnosti njihovega sidranja v podlago (vir: Mikoš, M., 2000).....	55
Slika 47: Usedalni jašek, kjer se združita oba pritoka zalednih voda in vtok pod makadamsko cesto .	55
Slika 48: Mreža končnih elementov modela obstoječe pregrade	57
Slika 49: Obrisi modela pregrade s tlemi. Z modro barvo je označena gladina vode v akumulaciji.....	59
Slika 50: Rezultirajoči pomiki pregrade, predstavljeni z barvnimi konturami.....	60
Slika 51: Mreža končnih elementov modela nadvišane pregrade	61
Slika 52: Rezultirajoči pomiki nadvišane pregrade, predstavljeni z barvnimi konturami.....	62
Slika 53: Vozlišče maksimalnega pomika obstoječe pregrade je označena z modro barvo (258), njej najbližje vozlišče nadvišane pregrade pa z rdečo (407)	63
Slika 54: Deformirana oblika pregrade po povečanju elastičnega modula materiala.....	64
Slika 55: Rezultirajoči pomiki pregrade po povečanju elastičnega modula materiala, predstavljeni z barvnimi konturami	64
Slika 56: Deformirana oblika nadvišane pregrade po povečanju elastičnega modula materiala.....	64
Slika 57: Rezultirajoči pomiki nadvišane pregrade po povečanju elastičnega modula materiala, predstavljeni z barvnimi konturami.....	65
Slika 58: Smeri rezultirajočih pomikov na zgornjem robu modela.....	65
Slika 59: Vozlišča zgornjega roba modela obstoječe in nadvišane pregrade	66
Slika 60: Deformirana oblika nadvišane pregrade samo zaradi obtežbe z vodo (faktor 157)	67

Slika 61: Pomiki nadvišane pregrade, obremenjene samo s hidrostatičnim tlakom vode, predstavljeni z barvno lestvico	67
Slika 62: Vozlišča na dolvodni brežini zgoraj in njim najbližja vozlišča modela nadvišane pregrade (modela imata različno mrežo končnih elementov) spodaj	68

1 UVOD

Ureditev oskrbe slovenske Istre in zalednega Krasa s pitno vodo predstavlja enega od glavnih strateških projektov upravljanja z vodami in urejanja voda v Sloveniji. Za rešitev problema je bilo podanih več variant. Ena od variant predlaga, da za oskrbo z vodo uporabimo že zgrajeni akumulaciji Klivnik in Mola, ki se nahajata na pritokih reke Reke nad Ilirsko Bistrico. Ker pa količinsko obe akumulaciji ne omogočata zanesljivosti oskrbe z vodo v regiji, je za izvedbo tega predloga predhodno nujno potrebno, da se preuči možnost povečanja akumulacijskega prostora z nadvišanjem pregrad Klivnik in Mola in se s tem zagotovi ustrezne vodne količine tako za potrebe oskrbe s pitno vodo, kot za prvotni namen bogatenja pretoka reke Reke v sušnih razmerah.

Namen naloge je preučitev možnosti nadvišanja pregrade Klivnik in povečanje akumulacijskega prostora s ciljem doseči tehnično-tehnološko rešitev, ki je tehnično izvedljiva in ne predstavlja prevelikega posega v okolje in prostor, hkrati pa omogoča dovolj velike dodatne vodne količine, da je poseg tudi ekonomsko smiseln. V prvem delu bomo opredelili prostorske omejitve in posledice zaradi povečanja akumulacijskega prostora, v drugem pa se bomo posvetili problematiki nadvišanja obstoječe pregrade Klivnik. V nalogi bomo predstavili tehnične rešitve, ki po našem mnenju zahtevajo najmanjši možni poseg v konstrukcijo pregrade in spremljajoče objekte na pregradi, in hkrati omogočajo tudi dovolj velike dodatne količine vode v akumulaciji. Pri izdelavi naloge smo upoštevali podatke iz projektne dokumentacije in študij, ki so bile narejene v fazi načrtovanja projekta oskrbe s pitno vodo slovenske Istre in zalednega Krasa. V nalogi smo se osredotočili zgolj na tehnične rešitve in izvedljivosti nadvišanja pregrade ter možnostjo povečanja volumna akumulacije z najmanjšim možnim vplivom glede na zatečeno stanje.

Za preučitev možnosti nadvišanja je bilo potrebno najprej preučiti, v kakšnem stanju je trenutno pregrada. Na osnovi do sedaj izvedenih študij smo pridobili potrebne podatke o geološki sestavi vplivnega območja pregrade, o hidroloških razmerah, o stanju akumulacijskega prostora in sami pregradi ter o spremljajočih objektih na pregradi. Za tem je bilo potrebno preučiti, kako nadvišanje gladine vode v akumulaciji vpliva na okolje in prostor, v katerega je umeščena. V tem kontekstu smo opredelili tudi omejitve nadvišanja. Izvedli smo primerjave volumnov in pripadajočih površin akumulacije glede na višino nadvišanja in določili minimalno koto nadvišanja, ki ga je še smiselno izvesti, glede na količino vode, ki jo s tem pridobimo. V nalogi smo tehnično primerjali projektno zasnovo nadvišanja za 2 m, kar smo privzeli kot optimalno varianto in projektno zasnovo nadvišanja za 4 m, kar predstavlja skrajno varianto, ki je tehnično in prostorsko še izvedljiva. Ko smo določili meje, smo izbrali ustrezno tehnologijo izvedbe nadvišanja pregrade na osnovi razpoložljivega materiala za gradnjo. Pri rekonstrukciji pregrade pa smo upoštevali tudi omejitve, ki jih narekujejo obstoječi spremljajoči objekti na pregradi, na katere bi nadvišanje kakorkoli vplivalo. Funkcionalnost

objektov mora tudi po rekonstrukciji pregrade ostati nespremenjena glede na zatečeno stanje. Pri rekonstrukciji pregrade je bilo potrebno nekatere objekte v celoti rekonstruirati, pri nekaterih pa so bile potrebne samo manjše konstrukcijske dograditve. V diplomski nalogi je opisana tudi ureditev problema iztekanja zalednih voda v akumulacijo na vplivnem območju pregrade, s ciljem preprečiti usedanje plavin na območju vtoka v talni izpust in posledično izboljšati obratovalno varnost pregrade.

V tretjem sklopu pregrade bomo analizirali stabilitev pregrade, račun posedkov pregrade, ki smo jih preračunali s pomočjo računalniškega programa TNO Diana in rezultate računa primerjali z rezultati predhodnih izračunov v projektni dokumentaciji in z dejanskimi posedki, pridobljenimi tekom tehničnega opazovanja pregrade. Račun smo izvedli za primer glavnega obtežnega slučaja; obremenitve pregrade z lastno težo ob upoštevanju hidrostatičnega tlaka vode v akumulaciji.

2 OPIS PROBLEMA

Potrebe po pitni vodi na območju Slovenske Istre in zalednega Krasa se zaradi naraščanja števila prebivalcev in razvoja turizma precej povečujejo in zagotavljanje ustreznih vodnih količin predstavlja vedno večji problem. V preteklih letih je bilo glede ureditve oskrbe prebivalstva s pitno vodo v Obalno-Kraški regiji podanih že več predlogov, ni pa še prišlo do dokončne realizacije, saj so to obsežni projekti, za katere je potrebno pridobiti tudi vsesplošni družbeni konsenz, česar pa do sedaj še niso uspeli doseči.

Glavni vodni vir v slovenski Istri predstavlja reka Rižana, ki se napaja iz kraškega zaledja in je celoletno gledano sorazmerno dovolj vodnata. V poletnem času, ko so potrebe po vodi največje, pa presahne. Manjkajoče vodne količine upravljavec, Rižanski vodovod, zagotavlja iz nadomestnih virov: Brestovice, Sečovelj in uvoza iz Hrvaške. Oskrba s pitno vodo iz nadomestnih virov iz uvoza ne more biti trajna rešitev, ker imajo tudi ti viri omejitve glede na naraščajoče potrebe v drugih regijah (Kras, Hrvaška). Zagotavljanje regionalnih vodnih virov pa je v pristojnosti države. Zato so bile v letu 2002 pričete aktivnosti za zagotovitev vodnega vira, ki bi zagotavljal zadostne količine pitne vode za naraščajoče potrebe v Slovenski Istri in Kraškem zaledju.

Za oskrbo prebivalstva slovenske Istre in zalednega Krasa s pitno vodo so bile v razpravah obravnavane naslednje variante.

Osnovna projektna zasnova predvideva izgradnjo akumulacije na pritoku reke Reke, na Suhorki ali na Padežu z možnostjo črpanja dodatnih vodnih količin iz reke Reke v primeru, da hidrološke razmere to dopuščajo. Vodni vir iz akumulacije Padež/Suhorka se priključi pri Rodiku na obstoječi cevovod, ki povezuje Kraški in Rižanski vodovodni sistem. Z vključitvijo akumulacije Padež/Suhorka je zagotovljen nov vodni vir za oba vodovodna sistema, hkrati pa je še vedno možno dodatno napajanje vodovoda iz kraškega vodnega vira v Brestovici.

Osnovna projektna zasnova je bila v letu 2008 modificirana s tem, da je predvidena akumulacija na potoku Suhorka z dodatno možnostjo črpanja vodnih količin iz potoka Padež, ko hidrološke razmere to dopuščajo. Odločitev za to varianto je bila postavljena na osnovi zagotavljanja varstvenih zahtev na prispevnem območju vodnega vira. Z opustitvijo namere izkoriščanja reke Reke odpade vrsta problemov, ki so vezani na zagotavljanje kvalitete surove vode. Po dolini reke Reke potekajo važne infrastrukturne povezave in gre za sorazmerno poseljeno območje z razvito kmetijsko dejavnostjo. Zagotavljanje varstvenega režima v dolini Padeža in Suhorke je bistveno lažje, saj je območje neposeljeno in tudi vplivi kmetijske dejavnosti v prispevnem območju so neprimerno manjši.

Tekom priprave projektnih zasnov je bila predlagana še alternativna varianta. Po tej varianti bi se voda za oskrbo odvezala iz reke Reke, z bogatenjem pretoka iz obstoječih akumulacij Klivnik in Mola. Predlog variante predpostavlja, da sta akumulaciji dovolj veliki za zagotavljanje zadostnih količin vode prebivalstvu obalnega območja. Po opravljeni recenziji te variante je bilo ugotovljeno, da bi bilo za naraščajoče potrebe po pitni vodi potrebno povečati volumen akumulacij Klivnik in Mola, kar pomeni da je potrebno v tem primeru zemeljski pregradi Klivnik in Mola ustrezno nadvišati. Ne glede na povišanje pregrad pa zaradi prostorskih omejitev skupna volumna zadrževalnikov Klivnik in Mola ne dosega volumna načrtovane akumulacije Suhorka oziroma Padež. V nadaljevanju se bomo omejili na problematiko nadvišanja pregrade Klivnik.

V reviziji projektne zasnove alternativne variante je bilo ugotovljeno, da bi bilo potrebno obstoječi akumulaciji povečati za dodatnih 3 milijone m³, da bi lahko zagotavljali dovolj vode v sušnem delu leta za potrebe vodooskrbnih sistemov v regiji. V sami projektni zasnovi ni obdelano, na kakšen način bi lahko zagotovili te dodatne količine. Govora je le o nadvišanju pregrad Klivnik in Mola. V diplomski nalogi bomo analizirali možnosti nadvišanja pregrade Klivnik, pri čemer bomo upoštevali naslednja izhodišča:

- nadvišanje pregrade je prvič povezano z omejitvami v prostoru na račun povečanja površine akumulacijskega prostora
- drugič je omejitev tehnična možnost nadvišanja pregrade ob še sprejemljivih stroških posega in čim manjših posegih na obstoječih objektih
- akumulacija in kvaliteta vode za namen oskrbe z vodo ni predmet našega dela – privzamemo, da bo surova voda prečiščena na lokaciji prečrpališča po tehničnem predlogu predlagane alternativne variante. (Vir: Brily, M. in sod., 2008)

3 VLOGA AKUMULACIJ KLIVNIK IN MOLA

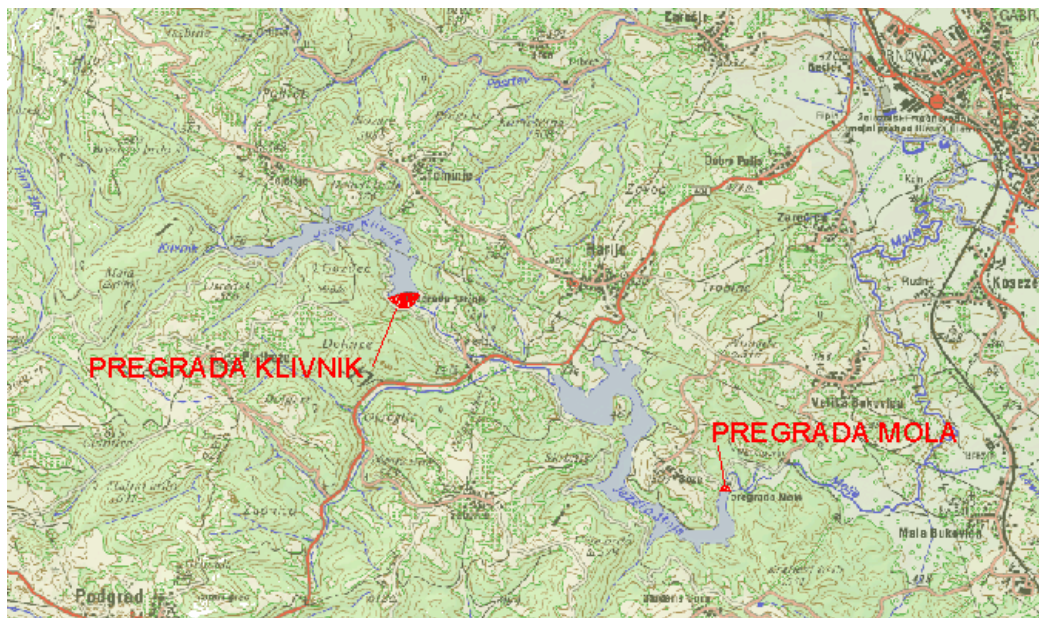
3.1 Prvotni namen izgradnje akumulacije Klivnik

Onesnaževanje rek oziroma vseh voda nasploh je zaradi industrializacije postal velik problem tako pri nas, kot tudi po vsem svetu. Tudi onesnaževanje notranjske reke se je v večjem obsegu začelo pojavljati po drugi svetovni vojni, ob nastanku tovarn TOK (tovarna organskih kislin) in Lesonit v Ilirski Bistrici. Zaradi porasta proizvodnje je tudi onesnaževanje reke Reke iz leta v leto naraščalo in leta 1966 prvič preseglo kritično mejo. Kljub izdelanim investicijskim programom je bilo kmalu jasno, da samo čiščenje voda ne bo zadoščalo za doseg ustrezne kakovosti vode v reki. Potrebno bi bilo zagotoviti tudi bogatenje nizkih voda, saj je koncentracija odpadnih (strupenih) snovi ob nizkih vodah za nekajkrat presegla dovoljeno mejo. Leta 1982 je bil ponovno sklenjen družbeni dogovor o izvajanju skupnih ukrepov za sanacijo reke Reke, v katerem je bilo ugotovljeno:

- da visoka stopnja onesnaženosti voda reke Reke škodljivo vpliva na vodni režim širšega območja in na človekovo okolje,
- da obstajajo mednarodne obveznosti po sporazumu med SFRJ in Italijo glede varovanja pred onesnaženjem voda reke Reke,
- da se kvaliteta voda Reke kljub temu, da so posamezna podjetja v ta namen vložile precejšnja sredstva, ni izboljšala,
- da vse dotedanje rešitve niso dovolj učinkovite in ne zagotavljajo kompleksne in trajne rešitve.

Na podlagi teh ugotovitev je bilo med podpisniki dogovorjeno, da se realizira enovit, tehnološko utemeljen sanacijski program, ki bo temeljil na zagotavljanju zadostne količine vode (zadostnega pretoka), predčiščenjih pri posameznih uporabnikih, skupni čistilni napravi in še nekaterih drugih ukrepih. Opredelili so naloge podpisnikov in ena od nalog je bila tudi priprava projektne dokumentacije za nadaljevanje izgradnje akumulacije na pritoku Klivnik in izvajanje vodnogospodarskih nalog v zvezi s sanacijo voda reke Reke. V letih 1981 - 1983 so bila izvedena predhodna dela za izgradnjo akumulacije v fazi študijske obdelave, k realizaciji pa so pristopili leta 1984. Ta investicijski program je obravnaval gradnjo akumulacije Klivnik z osnovnim namenom bogatenja nizkih voda za sanacijo Reke. Akumulacijo pa bi poleg tega lahko izkoriščali tudi za zadrževanje visokega vala in za učinek akumulacije na odpravo poplav, uporabo vode za namakanje, možnost izrabe za energetske vire, ribištvo in turizem. Volumen vode v akumulaciji

ob maksimalni gladini pri koti 471.5 m.n.v. je $4.3 \times 10^6 \text{ m}^3$, minimalna gladina vode v akumulaciji pa je na koti 453.40 m, pri čemer je volumen vode v akumulaciji 0.3 milj. m^3 . Srednji letni pretok znaša $0.52 \text{ m}^3/\text{s}$, biološki minimum 12 l/s , visokovodna konica Q_{1000} pa $67.0 \text{ m}^3/\text{s}$. (vir: Komunalno gradb. podj. TOZD, 1987)



Slika 1: Akumulaciji Klivnik in Mola (vir: Atlas okolja)

3.2 Prvotni namen izgradnje akumulacije Mola

Akumulacija Mola se nahaja na reki Molja, dolvodno od pregrade Klivnik in ob maksimalni gladini zadržuje $4.3 \times 10^6 \text{ m}^3$ vode. Kota zaježitve je na višini 434.10 m, kota maksimalne gladine pa na 435.50 m. Srednji letni pretok znaša $0.708 \text{ m}^3/\text{s}$, za katastrofalne visoke vode lahko smatramo pretok $Q_{\text{KAT}} = Q_{1000} = 174 \text{ m}^3/\text{s}$. Pregrada je bila zgrajena prej, leta 1978, sicer pa je njen osnovni namen enak kot pri akumulaciji Klivnik. Zgradili so jo namreč za zadrževanje visokih voda, bogatenje nizkih pretokov in zagotavljanje tehnološke vode. Možno jo je izrabiti tudi za namakanje, ribolov in turizem. Pred njeno izgradnjo je bil za poplave najbolj kritičen odsek notranjske Reke v območju Ilirske Bistrice. Z izgradnjo akumulacije Mola in še nekaterimi drugimi ukrepi pa so se odtočne razmere v območju Ilirske Bistrice izboljšale. Akumulaciji Klivnik in Mola je potrebno obravnavati skupaj, saj se voda iz akumulacije Klivnik steka v Molo in nato naprej v notranjsko Reko. Mola poleg tega dobiva vodo tudi še iz nekaterih manjših pritokov. (vir: <http://mvd20.com/LETO2009/R29.pdf>)



Slika 2: Pregrada Mola (vir: <http://www.slocold.si/galerija/mola/mola.htm>)

3.3 Pomanjkanje vode v reki Reki

Po podatkih upravljavca se že sedaj redno dogaja, da sta na koncu poletja zaradi bogatenja notranjske Reke, akumulaciji Klivnik in Mola izpraznjeni do minimalne gladine, vendar tudi bogatenje ni več mogoče v predpisanih količinah. S 1. majem 2010 je začel veljati nov, začasni pravilnik o obratovanju teh dveh akumulacij. Z upoštevanjem omenjenega pravilnika so ekološko sprejemljiv pretok notranjske Reke zmanjšali na merilni postaji Trnovo – Reka. Do sprejetja tega pravilnika je veljalo, da je bogatenje notranjske Reke potrebno, če pretok na merilni postaji pade pod 925 l/s, v pravilniku pa je ta meja zmanjšana na 610 l/s. Poleg tega imajo podeljene pravice za rabo vode tudi ribiči, ki si prizadevajo za stalno gladino vode v akumulacijah.

(vir: http://www.bf.uni-lj.si/fileadmin/users/1/agronomija/V4-0487/4._Akumulacije.pdf)

4 OPIS PREGRADE KLIVNIK

4.1 Geološke, seizmo-tektonske, hidrološke in hidravlične razmere na območju pregrade

Opise naravnih danosti v nadaljevanju povzemamo po Načrtu opazovanja seizmičnosti (MOP, 2005b) in Projektu za izvedbo, zvezek 1 (Komunalno gradbeno podjetje Ilirska Bistrica, 1984b).

4.1.1 Geološke razmere

Na širšem območju pregrade in akumulacije so osnovna kamnina flišni sedimenti (laporji in peščenjaki), ki so prekriti s preperino in rečnimi nanosi. Flišni sedimenti so precej nagubani, osi gub so v dinarski (to je SZ – JV) smeri. Na obravnavanem področju je več prelomov in razpokanih con, pretežno v dinarski smeri in prečno na njo. Močan prelom je tudi ob levem boku pregrade. Njegova smer je SZ – JV, vpad pa strmo proti JZ.

Na mestu pregrade – v dnu pregradnega profila je mešana serija laporja in peščenjaka s subhorizontalno plastovitostjo. Aluvijalni nanos, ki prekriva dno doline, je debel približno 8 m; nad podlago je približno 1 m gline poltrdne konsistence (CI), nato 5 m proda peščenjaka, s peskom in meljem (GFs) in na vrhu približno 2m melja, meljastega peska in humusa (ML-SFs). Na eno in drugo pobočje doline se navzgor nadaljuje plast deluvijalne gline, srednje do težko gnetne konsistence, z drobci flišnih kamnin. Ob robovih doline je debela do 2 m, navzgor postaja vse tanjša, na posameznih grebenih pa izgine. Pod njo se pojavljajo plasti eocenskega fliša.

Na desnem boku pregrade prevladujejo plasti sivo zelenega laporja z vpadom proti SV, med katerimi se pojavljajo do 20 cm debele plasti peščenjaka. Osnovna hribina iz prevladujočega laporja je do globine največ 4 m preperela. Pokrov je iz meljno-glinaste preperine, poltrdne konsistence, z bloki in gruščem peščenjaka. Debelina pokrova je približno 6 m na pobočju, pod sedlom pa približno 2 m.

Na levem boku pregrade je tektonsko močno poškodovan debelozrnat kremenov peščenjak s tanjšimi plastmi laporja. Plasti peščenjaka so razpokane in zato lokalno prepustne za vodo. Razpokanost in večja prepustnost kamnine je pogojena s prelomno cono z vpadom proti JV pod kotom približno 60°. Ta cona poteka na levem bregu, vzporedno z osjo doline. Na površini je preperinski pokrov, sestavljen pretežno iz peščene gline in melja, poltrdne in težko gnetne konsistence. Na vrhu je debelina tega pokrova ca. 10 m, na brežini pa ca. 2 m.

Območje akumulacije pripada zgradbi brkinskega terciarnega bazena. Gradijo ga za vodo slabo prepustne flišne plasti. Za njih je značilno menjavanje plasti glinovca, laporovca, glinastega laporja, peščenega laporja, peščenjaka in kalkarenita. Na kamninski osnovi je na pobočjih doline odložena

deluvijalna glina, katere debelina je do 2 m. Ob akumulaciji je v pasu nihanja gladine vode površina erodirana. Razgaljeni pas brez vegetacije sega do kote 471.50, kjer je kota maksimalne gladine. Na območju akumulacije sta lapor in peščenjak enakomerno zastopana. Pretežno horizontalne flišne plasti so nagubane. Zaradi tektonskih procesov so razpokane, zdrobljene in preperele. Lapor je sicer razpokan, vendar je tudi plastično deformiran, zato so razpoke zaprtega tipa. Peščenjak, ki je trd in krhek, je običajno močno razpokan pravokotno na plastovitost, razpoke so odprtega tipa. Kljub razpokanosti kamnine, iz akumulacije ni večjih izgub vode po plasteh razpokanega peščenjaka, ker vložki neprepustnega laporja predstavljajo zaporni horizont.

V dnu doline imajo aluvijalni sedimenti koeficient prepustnosti $k=3.5 \times 10^{-4}$ m/s.

Na levem boku je prepustnost hribine $k=5 \times 10^{-5}$ m/s.

Na desnem boku pregrade so lapornate plasti vodotesne. (MOP, 2005a)

Moduli stisljivosti, za račun posedkov temeljnih tal, ki so bili ocenjeni za tla v dnu doline so:

- za zgornje sloje ML-SF: $Mv = 1500 \text{ kN/m}^2$
- za sloje GF_s in spodnji sloj gline CI : $Mv = 15000 \text{ kN/m}^2$
- za debelejši preperinski sloj v osi pregrade ob vrhu desnega brega doline; za globine do 2.0 m je $Mv = 3750 \text{ kN/m}^2$ in od globine 2.0 m do dna pa $Mv = 15000 \text{ kN/m}^2$. (Komunalno gradb. podj. Ilirska Bistrica, 1984a)

4.1.2 Seizmo-tektonske razmere

Tektonika širšega področja:

Širše ozemlje sestavljata Komenska in Snežniška narivna gruda. Na Komensko narivno grudo je narinjen Snežniški nariv. Med Ilirsko Bistrico in Vremškim Britofom leži brkinski terciarni bazen, ki ga gradijo močno nagubane eocenske flišne kamnine. V njem je jasno izražena dinarska in prečno dinarska orientacija strukturnih elementov. Tudi pri nagubanih flišnih kamninah imajo osi gub največkrat smer SV – JV, njihova vergenca pa je usmerjena proti JV. Flišne plasti so deformirali mlajši tektonski procesi. Na obravnavanem ozemlju se jasno odražajo prelomi dinarske in prečno dinarske smeri, v manjši meri pa so prisotni tudi prelomi sever – jug. Na širšem področju je več prelomov. Najvažnejši so: Raški, Predjamski in Idrijski. Najbližji je Raški, ki poteka od narivne meje Južnih Alp pri Guminu do Ilirske Bistrice in morda do narivne meje Velebita severno od Senja. Prelom je desnozmičen, podobno kot Predjamski in Idrijski.

Seizmičnost:

Na Ilirsko Bistriškem področju je najpomembnejši Raški prelom, glede na lego potresnih žarišč pa se domneva, da je potresno aktiven JZ od Vremščice.

Po Karti potresne nevarnosti Slovenije – projektni pospešek tal s povratno dobo 475 let, se nahaja pregrada Klivnik v območju s pospeškom 0.175 g. Navedena vrednost velja za trdna tla (vrsta A po EC 8). Verjetnost, da navedena vrednost projektnega pospeška v 50 letih ne bo presežena, je 90%. (Vir: MOP, 2005b)

Preglednica 1: Podatki o potresih nastalih na Ilirsko Bistriškem področju v preteklih 50 letih (MOP, 2005b)

datum	globina žarišča (km)	magnituda	intenziteta po EMS
31.1.1965	7	5,1	7
2.5.1995	10	4,7	6
22.5.1995	17	4,4	6
13.3.1998		2,4	
24.4.2005	17	3,9	

Po potresu leta 1995 je bila v Ilirski Bistrici postavljena seizmološka opazovalnica (akcelometer). Po predpisih ob izdelavi glavnega projekta (leta 1984) je bil potres upoštevan z 8. stopnjo po 12-stopenjski Mercallijevi lestvici intenzitete potresa (MCS) in potresnim koeficientom 0,08. V dokumentaciji o pregradi Klivnik drugih parametrov ni.

Preglednica 2: Povratne dobe potresov na pregradi Klivnik (iz informativnega izračuna za projekt opazovanja) (MOP, 2005b)

povratna doba (leta)	pospešek tal (g)
10	0,05
25	0,082
50	0,109
100	0,141
200	0,159
475	0,178
1000	0,19

4.1.3 Hidrološke in hidravlične razmere

Prispevno območje do pregradnega prereza ima površino 8.0 km². Srednji letni pretok znaša 0.52 m³/s, visokovodne konice pa so:

$$Q_{20} = 33.0 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{100} = 45.2 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{1000} = 67.0 \text{ m}^3/\text{s}$$

Minimalni pretok v pregradnem prerezu $Q_{\min} = 0.030 \text{ m}^3/\text{s}$. Po natančnejši analizi zadrževanja vala (z izbrano širino preliva 8.0 m in predvidenim volumnom za zadrževanje visokega vala v velikosti $0.6 * 10^6 \text{ m}^3$) so doseženi sledeči učinki:

Prerez pod pregrado:

$$Q_{100} = 45 \text{ m}^3/\text{s}, \text{ z zadrževanjem } Q_{100} = 29 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{1000} = 67 \text{ m}^3/\text{s}, \text{ z zadrževanjem } Q_{1000} = 44 \text{ m}^3/\text{s}$$

Iz potreb po vodi za vodooskrbo, za bogatenje nizkih pretokov, zadrževanja visokega vala in iz pogojev za varnost pregrade, je na osnovi krivulje volumna akumulacijskega prostora predviden celoten volumen vode pri maksimalni gladini $V = 4.3 * 10^6 \text{ m}^3$. Od tega:

- mrtvi prostor oz. minimalna gladina na koti 453.4 m: $V = 0.3 * 10^6 \text{ m}^3$
- izkoristljiv volumen: $V = 3.4 * 10^6 \text{ m}^3$
- prostor za visoki val: $V = 0.6 * 10^6 \text{ m}^3$ (med kotama 470 in maksimalno gladino 471.5 m)

V času akumuliranja vode je določen pretok vode – biološki minimum 12 l/s.

(vir: Komunalno gradb. podj. Ilirska Bistrica, 1984b)

4.2 Izbor tipa pregrade

Tip pregrade je bil izbran na sledeči osnovi (Komunalno gradb. podj. Ilirska Bistrica, 1984b):

- Za izvedbo betonske pregrade (težnostne ali ločne) so temeljna tla preslaba, predrag bi bil tudi dovoz materiala (betona) za izgradnjo, varnost pred porušitvijo pa bi bila manjša kot pri zemeljski pregradi.
- Za izgradnjo zemeljske pregrade se je material za vgradnjo na zračni strani nahajal v neposredni bližini pregrade
- Ozelenjena zračna stran pregrade se v primerjavi z betonsko pregrado zelo dobro vklaplja v okolje.

Pregrada Klivnik je nasuta pregrada in je kombinacija zemeljske in skalometne pregrade – na gorvodni strani je pregrada zgrajena iz kamenega materiala. Za to obstajata dva razloga. Prvi je ta, da so za homogeni tip pregrade, razpoložljive količine glinastih zemljin premajhne. Drugi pa je, da se zaradi nihanj višine vode v akumulaciji, s kamnitim materialom izognemo zastojem vode v pregradi pri

nizkih nivojih vode v akumulaciji. To ima velik vpliv na stabilnost gorvodnega pobočja. Dolvodna polovica pregrade in njen osrednji del sta zgrajena iz komprimiranih glinastih zemljin. Karakteristični prerez pregrade je prikazan na sliki 4 in natančneje v prilogi A.

(Komunalno gradb. podj. Ilirska Bistrica, 1984a)



Slika 3: Pregrada Klivnik (vir: osebni arhiv)

4.3 Splošen opis pregrade Klivnik

Pregrada Klivnik se nahaja zahodno od Ilirske Bistrice, na potoku Klivnik, ki je levi pritok reke Molje (Mole). Kot je bilo že v predhodnih poglavjih omenjeno, sta osnovna namena pregrade bogatenje reke Reke in zadrževanje konice visokega vala, pregrado pa je možno koristiti tudi za namakanje, manjšo energetska izrabo, turizem in ribištvo.

Pregrado sestavljata glavna pregrada čez rečno dolino in stranska pregrada v sedlu na desnem boku. Leži v ozki dolini, dno doline je na koti 444.60 metrov nadmorske višine. Visoka je 28.60 m, v dnu doline je dolga 50 m, 5.0 m široka krona pregrade je dolga 251.20 m. Levi bok doline je v povprečnem naklonu 1:2 do kote 469 m.n.v., nato pa se naklon močno zmanjša. Desni bok ima naklon 1:2.2 do grebena na koti 470 m, nato je majhno sedlo (dolina) globine približno 5 m in blag vzpon proti pobočju, kar je lepo razvidno iz vzdolžnega profila (slika 5 in priloga A). Širina doline na koti 470 m.n.v. je približno 225 m, od tega 150 m nad dolino in 75 m nad grebenom in sedlom. Krona pregrade je na nadmorski višini 473.00 m, kota zaježitve pa je 470 m.n.v. Pri maksimalni gladini na koti 471.50 m.n.v. je volumen vode v akumulaciji $4.3 \times 10^6 \text{ m}^3$, izkoristljiv volumen pa je $V = 3.4 \times 10^6 \text{ m}^3$. (Vir: MOP, 2005 in Komunalno gradb. podj. Ilirska Bistrica, 1984b)

4.4 Konstrukcija in temeljenje pregrade

Pregrada Klivnik je zemeljsko – skalometna s približno 51% drobnozrnatih materialov in 49% lomljenca. V dnu doline je pregrada temeljena v aluvijalne nanose (melji in zaglinjen prod s peskom), na bokih pa na preperinah (meljasta glina). Globina temeljenja na dnu je približno 0.6 m, na koti 444.40 m.n.v., na bokih pa približno 1 m.

Dolvodna polovica (vodotesni del) pregrade je zgrajena iz glinaste flišne preperine, ki pokriva bregove doline. Material za ta del so izkopavali iz območja na levem delu akumulacije. Vgrajenih je bilo 92.337 m³ glinasto – meljastih zemljin. Na brežini tega dela pregrade je 5 berm, ki so široke 3 m. Celotna brežina zračne strani je zatravljena, odvodnjavanje površinskih voda z brežine pregrade pa je urejeno z odvodnimi kanali po bermah v izvedbi z montažnimi betonskimi kanaletami. Naklon brežin med bermami je 1:2. Povprečni naklon zračne strani pregrade tako znaša 1:2.53. Za vgrajeno zemljino sta kot strižna parametra upoštevana strižni kot $\varphi = 24^{\circ}30'$ in kohezija $c = 10 \text{ kN/m}^2$. Iz deleža por zemljine, ki znaša $n = 0.395$, je izračunana prostorninska teža z vodo zasičene zemljine in znaša $\gamma' = 20.25 \text{ kN/m}^3$. Iz laboratorijskih preiskav pa sledi prostorninska teža vgrajene, ne popolnoma zasičene zemljine, nad nivojem precejne linije in znaša $\gamma = 20.10 \text{ kN/m}^3$. (Vir: Komunalno gradb. podj. Ilirska Bistrica, 1984a)

Za izgradnjo **gorvodnega - skalometnega dela** pregrade je bilo porabljenega 56.463 m³ peščenjaka, ki je vgrajen v notranjem delu, v zunanjem delu pa je vgrajenega 44.158 m³ skalometna iz apnenca. Naklon brežine med peščenjaki in apnenci je 1:1.5. Kamnometna zložba na zunanji strani je ročno poravnana, naklon te gorvodne brežine pregrade pa je 1:2 od vrha pregrade do kote 459.0 in 1:3 od kote 459.0 do terena. Peščenjaki, vgrajeni v pregrado, so iz nahajališča na območju akumulacijskega prostora, apnenci pa so iz kamnoloma v Ilirski Bistrici. Za oba materiala, tako peščenjake kot apnence, je bil privzet strižni kot $\varphi = 40^{\circ}$, prostorninska teža $\gamma' = 22 \text{ kN/m}^3$ za polno zasičen skalomet in $\gamma' = 21 \text{ kN/m}^3$ za skalomet nad nivojem vode. (Vir: Komunalno gradb. podj. Ilirska Bistrica, 1984a)



a) Gorvodna brežina



b) Dolvodna brežina

Slika 4: Brežine pregrade (vir: osebni arhiv in <http://www.slocold.si>)

Med obema deloma se nahaja **dvoslojni filter**. Filter je subvertikalen (njegov naklon je 15:1), služi pa za preprečevanje izpiranja drobnih delcev iz tesnilnega dela v skalometni del v primeru upada gladine v akumulaciji in zastoja precejne vode v glinastem delu. Filter (talna drenaža širine do 10 m in višine do 2 m) je tudi na dnu zemeljskega dela blizu osi pregrade. V pregradi je vgrajenih 11.000 m³ filtrnega materiala. (Vir: MOP, 2005b).

Iz nekaterih slik v projektni dokumentaciji je razvidno, da so sprva v pregrado nameravali vgraditi **centralno glineno jedro**, ki bi zagotavljalo tesnitev. Jedro naj bi bilo na obeh straneh obdano z dvoslojnim filtrom. Vendar je bila pregrada zgrajena brez centralnega jedra, saj je material, vgrajen v dolvodni del pregrade dovolj dober, da zagotovi tesnjenje. Material dolvodne polovice pregrade tako sega do dvoslojnega filtra, ki naj bi ločeval jedro od gorvodnega dela pregrade.

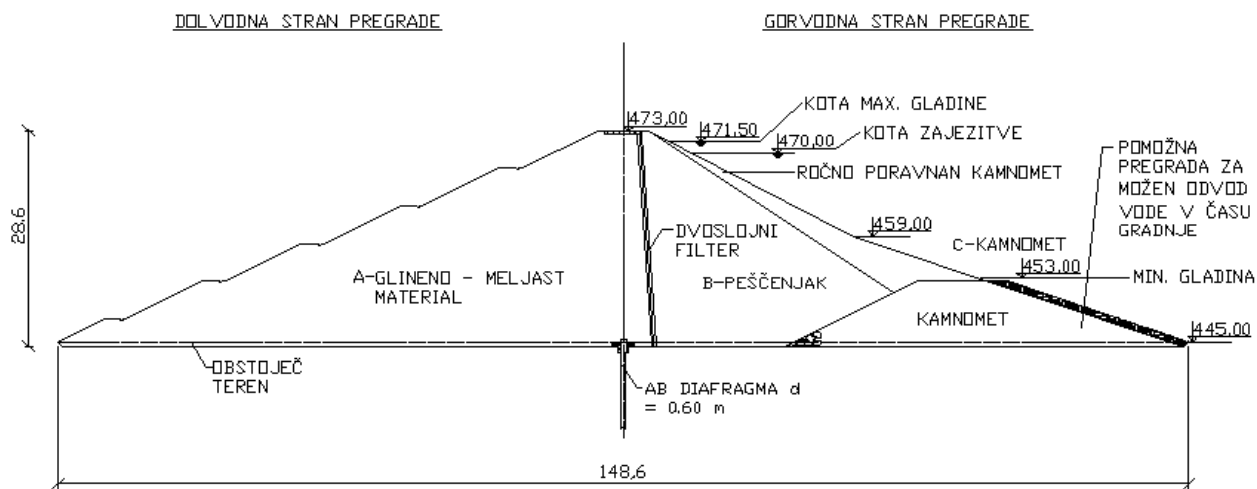
Talna drenaža iz dela pregrade nad dolino ima 2 izpusta, ki se iztekata v jašek ob vznožju pregrade, iz dela nad sedlom pa 1 izpust, ki se izteka na brežino pod vznožjem pregrade. (Vir: MOP, 2005b).

Da je zagotovljeno tesnjenje tal v dnu doline, je pod pregrado vgrajena **tesnilna diafragma** do hribinske podlage. Diafragma je izdelana iz armiranega betona, dolga približno 51 m – kolikor je široko dno doline, njena debelina je 0.6 m. Delno je vkopana v flišno podlago. Vodotesni spoj s pregrado je izveden z dobetoniranjem diafragme na vrhu tako, da sega 0.5 m v tesnilni del pregrade. Na bokih pregrade je vgrajen **tesnilni zob**, po celotnem profilu pa **injekcijska zavesa**. Na mestu, kjer je diafragma, tesnilnega zoba ni. Zob je izveden v levem in desnem boku doline, sega okoli 2.5 m v podlago (pod temelj), na dnu je širok 2.5 m, njegova debelina pa se navzgor veča. (Vir: MOP, 2005b).

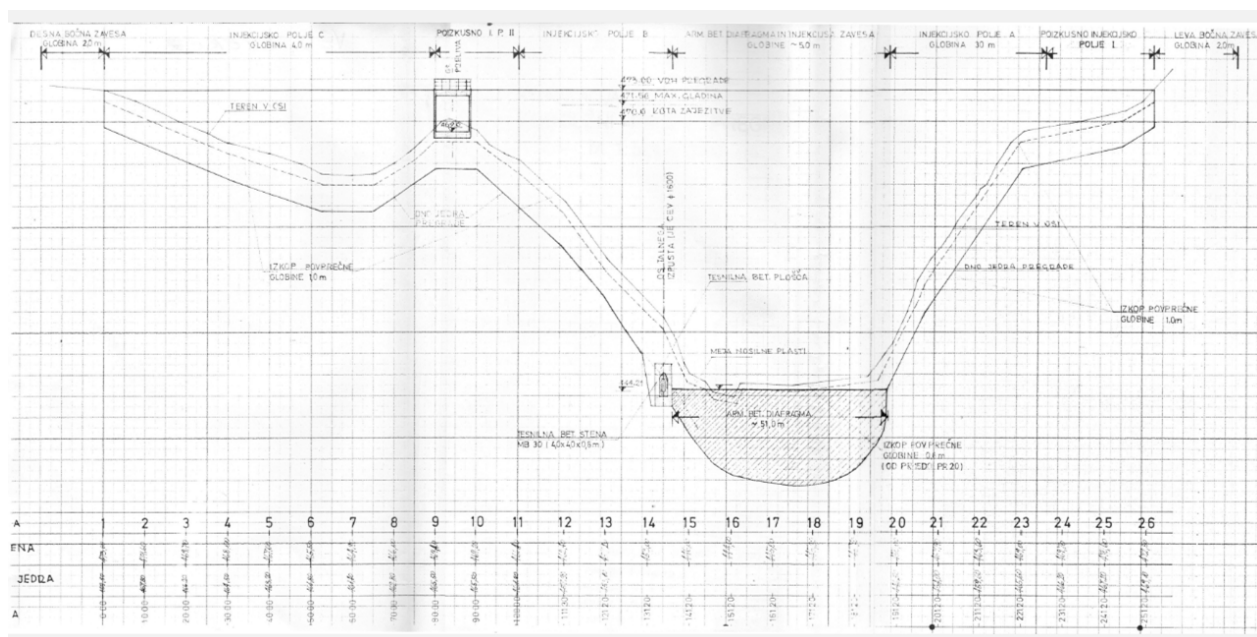
Ob levem robu doline je iz stabilnostnih razlogov:

- zaradi vložka deluvialnih naplavin, ki imajo manjšo strižno trdnost kot aluvialne, nasip razširjen na zračni strani za 10 m, do kote 453.00 m.
- ob desnem bregu doline je prav tako na zračni strani izvedena peta v skalometu, ki je prekrita s humusom in zatravljena. Med peto in temeljnimi tlemi, oziroma glinastim nasipom pregrade niso potrebni filtrski sloji. (Vir: MOP, 2005b)

Pri dvigu gladine vode v akumulaciji nad koto 470.00 m.n.v. so bili leta 1990 opaženi izviri vode na zračni strani pregrade. Pojavili so se nad zgornjo bermo, v dolžini približno 100 m. Na podlagi štirih sondažnih vrtin, so leta 1994 ugotovili, da se na globini približno 1.5 do 3.7 m od vrha krone pregrade, to je med kotama 471.5 in 469 m.n.v., pojavljajo propustni sloji ali leče drobnih peskov in peskov z meljem in gruščem. Zato so pozimi leta 1995/96 izvedli tesnitev z JET GROUTING sistemom, ki je bil najprimernejša rešitev za izvedbo tesnitve. Zavesa je dolga 150 m, njena globina pa je od 1.5 do 6 m. (Vir: MOP, 2005b)



Slika 5: Karakteristični prečni prerez pregrade Klivnik



Slika 6: Vzdolžni prerez pregrade Klivnik (vir: Komunalno gradb. podj. Ilirska Bistrica, 1984a)

4.5 Objekti na pregradi in akumulacija

4.5.1 Talni izpust

Talni izpust služi za praznjenje in odvzem vode iz akumulacije, med gradnjo pa se je po njem odvajala voda. Nahaja se v zaseku na desnem boku, približno na nivoju dna pregrade v dolini. Zgrajen je iz obbetonirane jeklene cevi Φ 1600 mm, s tesnilno steno (4 x 4 x 0.6 m) v osi pregrade. Dolžina cevi talnega izpusta je 152 m. Pri odprtem zasunu se akumulacija izprazni v 3 dneh.

Vtočni objekt je armirano betonska konstrukcija z dvema vtočnima odprtinama. Spodnja odprtina (med kotama 444.50 in 446.80) je bila uporabljena za odvajanje vode v času gradnje, zgornja pa služi za odvajanje vode v času obratovanja. Na vtoku so grablje, višine 2.30 m in skupne površine 16.7 m². Dovod vode do objekta je izveden z izgradnjo regulacijskega korita, obloženega s kamnito oblogo. Spodnja vtočna odprtina ni v funkciji in je zaprta z montažnimi betonskimi elementi. Kota dna cevi na vtoku je 444.74 m, na iztoku pa 443.68 m.

Na iztoku je zapornični objekt s stožčastim zasunom tipa Howel-Bunger Φ 1600 mm in deflektorjem. Pred zasunom je odcep cevi (Φ 600 mm, dolžine 27 m) namenjen za energetske izrabo, vendar trenutno ni v funkciji. Od te cevi pa se odcepi 14.40 m dolga cev Φ 200 mm za biološki minimum z iztokom v podslapje talnega izpusta.

Praznjenje akumulacije skozi talni izpust od kote 471.5 do kote 470.0 m traja 13.06 ur, do kote 460.0 m 47.83 ur, do kote 450 m 66.75 ur, do kote 446.0, kar pomeni prazno akumulacijo pa 68.97 ur.

4.5.2 Zapornični objekt in podslapje talnega izpusta

Talni izpust se zaključuje z zaporničnim objektom in stožčasto zapornico. Nizvodno od objekta je podslapje, katerega kapaciteta je 14 m³/s. Podslapje se nadaljuje s kanalom obloženim s kamnometom (slika 7a), ki se združi s kanalom iz podslapja preliva za visoke vode. (slika 9b). Voda nadaljuje pot po strugi potoka Klivnik.



a) Podslapje in kanal obložen s kamnometom



b) Podslapje in zapornični objekt

Slika 7: Podslapje talnega izpusta (vir: osebni arhiv)

4.5.3 Preliv za visoke vode

Nahaja se na grebenu in pobočju med pregrado nad dolino in pregrado nad sedlom, na koti 469,00 m.n.v. Dimenzioniran je na Q_{100} ($45 \text{ m}^3/\text{s}$). Na zgornjem delu je prelivni objekt z zaklopko, široko 8 m in visoko 2.5 m (glej sliko 8a). Na prelivnem pragu so postavljene jeklene cevi z namenom prevajanja minimalne količine vode po principu natege, ko je talni izpust izven funkcije (slika 8b, desno).

Prelivna drča širine 8 m je dolga 105.60 m, njeni bočni zidovi pa so visoki 1.2 m, le zid na levi strani je na zgornjem delu drče višji – 2.2 m. Padeč nivelete je 27.5 % v zgornjem delu in 9 % v spodnjem delu prelivne drče. Na koncu preliva se na koti 444.30 m.n.v. nahaja podslapje, ki v širino meri 8 m, v dolžino pa 20 m (slika 9a). Za podslapjem je s kamnometom obložen kanal, ki se združi s kanalom iz podslapja talnega izpusta (slika 9b). Za prehod čez prelivni objekt, je na kroni pregrade zgrajen most, še en most pa se nahaja na začetku podslapja. (sliki 10 in 11). Mostna konstrukcija sega v sam iztek drče in deloma omejuje pretočni profil.



a) Preliv z zaklopko



b) Sesalni del natege

Slika 8: Preliv za visoke vode z opremo (vir: osebni arhiv)



a) podslapje – pogled iz mosta



b) podslapje in prelivna drča

Slika 9: Podslapje preliva za visoke vode (vir: osebni arhiv)



Slika 10: Most na začetku podslapja preliva za visoke vode (vir: osebni arhiv)

4.5.4 Objekt za upravljanje

Objekt za upravljanje je montažnega tipa in postavljen na desni strani pregrade, na koti 473.0, na platoju ob prelivu za visoke vode (glej sliko 11). Oprema, ki se nahaja v objektu za upravljanje, služi za upravljanje tako preliva za visoke vode, torej zaklopke na prelivu, kot tudi talnega izpusta.



Slika 11: Objekt za upravljanje in most za prehod prelivnega objekta (vir: osebni arhiv)

4.5.5 Akumulacija

Akumulacija Klivnik pri maksimalni gladini vode na koti 471.50 m.n.v. zavzema 35.8 ha zemljišča in vsebuje 4.3 milijone m³ vode, pri čemer je izkoristljiv volumen vode $V = 3.4$ milijone m³. Prostornina pri gladini zaježitve (470.00 m.n.v) je 3.7×10^6 m³, prostornina pri minimalni gladini (470.00 m.n.v.) pa 0.3×10^6 m³. Kota doline na lokaciji pregrade je 445 m. Predvsem južna pobočja akumulacije so strma, medtem ko so severna pobočja nekoliko bolj blaga.

(Vir: MOP, 2005)

4.6 Opazovanje objektov

Tehnično opazovanje se izvaja po projektu tehničnega opazovanja s pomočjo objektov, ki se nahajajo na pregradi v ta namen. Vendar se meritve ne izvajajo na vseh objektih, sej je veliko izmed njih že uničenih. Od obstoječih objektov se na pregradi od objektov za merjenje pomikov pregradnega nasipa nahaja 8 kontrolnih geodetskih točk (reperjev), 3 osnovne geodetske točke, 3 posedalne plošče in 2 inklinometerski vrtini. Na pregradi je od obstoječih objektov še 5 vrtin za merjenje pornih tlakov in 10 piezometerskih vrtin, ki služijo opazovanju pronicanja vode v pregradi. (Vir: MOP 2005a).

Na pregrado so bili postavljeni tudi nekateri drugi objekti, ki pa so sedaj uničeni in neuporabni. To sta bili orientacijski točki na levem in desnem bregu, dve osnovni stojišči instrumenta na levem in desnem bregu, dva osnovna nivelmanska reperja na levem in desnem bregu, dva merilca tlakov med plastmi in dve opazovalni vrtini bokov na levem in desnem bregu. Poškodovana so ustja in kape nekaterih piezometrov, piezometerske vrtine so delno zasute s sedimentom, poškodovana so ustja inklinometerskih vrtin, poškodovan pa je tudi drog posedalne plošče VP2. Ustja vrtin za merjenje pornih tlakov niso zaščiteni, vprašljivo pa je tudi stanje vrtin v celoti. Poleg tega pa so uprašljive osnovne geodetske točke K-1 in K-2 (postavitev geodetskih točk je prikazana v prilogi A). Točka K-1 je v gozdu, ki je prerastel območje, kjer se točka nahaja. Temeljenje te točke je vprašljivo. Točka K-2 pa je postavljena na betonskem robu preлива in ne ustreza pogojem za osnovno geodetsko točko. Ti podatki so iz leta 2005 (vir: MOP 2005a).

4.6.1 Meritve kontrolnih geodetskih točk (reperjev)

Na kroni pregrade, na 5. in 4. bermi so bile postavljene kontrolne geodetske točke (reperji). Glede na karakteristike zemljine temeljnih tal, je v projektni dokumentaciji, Akumulacija Klivnik, Projekt za izvedbo, zvezek 2, predviden končni posedek pregrade šele po 80 letih, znašal pa naj bi 1.03 m. Ta posedek so računali v osi pregrade v sredini doline, med prečnima profiloma 17 in 19. Iz časovnega poteka posedkov so razbrali, da bo po 30 letih odstotek konsolidacije 75 %, posedek pa $\rho = 0.77$ m. Pri merjenju posedkov pregrade leta 2002, so ugotovili precej manjši posedek kot je bil predviden. Največji posedek je namreč takrat znašal 0.185 m in sicer na kroni pregrade v prečnem profilu P17, predviden posedek po 18 letih, kolikor je bila takrat stara pregrada, pa naj bi znašal 0.60 m.

4.6.2 Inklinometerske vrtine

Po vsej višini pregrade potekajo meritve inklinacij – horizontalnih pomikov v dveh inklinometerskih vrtinah, ID 1 in ID 2. Vrtini sta v prečnem profilu P17 (glej vzdolžni prerez pregrade –priloga A), prva je locirana na kroni pregrade in je globlja, druga pa na 4. bermi. Premer vrtin je bil $\phi = 101$ mm, v katere sta bili vgrajeni inklinometerski cevi $\phi = 76$ mm. Meritve opravljene do leta 1991 v vrtini ID 1,

so pokazale maksimalne pomike v smeri zračne strani pregrade do 65 mm v globini 24 m in ob ustju vrtine do 65 mm. V vrtini ID 2 so bili maksimalni izmerjeni pomiki 55 mm pri ustju vrtine.

4.6.3 Piezometri

Na zračnem robu krone pregrade so bile izvrtane piezometerske vrtine K1 do K 10, ki so locirane na zračnem robu krone pregrade. Namenjene so opazovanju pronicanja vode v pregradi. Na desnem in levem boku pregrade sta bili zvrtni vrtini B1 in B2, vendar sta bili uničeni. Ker se podatki o globinah piezometerskih vrtin v posameznih poročilih razlikujejo, ni povsem jasno, kako globoko so bile izvrtane.



Slika 12: Piezometer tik pod krono pregrade (vir: osebni arhiv)

4.7 Vzdrževanje objektov, stanje pregrade in izvedeni ukrepi

Leta 1990 so opazili izvire vode na zračni strani pregrade, ki so jih kasneje raziskali, konec leta 1995 in v začetku leta 1996 pa so izvedli sanacijo z JET GROUTING sistemom. Splošno stanje objektov pregrade Klivnik je zadovoljivo. Brežina pregrade na vodni strani je v zadovoljivem stanju in ni opaziti poškodb, ki bi ogrožale stabilnost pregrade. (Vir: MOP 2005a)

4.7.1 Vizuelni ogled stanja brežin in objektov na pregradi

Pregled stanja pregrade smo izvedli v novembru 2012. Stanje ob pregledu je kazalo na to, da je dolvodna brežina je v slabšem stanju, kot gorvodna. Dolvodna brežina je intenzivno zaraščena, mestoma se pojavljajo tudi že olesenele rastline, kar kaže na to, da brežina daljše obdobje ni bila pokošena (slika 13 a). Na brežini (bolj izrazito na vzhodni strani) se pojavljajo deformacije v obliki

zdrsov in posedanj, katerih obsega pa zaradi močne zaraščenosti ni mogoče natančno določiti. Na levem boku se na stiku pregrade z brežino v spodnjem delu pojavljajo površinska splazenja (slika 13 b) vzdolž celotnega roba, kar je posledica slabe sprijemnosti brežine s podlago. Po celi brežini so številne sledi prisotnosti glodalcev (odprtine in rovi) in žužkojedov (krtine) – glede na neredno košnjo predstavlja gošča idealno pribežališče za male živali (slika 14a). Stanje odvodnih kanalov na bermah je izjemno slabo: kanali so izmaknjeni iz osi (slika 14b), nivelete kanalov niso premočrtno izpeljane, tako da voda v kanalu zastaja (slika 14c) in pri nizkih temperaturah zamrzne. Stanje kanalov na Klivniku potrjuje to ugotovitev: zaradi posedanja pregrade se bolj togi kanali ne posedajo enako in prihaja do izmika vzdolžne nivelete. Ker so kanalete čelno stikovane, vsak stik pomeni potencialno možnost pronicanja površinskih voda v telo pregrade in omočenje območja kanala. Z zastajanjem vode v zimskih razmerah (led) se procesi degradacije površinskega dela pregrade še intenzivirajo. Opazno je tudi, da se brežina ob kanaletah bistveno bolj poseda – posledica procesa je, da odvodni kanali niso več v funkciji. Kanalete predstavljajo oviro za odtok površinskih voda, ki ob robu kanalet pronicajo v notranjost pregrade, kar se na površini kaže z večjimi območji depresij, vdolbin, manjših usadov ipd.



a) intenzivna zarast



b) kontaktni rob brežine na levem boku pregrade

Slika 13: Dolvodna brežina pregrade (vir: lastni arhiv)



a) Prisotnost živali na pregradi
(krtine in luknje)



b) zamik trase zbirnega kanala za
površinske vode na bermi



c) zastajanje vode v zbirnem
kanalu na bermi

Slika 14: Poškodbe na dolvodni brežini

Preliv za visoke vode je na splošno v zadovoljivem stanju. Na **prelivnem pragu** so postavljene jeklene cevi, katerih namen je prevajanje minimalne količine vode po principu natege, ko je talni izpust izven funkcije. Demontirane cevi so položene (in medsebojno povezane s privarjenim ploščatim železom) na prelivnem pragu, kar lahko pri prelivanju visokih voda ogroža varno delovanje zaklopke, zato jih je potrebno odstraniti. **Zaklopka** na prelivu je v dobrem stanju, prav tako tudi pogonska oprema zaklopke. **Prelivna drča** je v nezadovoljivem stanju. Vidni so diferenčni pomiki med posameznimi delovnimi stiki med ploščami, še posebej izrazito na prehodu čez teme pregrade, kjer je mestoma vidna armatura (slika 15a). Posedanje drče preлива je najverjetneje posledica zatekanja površinskih voda iz pregrade v smeri prelivnega objekta. **Podslapje** je deloma zamuljeno. Mostna konstrukcija nad prehodom drče v podslapje sega v sam iztek drče in deloma omejuje pretočni profil. Pri eventualni zamašitvi pretočnega profila bi lahko prišlo do preplavitve mostne konstrukcije in razlitja vodnega skoka izven utrjenega podslapja (slika 15b).



a) Slabo stanje betona na drči pri prehodu čez teme pregrade



b) Zožitev prečnega profila pod mostom

Slika 15: Slabo stanje prelivne drče

Talni izpust. V funkcionalnem smislu so objekti talnega izpusta v dobrem stanju – opazne so lokalne poškodbe betonskih površin (luščenje površine zaradi zmrzali, zamakanje, mehanske poškodbe ipd.), ki pa direktno na varnost delovanja objekta nimajo vpliva. Dno odvodnih kanalov iz podslapja in struge Klivnika je deloma zamuljeno. Stanje utrditve brežin v kameni zložbi je zadovoljivo, čeprav se na izteku podslapja in na odvodnem kanalu pojavljajo lokalni zdrsi in posedanje brežin. To je posledica prelivanja vodnega skoka iz podslapja (slika 16 a) in oviranega odtočnega režima pri obratovanju talnega izpusta na sotočju z iztokom prelivnega dela na vtoku v strugo Klivnika (slika 16 b). Poškodbe so zgolj lokalne narave in na prevodnost profila nimajo velikega vpliva, kar pa ne pomeni, da z napredujočimi razgraditvenimi procesi do tega v prihodnosti ne bo prišlo.



a) Prelivanje vodnega skoka iz podslapja talnega izpusta



b) Zajezitev na iztoku v strugo Klivnika.

Slika 16: Težave v podslapju talnega izpusta

Seznam hidromehanske opreme na pregradi:

- zasun Howel_Bunger Ø1600 za reguliranje pretoka preko talnega izpusta
- zaklopka na prelivu za visoke vode
- zasun Ø 600 na odcepu za možno energetska izrabo
- zapornična tabla na vtočnem objektu
- dvižni in krmilni mehanizem na vsej naštetih hidromehanski opremi
- rešetke na vtočnem objektu v talni izpust
- komandni in avtomatski regulacijski deli, ki se nahajajo v objektu za upravljanje.

Obratovanje hidromehanske opreme se izvaja po programu in navodilih za obratovanje in vzdrževanje. Program rednih pregledov, ki se izvajajo po navodilih, poteka enkrat letno.

Seznam elektronske opreme:

- elektromotor pogona zasuna
- elektromotor pogona zaklopke
- razdelilna omara

Obratovanje elektronske opreme se izvaja po programu in navodilih za obratovanje in vzdrževanje. Program rednih pregledov, ki se izvajajo po navodilih, poteka enkrat letno.

5 VIŠINA NADVIŠANJA IN OMEJITVE

5.1 Vpliv nadvišanja na povečanje volumna in površine akumulacije

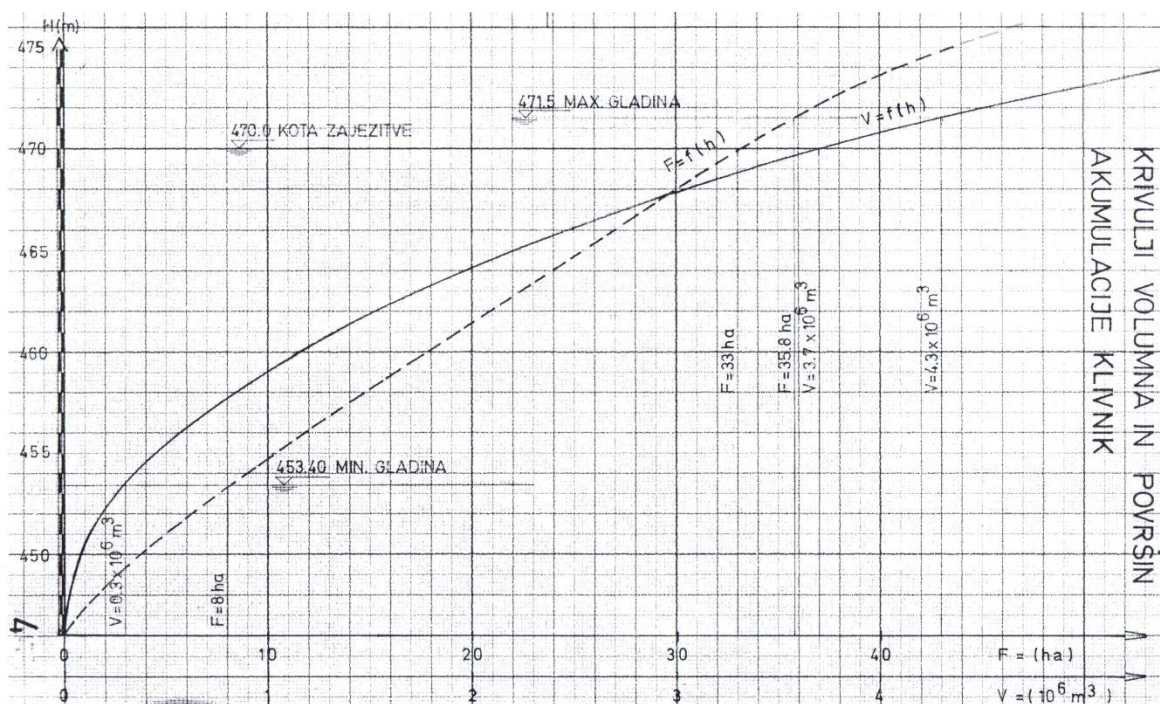
Varianta rešitve problema oskrbe slovenske Istre in Zalednega Krasa s pitno vodo, ki zagovarja povečanje akumulacij Klivnik in Mola predlaga, da bi pregradi nadvišali za 2 do 4 m (Rismal, M. 2012). V nalogi sem določil površino akumulacije s postopnim dvigom gladine za en meter od izhodiščne gladine (471.5 m.n.v.), ki ustreza koti maksimalne gladine vode v akumulaciji. Za ta namen sem uporabil osnovne krivulje volumna in površin akumulacije Klivnik v odvisnosti od kote vodne gladine iz projektne dokumentacije PZI (slika 17). Iz projektnih krivulj je bilo mogoče z ekstrapolacijo določiti volumne in pripadajoče površine tudi pri maksimalnem dvigu za 4 m (475.5 m.n.v.) glede na izhodiščno koto gladine. Dvig gladine za 4m predstavlja tudi maksimalno možno koto nadvišanja, ker se pri višjih gladinah pojavijo tehnično težko premostljive ovire, tako v zaledju akumulacije (tangence s prometno infrastrukturo in ostalimi rabami prostora), kot pri nadvišanju obstoječe pregrade. Projektne krivulje sem noveliral s programskim orodjem AutoCAD. Skenirano sliko grafa sem izvozil v program AutoCAD in posamezno krivuljo narisal po zelo kratkih odsekih z orodjem »polyline«, tako da sem odsekoma sledil krivulji na sliki. Na graf sem nato vrisal še osi in skalo ter kote maksimalnih gladin za 1, 2, 3 in 4 metrsko nadvišanje. Novelirani graf volumna in površin akumulacije Klivnik pri različnih višinah nadvišanja je prikazan v prilogi B. Iz njega lahko razberemo velikost volumna in površine akumulacije pri posamezni višini nadvišanja:

- Če bi pregrado nadvišali za 1 m, bi s tem pridobili $0.43 \times 10^6 \text{ m}^3$ vode, kar je enako 10% volumna obstoječe akumulacije. Velikost površine akumulacije bi v tem primeru znašala 37.5 hektara, kar pomeni da bi se površina akumulacije povečala za 1.7 ha.
- Pri varianti nadvišanja za 2 m, bi z dvigom krone pregrade pridobili za 20.7 % večji volumen, to je $0.89 \times 10^6 \text{ m}^3$, površina akumulacije pa bi bila za 10.6% večja kot je sedaj pri maksimalni gladini vode in bi obsegala 39.6 hektarov.
- Nadvišanje za 3 m bi pomenilo površino akumulacije v velikosti 42.1 ha, kar je za 6.3 ha več kot pri maksimalni gladini vode v akumulaciji pri obstoječem stanju. Akumulacijski bazen bi lahko zadrževal $5.71 \times 10^6 \text{ m}^3$ vode. Z nadvišanjem pregrade za 3 m bi torej pridobili $1.41 \times 10^6 \text{ m}^3$ vode.
- Ob nadvišanju za 4 m, bi nova akumulacija ob maksimalni gladini pokrivala površino v velikosti približno 44.8 ha, kar je za 9 ha oziroma za 25.1 % več od površine akumulacije ob maksimalni gladini vode pri sedanji višini pregrade. Volumen nove akumulacije pa bi znašal približno $6.3 \times 10^6 \text{ m}^3$, kar je za $2 \times 10^6 \text{ m}^3$ vode več, kot pri maksimalni gladini vode pri obstoječi pregradi oziroma v odstotkih 46.3% več. Ob nadvišanju za 4 m bi torej pridobili skoraj tako količino vode, kot je polovica volumna akumulacije ob maksimalni gladini vode pri obstoječem stanju.

Iz navedenega sledi, da topografija terena omogoča sorazmerno večje povečanje volumna pri nadvišanju, pri sorazmerno manjši zasedbi prostora, kar je v našem primeru ugodno. Velikosti volumnov in površin akumulacije ter kote maksimalne vode ob nadvišanju pregrade in dvigu maksimalne gladine vode za 1, 2, 3 in 4 m so prikazane tudi v preglednici 3.

Preglednica 3: Površina in volumen akumulacije ob nadvišanju za 1, 2, 3 in 4 m

	Obstoječa pregrada	Pregrada pri nadvišanju za:			
		1 m	2 m	3 m	4 m
Kota maksimalne gladine vode [m.n.v.]	471,5	472,5	473,5	474,5	475,5
Površina akumulacije [ha]	35,8	37,5	39,6	42,1	44,8
Volumen akumulacije x 10 ⁶ [m ³]	4,3	4,73	5,19	5,71	6,29



Slika 17: Krivulja volumna h-V in površine h-F akumulacije Klivnik v odvisnosti od višine pregrade

5.2 Opredelitev višine nadvišanja

Topografija terena omogoča izvedbo nadvišanja pregrade in povečanja volumna akumulacije ob sorazmerno manjši zasedbi prostora. Akumulacija se razteza na sicer redko poseljenem območju, vendar kljub temu obstajajo ovire, ki preprečujejo poljubno višanje kote zajezne gladine. V vplivnem območju akumulacije se nahajajo prometnice, kmetijske površine in posamezni objekti na katere lahko z dvigom gladine tudi neposredno vplivamo. Da bi določili vplivno območje dviga gladine, smo določili obris nadvišane akumulacije pri posameznih kotah nadvišanja.

5.2.1 Postopek izrisa območja akumulacije v obstoječem stanju in ob nadvišani pregradi

Za določitev obrisa nove akumulacije sem uporabili temeljni topografski načrt merila 1 : 5000 (TTN 5) v atlasu okolja (<http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/>). Če uporabim pogled celotnega območja akumulacije, ne morem dovolj natančno določiti njenega obrisa, saj je ločljivost premajhna. Zato sem uporabili več manjših slik (natančneje 29), v večjem merilu (1:3000), ki sem jih vsako posebej shranili, v programu za urejanje slik (Gimp-2) sestavil in tako dobil sliko območja akumulacije dovolj velike ločljivosti, da lahko določim obrisa povečane akumulacije (slika 18). Za določitev tangenc z ostalimi sestavinami prostora sem uporabil »ortofoto« karto območja (M-1:5000, Atlas okolja), ki sem jo tudi sestavil iz 29 manjših slik enakega merila kot so slike topografskega načrta. Na ta način sem dobili sliko topografskega načrta in sliko digitalne orto-foto karte v enakem merilu. Sliko topografskega načrta sem nato prenesel v računalniški program za risanje AutoCAD 2010. V načrtu so vrisane izohipse za nadmorsko višino na vsakih 5 m. Zaradi tega nisem mogel direktno iz karte natančno določiti obrisa akumulacije za posamezne vrednosti nadvišanja (1, 2, 3 in 4 m). Kota gladine akumulacije ob nadvišanju za 4 m je 475.5 m.n.v., zato sem naredil obris akumulacije tik ob izohipsi, ki predstavlja nadmorsko višino 475 m in tako dobil območje, ki bi ga pokrivala akumulacija ob dvigu gladine za 4 m. Območje akumulacije sem narisal z ukazom »polyline«, ki omogoča kontinuirano risanje črt, katere se na koncih stikajo med sabo in so po končanem risanju združene v en objekt. Ob izohipsi sem risal tako kratke odseke, da sem lahko natančno sledil liniji izohipse na načrtu. Obrisi akumulacijskega območja za koto maksimalne gladine v obstoječem stanju pregrade (471.5) in obrise za ostale kote pri nadvišanju pregrade za 1, 2 in 3 m, sem narisal med izohipsama za 470 in 475 m.n.v. Risal sem s pomočjo interpolacije z upoštevanjem enakomernega razmika med tema dvema izohipsama na posameznem odseku. Metoda je za naše potrebe in glede na to, da gre za sorazmerno majhne odseke, dovolj natančna. Ko sem zaključili risanje na sliki topografskega načrta, sem v program AutoCAD prenesel še sliko digitalne orto-foto karte. Črto, ki predstavljata obris akumulacije premaknemo sliko orto-foto karte. Ker sta sliki v enakem merilu, dobim na sliki orto-foto tudi obris akumulacije ob nadvišani pregradi v pravem merilu. Na sliki 19 je prikazan obris akumulacije pri maksimalni gladini vode v obstoječem stanju pregrade, v prilogi C pa so 4 problemske karte, na katerih so prikazani obrisi akumulacije pri dvigu gladine vode za 1, 2, 3, in 4 m.

5.2.2 Izmera površine območja akumulacije

V Atlasu okolja je omogočeno tudi merjenje razdalj. Med dvema izbranimi točkama na karti izmerim razdaljo. Med istima točkama nato izmerim razdaljo še na sliki karte v programu AutoCAD. Sliko v AutoCAD-u nato z ukazom »scale« povečam oziroma pomanjšam s faktorjem, ki predstavlja razmerje med razdaljo, izmerjeno v Atlasu okolja, in razdaljo izmerjeno v programu. Tako sem dobil sliko v programu AutoCAD v merilu, v katerem 1 enota v programu predstavlja en meter v naravi. V AutoCAD-u izmerim površino območja akumulacije z ukazom »measure -> area«. Izmera območja

akumulacije pri maksimalni gladini vode v obstoječem stanju je 35.4 ha, pri 1 metrskem nadvišanju pregrade 37.5 ha, pri 2 metrskem nadvišanju 39.4 ha, pri nadvišanju pregrade za 3 m izmerimo površino 41.4 ha in pri nadvišanju za 4 m 43.7 ha. Velikosti območja akumulacije, ki sem jih izmerili v AutoCAD-u se od tistih, ki sem jih razbrali iz krivulje površin akumulacije (priloga B), zelo malo razlikujejo. S tem dobim potrditev, da so območja narisana z zadovoljivo natančnostjo.



Slika 18: Slika topografskega načrta, sestavljena iz več manjših slik (vir: Atlas okolja, <http://gis.arso.gov.si/atlasokolja>)



Slika 19: Obris akumulacije Klivnik pri maksimalni gladini vode v obstoječem stanju pregrade

5.2.3 Prednosti in slabosti pri določeni višini nadvišanja glede na omejitve v prostoru

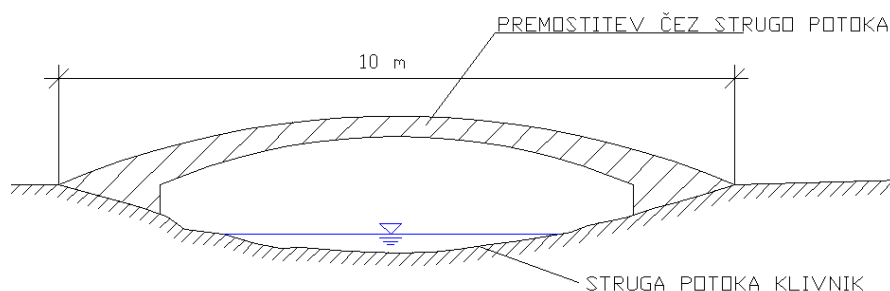
Vsaka od višin nadvišanja ima določene prednosti in določene slabosti. Potrebno je preveriti, kako povečanje akumulacijskega prostora vpliva na ostale elemente okolja v bližini akumulacije. V ta namen sem izdelal 4 problemske karte. Vsaka od njih prikazuje območje akumulacije pri maksimalni gladini vode ob določeni višini nadvišanja pregrade (1, 2, 3 in 4 m) in probleme, ki bi se pri tem pojavili. Še največ težav predstavlja makadamska cesta, ki poteka ob desnem boku akumulacije. Na

problemstih kartah je označena z zeleno barvo. Začetna točka ceste je na koncu makadamskega platoja ob pregradi (glej prilogo C). Ob vsakem odseku ceste, ki je označen na posamezni karti, je napisana dolžina tega odseka in stacionaža – oddaljenost začetka odseka od začetne točke. Ostala prometna infrastruktura, kmetijske površine, naselja, objekti, itd., ki se nahajajo v okolici akumulacije, so na dovolj veliki oddaljenosti oziroma na dovolj veliki nadmorski višini, da ob nadvišanju pregrade in s tem dvigom gladine vode v akumulaciji, v nobenem od primerov nadvišanja ne bi bili prizadeti.

V vseh primerih nadvišanja, kot tudi že v obstoječem stanju, se pojavi isti problem. Makadamska cesta je na mestu vtoka potoka Klivnik v akumulacijo neprevozna, saj se križa s potokom, premostitev pa tam ni urejena (slika 20). Tudi v primeru, da pregrade ne bi nadvišali, bi morali na tem mestu urediti približno 10 m dolgo premostitev potoka, na primer z armirano-betonskim mostom (prerez je na sliki 21), ki bi ga obložili s kamnito oblogo, da bi se lepo vklopil v okolje.



Slika 20: Križanje ceste in potoka Klivnik (vir: osebni arhiv)



Slika 21: Premostitev potoka klivnik pred vtokom v akumulacijo

5.2.3.1 Nadvišanje za 1 m

Pri nadvišanju pregrade za 1 m ne bi bilo večjih težav zaradi povečanja območja akumulacije, saj bi se gladina dvignila le za 1 m. Kljub temu pa bi morali makadamsko cesto ob desnem boku akumulacije

speljati višje na treh krajših odsekih v skupni dolžini 134 m, saj bi se na teh mestih voda pri maksimalni gladini povsem približala cesti (glej problemsko karto 1 v prilogi C). Odseki, kjer bi cesto speljali višje, so na karti označeni z rumeno barvo. Na mestu vtoka potoka Klivnik bi bilo potrebno urediti premostitev potoka, kot je že omenjeno v prejšnji točki. Na karti je premostitev označena z vijolično barvo. Ostalih ovir v prostoru ob akumulaciji ni. Glavna slabost nadvišanja za 1 m je premajhna količina vode, ki bi jo z nadvišanjem pridobili.

5.2.3.2 Nadvišanje za 2 m

Pri nadvišanju za 2 m bi se voda pri maksimalni gladini že bolj približala makadamski cesti ob desnem boku akumulacije in jo na treh mestih že dosegla (glej problemsko karto 2 v prilogi C). Makadamsko cesto bi bilo potrebno nadvišati na 5 odsekih, katerih skupna dolžina znaša 357 m (na problemski karti označeno z rumeno barvo). Na korenu zaježitve, kjer potok Klivnik priteka v akumulacijo, bi poleg nadvišanja kratkega odseka ceste morali urediti tudi premostitev potoka (vijolična barva na karti). Na oddaljenosti 1229 m od začetne točke ceste, bi brežino pod cesto stabilizirali s 5 m dolgim podpornim zidom. Na tem mestu bi namreč obstajala nevarnost, da bi voda odnašala material iz brežine pod cesto, to pa bi pomenilo nevarnost za porušitev tega odseka ceste. Ker gre za kratek odsek, teren nad cesto pa je precej strm, smo se raje kot za nadvišanje cestnega odseka, odločili za izgradnjo podpornega zidu. Na problemski karti je ta odsek označen s svetlo modro barvo. Količina vode, ki bi jo z nadvišanjem za 2 m pridobili, bi bila že precej večja kot pri nadvišanju za 1 m.

5.2.3.3 Nadvišanje za 3 m

Z nadvišanjem za 3 m bi se že začeli pojavljati večji problemi, saj bi voda pri maksimalni gladini dosegla že daljše odseke ceste in jo na treh odsekih v skupni dolžini 215 m tudi zalila. V tem primeru bi odseki ceste, ki bi jih speljali višje po terenu skupaj merili že dobrih 800 m. Na problemski karti 3 (priloga C) so ti odseki označeni z rumeno barvo. Dva daljša odseka ceste bi morali nadvišati v korenu zaježitve, saj je tam teren zelo položen in voda že ob manjšem dvigu gladine pokrije sorazmerno večje območje. Na 5 krajših odsekih na prvih 1400 m ceste, ki so na karti označeni s svetlo modro barvo (glej položaj odsekov na problemski karti), bi se voda pri maksimalni gladini povsem približala cesti, vendar je ne bi še dosegla. To bi predstavljalo nevarnost za odnašanje materiala iz brežine pod cesto, zato bi brežino pod cesto na teh mestih stabilizirali s podpornimi zidovi. Skupna dolžina teh odsekov je 122 m. Pri nadvišanju za 3 m bi pridobili za $0.52 \times 10^6 \text{ m}^3$ več vode kot v primeru nadvišanja za 2 m.

5.2.3.4 Nadvišanje za 4 m

Največja prednost nadvišanja za 4 m je seveda velika količina vode, ki bi jo z nadvišanjem pregrade pridobili. Je pa v primerjavi z ostalimi primeri, pri tem primeru največ težav s preplavitvijo makadamske ceste. Voda v akumulaciji bi se pri maksimalni gladini dvignila do kote 475.5 m.n.v. in cesto zalila v več odsekih, ki skupaj v dolžino merijo 460 m, na več odsekih pa bi se ji povsem približala. Cesto bi morali speljati višje po terenu na devetih odsekih, v skupni dolžini kar 1400 m. Na problemski karti 4 so nadvišani odseki ceste označeni z rumeno barvo (glej prilogo C). Tako kot v ostalih primerih nadvišanja, bi bilo tudi v tem primeru na vtoku potoka v akumulacijo potrebno urediti premostitev potoka. Na šestih odsekih ceste, ki se nahajajo predvsem v ostrejših ovinkih, bi zaradi nevarnosti porušitve ceste brežino pod njo utrdili s podpornimi zidovi. Skupna dolžina teh odsekov je 155 m, na problemski karti pa so označeni s svetlo modro barvo. Ostalih ovir v prostoru ob akumulaciji, tako kot v prejšnjih primerih tudi v tem primeru ni.

5.2.3.5 Izbira višine nadvišanja

Če bi pregrado nadvišali za več kot 4 m, bi bile težave z zalivanjem makadamske ceste ob akumulaciji že prevelike. Zaradi tega je mejna vrednost nadvišanja 4 m. Kot že rečeno, je glavna prednost 4 metrskega nadvišanja količina vode, ki bi jo s tem pridobili. Zaradi strmih brežin akumulacije bi se njena površina z višanjem vodne gladine pri vsaki naslednji stopnji nadvišanja le malo povečala. Pri nadvišanju pregrade za 1 m, bi s sanacijo oziroma z nadvišanjem nekaj krajših odsekov ceste odpravili vse težave v zvezi z omejitvami v prostoru ob akumulaciji. Zaradi premajhne količine vode, ki bi jo v tem primeru na novo pridobili, izvedba 1 metrskega nadvišanja ne bi bila smiselna. Če bi pregrado nadvišali za 2 m, bi v akumulaciji pridobili približno enkrat več vode kot v prejšnjem primeru. Nov volumen akumulacije bi znašal $5.19 \times 10^6 \text{ m}^3$. Potrebni bi bilo že nekaj več popravil makadamske ceste kot v prejšnjem primeru, vendar precej manj v primerjavi s primeri nadvišanja za 3 in 4 m. V teh dveh primerih bi sicer z nadvišanjem pregrade pridobili sorazmerno veliko količino vode, vendar bi morali zaradi povečanja območja akumulacije izvesti rekonstrukcijo makadamske ceste v večjem obsegu, s čimer bi se stroški celotnega projekta precej povečali. Z vidika zasedbe prostora in tangence z ostalimi objekti v prostoru ter na drugi strani pridobljene količine vode, je optimalna izbira višine nadvišanja pregrade 2 m. Čeprav smo za višino nadvišanja iz omenjenega vidika izbrali 2 m, bomo v nadaljevanju primerjali varianto nadvišanja pregrade za 2 in za 4 m.

6 NADVIŠANJE PREGRADE

Pri gradnji nasutih pregrad moramo upoštevati vrsto parametrov, ki so odvisni od geološke sestave prostora, kjer se pregrada nahaja, lastnosti materiala, ki ga vgrajujemo, načinov zagotavljanja vodotesnosti, stabilnost pregrade, itd. Tako tudi izvedba nadvišanja nasutih pregrad ni preprosta. Pri izvedbi nadvišanja moramo biti pozorni na to, kako nadvišanje vpliva na stabilnost in posedanje pregrade, saj z dodatnimi obtežbami osnovnega telesa pregrade, ki ga predstavlja lastna teža nadvišanega dela in dodatno hidrostatični tlak vode, spreminjamo osnovno obtežno stanje, za katero je bila stabilnost pregrada preverjena. Paziti je potrebno tudi na kontrolo precejanja skozi pregrado in zagotoviti funkcionalnost tesnilnega dela tudi pri nadvišanju pregrade, da zaradi nekvalitetne izvedbe ali uporabe neustreznih materialov ne pride do pojava propustnih con. Tudi ostali stiki materiala, s katerim gradimo, in materiala, ki je vgrajen v pregrado, morajo biti pravilno izvedeni, saj mora na koncu pregrada skupaj z nadvišanjem predstavljati homogeno celoto in učinkovito opravljati funkcije, za katere je namenjena. Nadvišana pregrada mora ustrezati konstrukcijskim zahtevam kot so: minimalna sprejemljiva širina krone, maksimalen naklon brežin, ki še zagotavlja stabilnost, pravilno izveden stik z objekti, ki se nahajajo na pregradi, v nekaterih primerih pa je potrebno preučiti metode, s katerimi bi lahko izvedli večji naklon brežin kot sicer. (vir: US Army Corps of Engineers, 2004)

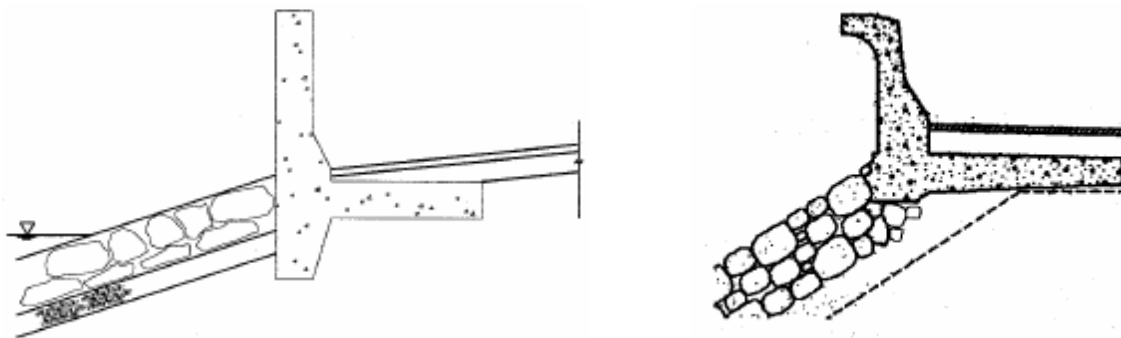
6.1 Metode nadvišanja

Osnovne metode za nadvišanje nasutih pregrad obsegajo naslednje rešitve: nadvišanje s parapetnimi zidovi, z dvostranskim dvigom krone pregrade, z mehansko stabilizirano zemljino, zemljino stabilizirano s cementom ali valjanim betonom in nadvišanje z (dvostransko ali enostransko) razširitvijo celotnega prečnega profila pregrade. To so osnovni načini nadvišanja, izvedba pa je možna tudi s kombinacijo omenjenih metod, z različnimi materiali in njihovim kombiniranjem. Izbira načina nadvišanja je odvisna od vgrajenih materialov v obstoječo pregrado, njene konstrukcije, funkcij, ki jih pregrada oziroma jez opravlja, želene višine nadvišanja, možnosti deniveliranja vode v akumulaciji za čas gradnje, razpoložljivih ekonomskih sredstev, itd. (vir: US Army Corps of Engineers, 2004). Z osnovnimi metodami nadvišanja bi dosegli tako 2, kot tudi 4 metrsko nadvišanje. V nadaljevanju bomo te metode opisali, v poglavju 6.2 pa bomo podali in utemeljili izbor metode, ki bi bila za nadvišanje pregrade Klivnik najprimernejša.

6.1.1 Metoda nadvišanja s parapetnimi zidovi

Najcenejša varianta nadvišanja zemeljskih pregrad do približno 4 m, je z izgradnjo parapetnega zidu višine približno 1 m v kombinaciji z dvigom krone pregrade. V primeru nadvišanja za 2 m, bi bilo potrebno krono dvigniti le za 1 m, v primeru 4 metrskega nadvišanja pa za 3 m. Na parapetni zid deluje obtežba s hidrostatičnim pritiskom, lahko pa tudi dinamična obtežba z valovi, zato mora biti zid

dobro temeljen v krono pregrade. Zid je lahko izveden tako, da je njegova vodna stran ravna (slika 22a), lahko pa je na vrhu vodne strani zid zakrivljen (slika 22b). Taka oblika parapetnega zidu pomaga pri odklonu visokega vala. Zid je na vodni strani podprt z dobro utrjeno kameno zložbo. (vir: US Army Corps of Engineers, 2004)



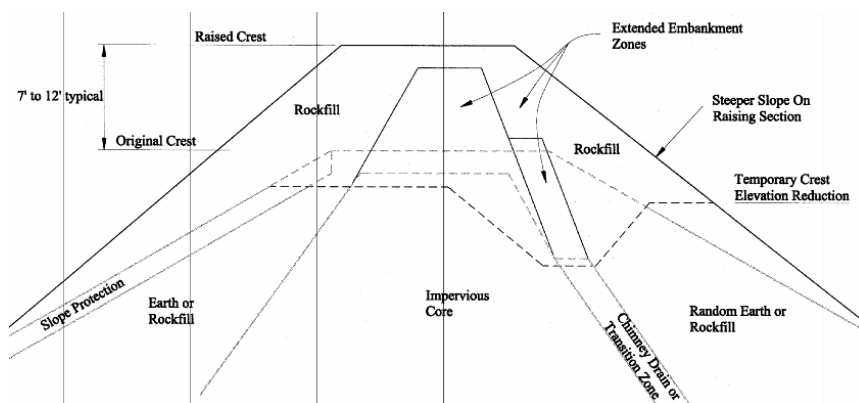
a) detajl ravnega parapetnega zidu

b) detajl zidu, zakrivljenega na gorvodni strani

Slika 22: Parapetni zid (vir: US Army Corps of Engineers, 2004)

6.1.2 Dvostranski dvig krone pregrade

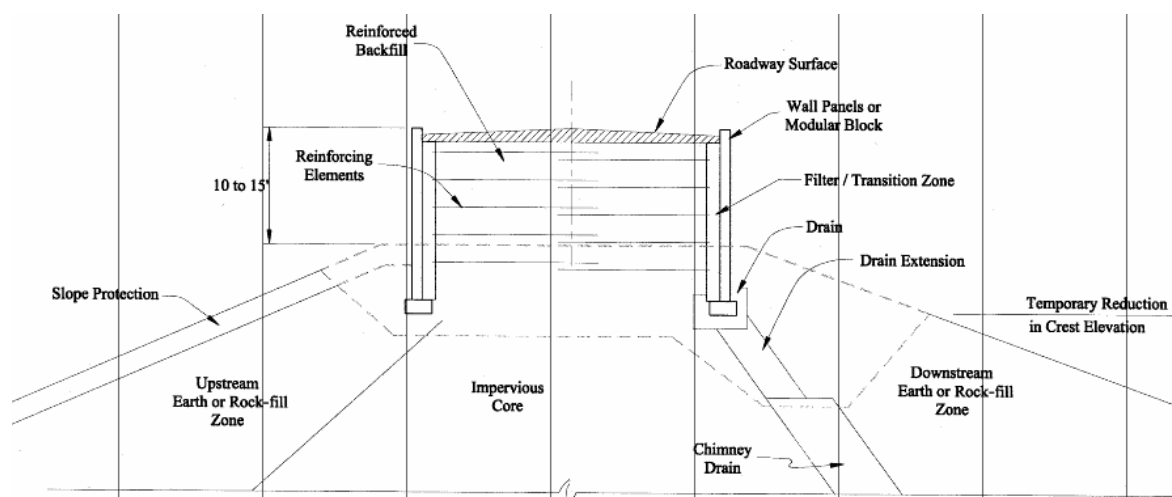
Gre za enega izmed tipičnih načinov nadvišanja. Pozorni moramo biti, da vse elemente pregrade kot so nepropustno jedro, filtri in drenaže, tudi v nadvišanem delu krone pravilno in kontinuirano izvedemo do vrha. Pred gradnjo je potrebno odstraniti del obstoječe krone, vendar moramo pri tem upoštevati določene omejitve, zaradi nevarnosti visoke vode. Naklon brežin krone je po izvedenem nadvišanju večji kot naklon brežin pregrade, zato tega načina ne moremo izvesti, če je naklon brežin na osnovni pregradi prevelik (slika 23). Ob ohranitvi širine obstoječe krone, bodo nakloni brežin dvignjene krone manjši pri 2 metrskem kot pri 4 metrskem nadvišanju. (vir: US Army Corps of Engineers, 2004)



Slika 23: Dvostranski dvig krone pregrade

6.1.3 Mehansko stabilizirana zemljina

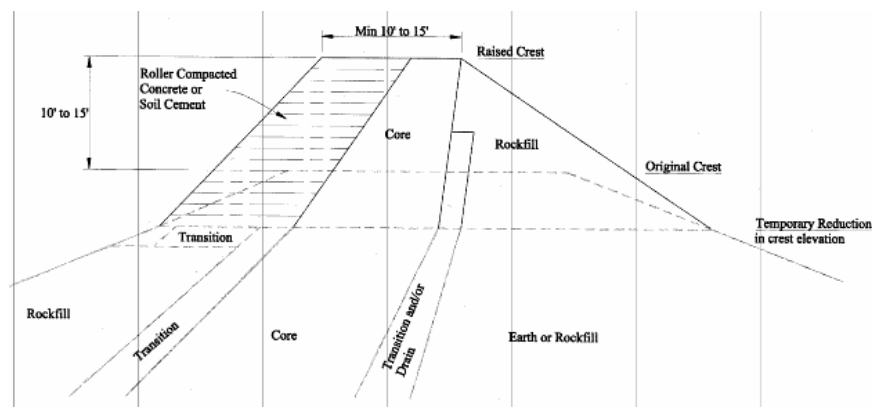
Do okoli 4 m visoko nadvišanje lahko dosežemo tudi s pasovi mehansko stabilizirane zemljine ob uporabi modularnih konstrukcijskih elementov ali brez njih. Pri enaki širini krone dosežemo večjo višino, če uporabimo panelne konstrukcijske elemente, s katerimi naredimo vertikalna zidova na gorvodni in dolvodni strani krone po njeni celotni dolžini, med njiju pa nalagamo pasove mehansko stabilizirane zemljine in horizontalne ojačitve (slika 24). Pri tej metodi večinoma ni uporabljena neprepustna zemljina, ki se običajno uporablja za jedro pregrade in ostale neprepustne sloje. Če izvedemo nadvišanje brez modularnih konstrukcijskih elementov, bo imelo nadvišanje določen naklon. Za doseg večjih naklonov je treba uporabiti material z večjim strižnim kotom. To pa so materiali, ki so bolj prepustni, zato jim je potrebno dodati zadosten delež drobnozrnatih neprepustnih materialov. Ker tako nadvišanje ne zagotavlja popolne tesnitve, pri visoki gladini v akumulaciji krona vodi ne sme biti izpostavljena preveč dolgo. Pred gradnjo nadvišanja je tudi pri tej metodi potrebno del krone do določene globine odstraniti. (vir: US Army Corps of Engineers, 2004)



Slika 24: Nadvišanje z mehansko stabilizirano zemljino ob uporabi modularnih konstrukcijskih elementov (vir: US Army Corps of Engineers, 2004)

6.1.4 Nadvišanje pregrade z uporabo valjanega betona ali stabilizirane zemljine

Z valjanim betonom ali s stabilizirano zemljino s cementom izvedemo nadvišanje kot pri metodi z mehansko stabilizirano zemljino in dosežemo podobno višino, le da imata valjan beton (v angleščini 'roller compact concrete' - RCC) oz. stabilizirana zemljina s cementom (v angleščini: Soil-Cement - SC) določene prednosti. Gradimo lahko v precej strmejših naklonih, brežina vodne strani je zaščitena pred poškodbami, ki jih povzroči voda, material pa zagotavlja dobro tesnjenje. (vir: US Army Corps of Engineers, 2004)

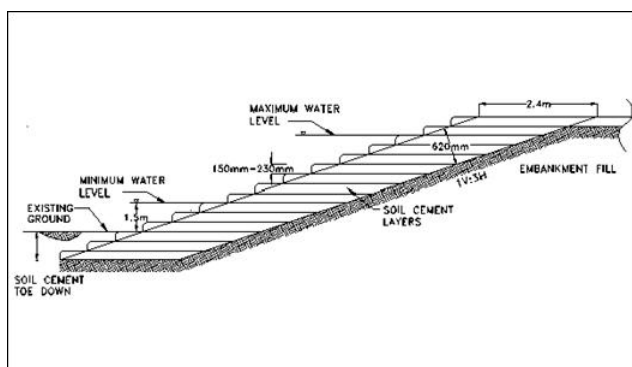


Slika 25: Dvig krone pregrade z uporabo valjanega betona oziroma stabilizirane zemljine

Valjani beton (RCC) se pogosto uporablja pri gradnji pregrad. Ta material se je v gradbeništvo uveljavil nekje v šestdesetih letih prejšnjega stoletja. Glede na svoje lastnosti ga prav tako kot SC lahko uvrstimo nekje med suhe zemeljske materiale in beton. Oba materiala sta zemeljsko suha in imata podobne lastnosti, glavna razlika med njima pa je v agregatu, ki ga uporabimo za mešanico. Za valjan beton se uporablja kameninski agregat, podobno kot za običajne betonske mešanice, pri SC pa nastopa kot agregat material, ki bi ga sicer vgradili v nasipe. Za valjan beton se po večini uporablja klasični portland cement tipa I. Potrebno je paziti na hidratacijsko toploto, ki se sprošča pri vezanju cementa. Ker vgradnja materiala poteka zelo hitro in predhodna plast materiala ob začetku gradnje naslednje plasti še ne uspe oddati vse toplote, v materialu nastanejo zaostale napetosti. Voda je nujno potrebna za proces vezanja cementa. Količina vode v mešanici RCC kot tudi SC pa ne sme biti prevelika, saj mora biti ta dovolj suha, da je omogočeno kompaktiranje z valjarji. Pravimo, da imata ta dva materiala zemeljsko vlažnost. Valjan beton ima zaradi uporabe boljšega in nekoliko večjega agregata, večjo končno tlačno trdnost kot SC. RCC je v bistvu običajen beton, le da vsebuje nižjo količino cementa, vgrajujemo pa ga z zemeljsko mehanizacijo. Ob zadostni vsebnosti cementa je to dokaj nepropusten material. Problemi se lahko pojavijo pri stikih med plastmi, saj material med dvema plastema ne more biti tako dobro povezan kot je v sami plasti. Pri objektih oziroma delih objektov, kjer je zahtevana dobra tesnitev, se lahko ta problem odpravi s povečanjem količine cementa v mešanici ali pa tako, da na predhodno plast na mestu stika z novo plastjo nanese sloj malte, ki izboljša tesnitev na stiku. (vir: Šimic J., 2006 in http://www.cement.org/water/dams_sc_faqs.asp)

SC je mešanica širokega spektra različnih zemljin, majhne količine portland cementa in vode, lahko pa ji dodamo še nekatere dodatke. Če zemljina vsebuje korenine in druge organske primesi, ne reagira pravilno s cementom, zato je potrebno take dele v procesu priprave materiala v čim večji možni meri izločiti. S kompaktiranjem in vezanjem cementa postane to trden, čvrst, trajen, dokaj nepropusten, na erozijo odporen in cenovno ugoden material. Uporablja se za gradnjo cestnih nasipov, zaščito in utrditev brežin ter za izboljšanje nosilnosti temeljnih tal. Glavni prednosti stabilizirane zemljine sta nizka cena in hiter proces vgradnje. Hitra vgradnja je pomembna predvsem zaradi tega, ker se ta

material vgrajuje po plasteh. Po vgradnji spodnje plasti lahko naslednjo vgradimo že po času 6 – 10 ur, za gradnjo pa ne potrebujemo nobenega opaža, kar zniža tako čas kot tudi stroške gradnje. Mešanico zemljine, stabilizirane s cementom lahko pripravimo v betonarni, lahko pa kar na gradbišču. Druga varianta pride še posebej v poštev, če se material, ki bi ga uporabili za zemljinski agregat, nahaja v bližini gradbišča. Agregat, ki ga uporabimo za mešanico, ne sme biti zmrznjen za čas mešanja in vgradnje oziroma temperatura zraka ne sme biti nižja od 4°C. Pozornost je potrebna tudi pri dodajanju cementa in vode, ki morata biti vnesena v optimalnih količinah, da dosežemo želene lastnosti materiala. Material se od mesta mešanja na mesto vgradnje dovažata s težkimi kamioni, na samem mestu gradnje pa se ga z buldožerji razporedi po površini, kjer se bo plast nahajala. Material se vgrajuje v plasteh debelih do 0.5 m, debelejšje plasti je namreč težko ustrezno kompaktirati. Kompaktiranje plasti se lahko izvaja s težkimi valjarji, valjarji z ježi, pnevmatskimi valjarji in vibracijskimi valjarji. (vir: ICOLD, 1986; <http://www.secement.org/PDFs/IS008.PDF>)



a) primer vgrajene stabilizirane zemljine po plasteh

b) brežina, zgrajena s stabilizirano zemljino

Slika 26: Stabilizirana zemljina (vir:

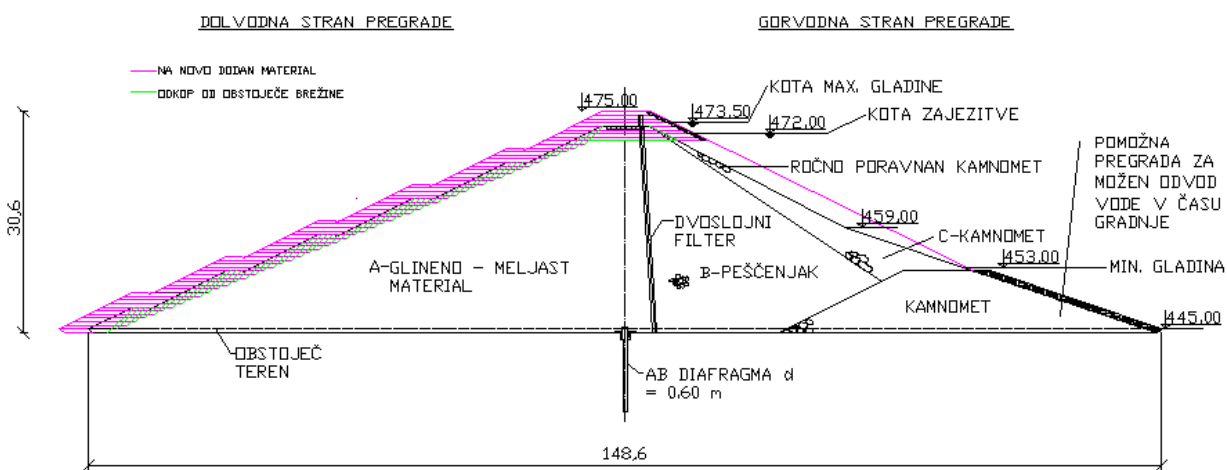
<http://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/pubs/09112/page07.cfm> in

http://www.cement.org/basics/concreteproducts_soil.asp)

6.1.5 Dvostranska razširitev prečnega profila pregrade

Če bi za čas gradnje vodo v akumulaciji denivelirali, bi bil eden od možnih načinov nadvišanja pregrade tudi ta, da bi material dodajali na obeh brežinah. Dolvodno brežino bi gradili enako kot v primeru nadvišanja z dodajanjem materiala na dolvodno stran (opisano v nadaljevanju), le da bi v tem primeru potrebovali manj novega materiala za gradnjo nove dolvodne brežine, ker bi gradili tudi na gorvodni strani. Za gradnjo na dolvodni strani bi uporabili kar stabilizirano zemljino, s katero bi brežino utrdili. Iz gorvodne brežine bi bilo potrebno najprej odstraniti kamnomet, ki je na vrhu brežine, nato pa po plasteh, podobno kot je to opisano v prejšnjih točkah za dolvodno brežino odkopati nekaj peščenjaka, ki je vgrajen v to brežino. Enako kot na dolvodni strani, bi material sproti odkopavali in dodajali plasti novega materiala, lahko kar lomljenec apnenca in peščenjaka, iz katerega je gorvodna stran pregrade. Na gorvodni brežini se naklon približno na polovici pregrade poveča:

naklon spodnje polovice je 1:3, v zgornji polovici pa je naklon 1:2. Čeprav ima material, ki je vgrajen v ta del pregrade, večji strižni kot kot material na dolvodni strani, brežine iz stabilnostnih razlogov rajši ne bi gradili v strmejšem naklonu. Zato bi bilo treba material na to brežino dodati po celi višini pregrade oziroma vsaj od kote 453 m.n.v., do koder sega glinena plast, ki pokriva spodnji del brežine (prikazano na sliki 27 in natančneje v prilogi D). Gorvidno brežino bi oblikovali v stopničasto, kar bi nam služilo kot podlaga za kamnito zložbo, s katero bi bila gorvodna brežina urejena. Krono pregrade bi na dolvodni strani do filtra zgradili s stabilizirano zemljino, filter pa podaljšali do vrha. Za izgradnjo 4 metrskega nadvišanja bi morali nasip na obeh straneh še bolj razširiti, kar pomeni večjo količino vgrajenega materiala. Slika 27 in slika v prilogi D prikazuje prečni profil pregrade nadvišane za 2 m, z dodanim materialom na obe brežini.



Slika 27: Pregrada, nadvišana z dodajanjem materiala na obe brežini

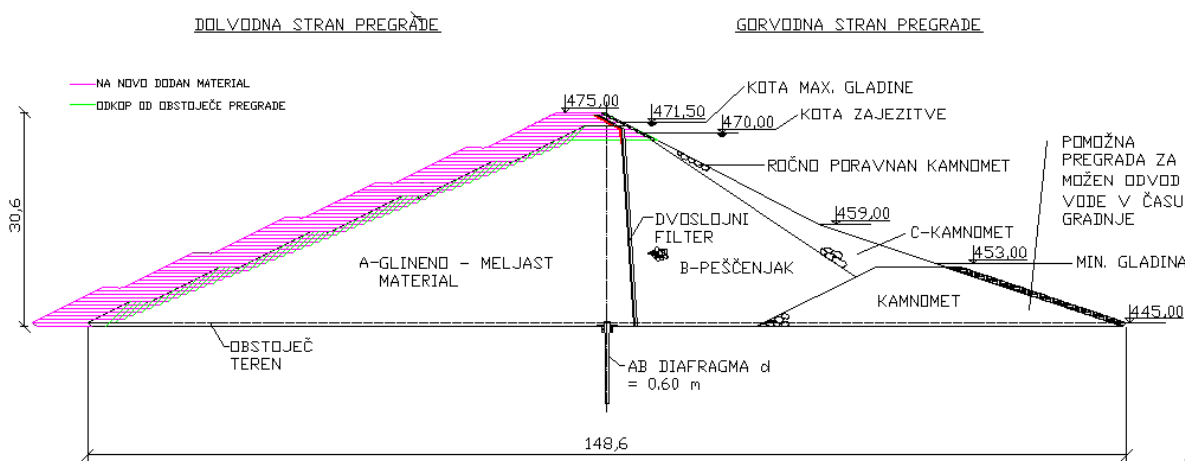
6.1.6 Nadvišanje z razširitvijo prečnega profila pregrade na dolvodni brežini

Nadvišanje pregrade lahko dosežemo tudi tako, da material dodamo na celotno dolvodno brežino in tako povečamo celoten prečni profil pregrade in s tem naredimo podporo za izgradnjo nove krone. Pri tem načinu ohranimo prvotni naklon brežine, še ena velika prednost te metode pa je, da lahko akumulacija obratuje nemoteno, saj gradimo le na dolvodni strani. Krona mora biti zgrajena tako, da neprepustne plasti iz pregrade in filtre podaljšamo do vrha nove krone. (vir: US Army Corps of Engineers, 2004)

6.1.6.1 Razširitev profila pregrade na dolvodni brežini za dosego nadvišanja 2 m

Na zračni strani je pregrada iz glinasto – meljastega koherentnega materiala. Na vsakih 5 m višine so na brežini 3 m široke berme, poraščene s travo, na njih pa so betonske koritnice, za odvod vode. Postopek izvedbe rekonstrukcije je naslednji: Gradnja poteka po plasteh debeline 0.5 m od spodaj navzgor. Za gradnjo uporabimo stabilizirano zemljino. Najprej odstranimo zarast na brežini in plast

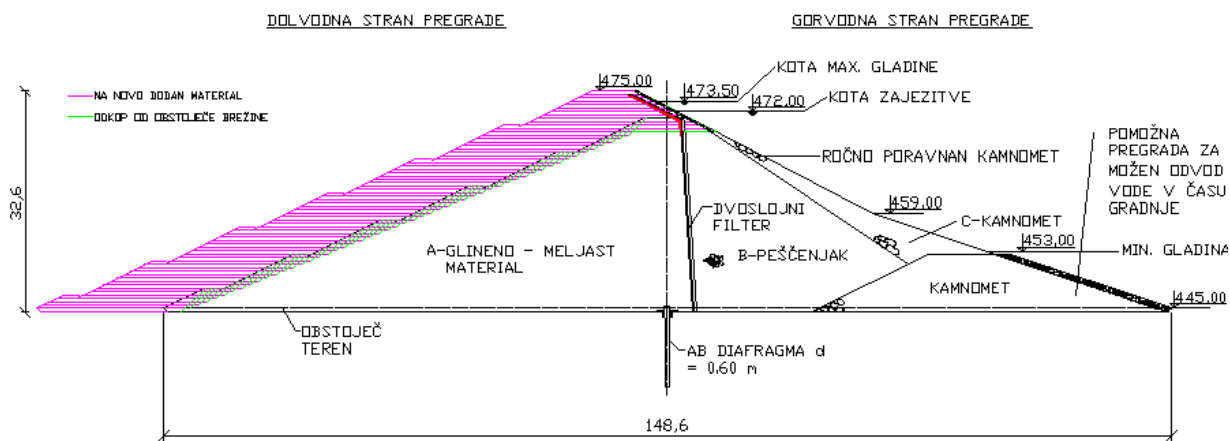
humusa. Sledi izdelava zaseka v telo pregrade pod kotom, ki še zagotavlja stabilnost brežine. Globina izkopa je odvisna od materialnih parametrov osnovnega materiala, ki jih določimo na osnovi predhodnih preiskav. Nato sledi vgradnja prvega sloja stabilizirane zemljine v širini, ki je določena glede na želeno nadvišanje pregrade. Po zaključku prvega sloja zasek v telo pregrade razširimo za širino stopnice novega sloja in vgradimo nov sloj stabilizirane zemljine. Izvedba nadvišanja po plasteh je razvidna iz slike 28, na kateri je z zeleno barvo označeno, kaj bi odkopavali od obstoječe brežine, z vijolično pa so narisane nove plasti materiala, ki bi jih dodali.



Slika 28: Prerez pregrade nadvišane za 2 m

6.1.6.2 Razširitev profila pregrade na dolvodni brežini za dosego nadvišanja 4 m

Kot je opisano v 5. Poglavju, je zgornja meja za nadvišanje pregrade Klivnik, 4 m. S takim nadvišanjem bi pridobili veliko količino vode v akumulaciji, vendar bi bila gradnja takega nadvišanja precej dražja in tudi zahtevnejša. Slaba stran te metode pri varianti 4 metrskega nadvišanja je tudi količina materiala, ki bi ga za gradnjo potrebovali. Ta bi bila namreč zelo velika, kot je pokazano v ocenah v točki 6.6, zaradi dodatne obremenitve na dolvodni brežini pa bi bili tudi posedki pregrade toliko večji. Na sliki 29 in podrobneje v prilogi D je prikazan prečni prerez pregrade, nadvišane za 4 m samo z dodajanjem materiala na dolvodno brežino. Odkop je označen z zeleno, na novo dodan material pa z vijolično barvo. Že iz slike je razvidno, da bi za nadvišanje potrebovali veliko količino novega materiala. Potrebovali bi tudi večje količine betona in armature ter več opaža za izgradnjo bočnih zidov preliva za visoke vode, bočnih zidov prelivne drče in za podporni zid okoli zaporničnega objekta talnega izpusta. Tudi postopki gradnje bi bili zaradi tega bolj zahtevni. Zaradi večjih količin materiala in zahtevnejših postopkov bi gradnja trajala dlje, cena pa bi bila veliko večja kot pri gradnji nižjega nadvišanja.



Slika 29: Pregrada, nadvišana za 4m

6.2 Izbira metode nadvišanja

Eden glavnih vidikov, ki jih moramo upoštevati pri izbiri metode nadvišanja in materiala za gradnjo, je slabo stanje obstoječe dolvodne brežine pregrade. Na njej so namreč vidne deformacije – posedanje in zdrsi, na levem boku pa se na stiku pregrade z brežino v spodnjem delu pojavljajo površinska plazenja vzdolž celotnega roba. Brežina je že intenzivno zaraščena, kar pomeni tudi življenjski prostor za male živali (glodalci, žužkojedi, žuželke,...), ki uničujejo brežino. Deformacije zaradi posedanja pregrade potrjuje slabo stanje odvodnih kanalov iz betonskih koritnic na bermah pregrade, ki so izmaknjeni iz svojih osi. Natančneje je slabo stanje brežine opisano že v točki 4.5.3. Iz tega razloga bi morali brežino nujno utrditi in preprečiti oziroma zmanjšati omenjene škodljive vplive. Metoda s parapetnim zidom, dvostranski dvig krone pregrade, mehansko stabilizirana zemljina in metoda dviga krone z uporabo valjanega betona omogočajo nadvišanje pregrade samo z dvigom njene krone in zaradi nujnosti utrditve dolvodne brežine ne pridejo v poštev. Iz tega vidika bi bile primerne metode, pri katerih dodajamo materiala po celotni dolvodni brežini. Za material, s katerim bi gradili, pa je za utrditev brežine stabilizirana zemljina zelo dobra izbira. Uporaba stabilizirane zemljine bi lahko bila problematična v primeru, ko bi z njo stabilizirali brežino novo zgrajene pregrade, katera bi bila še v začetni fazi posedanja, saj je SC v primerjavi z glinasto – meljastim, ki je vgrajen v dolvodno polovico pregrade, precej bolj tog. S posedanjem brežine bi se lahko na mestu stika z obstoječim materialom pojavile razpoke v stabilizirani zemljini. Ker pa naj bi se do sedaj na pregradi izvršilo že 75 % posedkov, večjega posedanja ne pričakujemo več in tako tudi ne velikih potencialnih poškodb nove brežine iz stabilizirane zemljine. Z izbiro stabilizirane zemljine kot materiala, s katerim bomo gradili, bi brežino torej dobro utrdili, ta izbira pa je dobra tudi z vidika stikov materiala z objekti na pregradi. Bočne zidove prelivne drče bi bilo zaradi dodanega materiala potrebno povišati, okoli zaporničnega objekta talnega izpusta pa zgraditi podporni zid. Če bi uporabili zemljinski material, bi bili pritiski na zidove večji kot pri stabilizirani zemljini, saj je ta že sama po sebi bolj stabilna. Dobro bi bilo, da bi

material, vgrajen na območjih ob zidovih, vseboval nekoliko več cementa in bi bil tako še bolj stabilen.

Še eden zelo pomemben pogoj pri izbiri metode nadvišanja je gradnja samo na dolvodni strani. Gradnja nadvišanja bo potekala tudi v poletnem času, ko se zaradi pomanjkanja padavin izvaja bogatenje nizkih pretokov reke Reke. Pogoj pri postavitvi tehnologije sanacije je, da akumulacije za čas gradnje ne bi izpraznili, ker želimo zagotoviti njeno nemoteno obratovanje. Vse možnosti rekonstrukcije, pri katerih je treba izprazniti akumulacijo, tako ne pridejo v poštev.

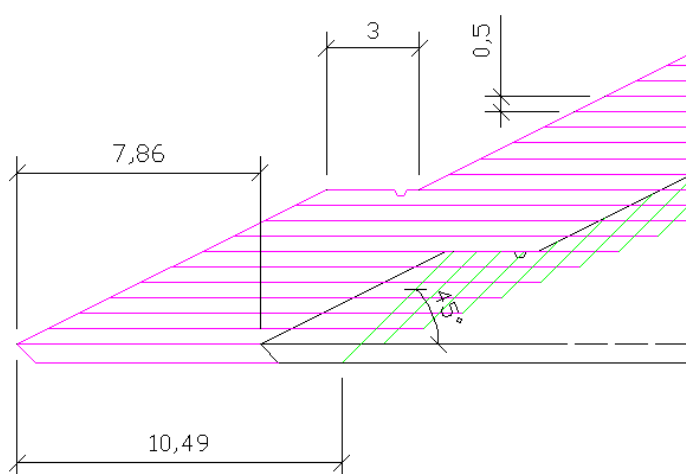
Zaradi teh razlogov je najprimerneje, da za gradnjo nadvišanja izberemo metodo razširitve pregradnega profila na dolvodni strani. Ker pri tej metodi gradimo po celotni brežini, za material pa smo izbrali stabilizirano zemljino, bomo s tem brežino dobro utrdili. Z izbrano tehnologijo rekonstrukcije v gorvodno stran pregrade, razen na samem vrhu, ne bomo posegali in tako bo omogočeno nemoteno obratovanje akumulacije.

Višina, ki smo jo izbrali za nadvišanje na osnovi prostorskih omejitev na območju akumulacijskega prostora, je torej 2 m. Tudi z vidika izbrane metode nadvišanja je primernejša izbira nadvišanje za 2 m, saj bi pri 4 metrskem nadvišanju za gradnjo potrebovali veliko več materiala za dograditev brežine, kar bi omenilo veliko večje stroške projekta. Nadvišanje pregrade za 4 m predstavlja tudi velik poseg v obstoječe evakuacijske objekte. Za optimalno obratovalno funkcionalnost bi bilo potrebno izvesti popolno rekonstrukcijo oz. predstavitev objektov. Problematiko bomo na splošno predstavili v nadaljevanju, detajlnejše rešitve pa predstavljajo tako velik konstrukcijski poseg, da bi bilo predhodno potrebno izdelati novelacijo strokovnih osnov (geodezija, geomehanika, hidrologija...) analize in preračune (hidravlika preлива, dograditev talnega izpusta, predstavitev natoka,...), kar presega obseg diplomske naloge. V nadaljevanju ugotavljamo, da je iz tehničnega vidika nadvišanje za 4m sicer možno, da pa bi varianto lahko obdelali na podobnem nivoju kot nadvišanje do 2m, bi potrebovali znatno več strokovnih podlag. Ker varianta z nadvišanjem 2m zagotavlja najboljši kompromis med novo pridobljenimi dodatnimi vodnimi količinami ob še sprejemljivem posegu v prostor, smo se odločili, da to varianto v nadaljevanju tudi tehnično podrobneje obdelamo.

6.3 Izvedba gradnje na brežini

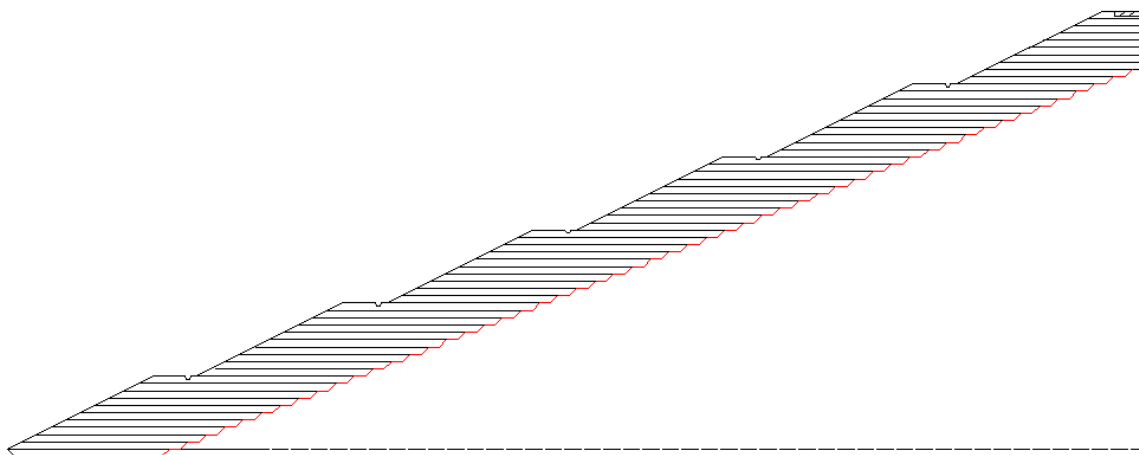
Strižni kot glinasto-meljastega materiala na dolvodni strani pregrade znaša $\varphi = 24^{\circ}30'$, naklon brežin med bermami pa 1:2. Material bi morali izkopavati pod nekoliko večjim kotom. Z upoštevanjem kohezije smo za izkopavanje izbrali kot 45° . Pod takim kotom bo material zagotovo zdržal za čas gradnje, je pa ta kot vseeno dovolj velik, da se z vsakim naslednjim odkopom ustvarja stopničasta oblika brežine, kar je pomembno za stabilnost stika med novim in starim materialom. Globina prvega

odkopa je nekoliko večja, v vsakem od sledečih odkopov pa bi odkopavali dobrega pol metra debele plasti pod kotom 45° . (glej sliko 30; zelena barva predstavlja odkop, vijolična pa na novo naložene plasti materiala). Pri taki globini odkopa bi bila končna povprečna debelina plasti, ki jo od brežine odstranimo, nekaj več kot 1 m, kar je dovolj da odstranimo travo in ostale manjše rastline, s katerimi je poraščena brežina in da pripravimo podlago za stik z novim materialom. Z gradnjo z odkopavanjem in dodajanjem plasti dosežemo stopničast stik med pregrado in novo zgrajeno brežino (glej sliko 31; stik je označen z rdečo barvo). Na tak način je dosežena veliko boljša stabilnost nove brežine, kot pa če bi material čelno dogradili na staro brežino. Pri gradnji, še posebej pri odkopavanju, je potrebno paziti na prelivno drčo, da ne bi poškodovali njenih bočnih zidov.



Slika 30: Podrobnejši prikaz odkopavanja in dodajanja plasti na brežini

Po prvem odkopu sledi izgradnja prve horizontalne plasti nove brežine. Širina dogradnje novih plasti znaša med 10 in 13 m, debelina posamezne plasti pa je 0.5 m, saj bi debelejše plasti zelo težko ustrezno kompaktirali. Kompaktiranje plasti poteka od zunaj navznoter. Vse to seveda po celotni širini plasti in dolžini pregrade za vsako vgrajeno plast posebej. Ko je prva plast utrjena, sledi odkopavanje naslednje plasti pod kotom 45° , ko je material odkopan, pa nasutje nove horizontalne plasti in tako bi nadaljevali z odkopavanjem in dodajanjem plasti do kote 471 m.n.v., saj na tej višini sledi odkop celega vrha pregrade. Na novo zgrajena zunanja brežina bo imela povprečni naklon 1:2,50, torej enako kot stara brežina. Na vsakih 5 m višine pregrade bodo enako kot na obstoječi brežini narejene 3 m široke berme, ki omogočajo dostop in vzdrževanje pregrade. Na koncu bomo morali urediti še izgled brežine. Da bo omogočena zatravitev brežine, bomo brežino prekrili s plastjo humusa (okoli 10 do 20 cm debel sloj). Zatravljena brežina bo imela tako enak izgled kot ga ima obstoječa. Na bermah bodo na koncu vgrajene koritnice za odvod vode iz novih betonskih montažnih elementov. Stike teh elementov bi bilo potrebno izvesti na način, da ne pride do zamakanja.



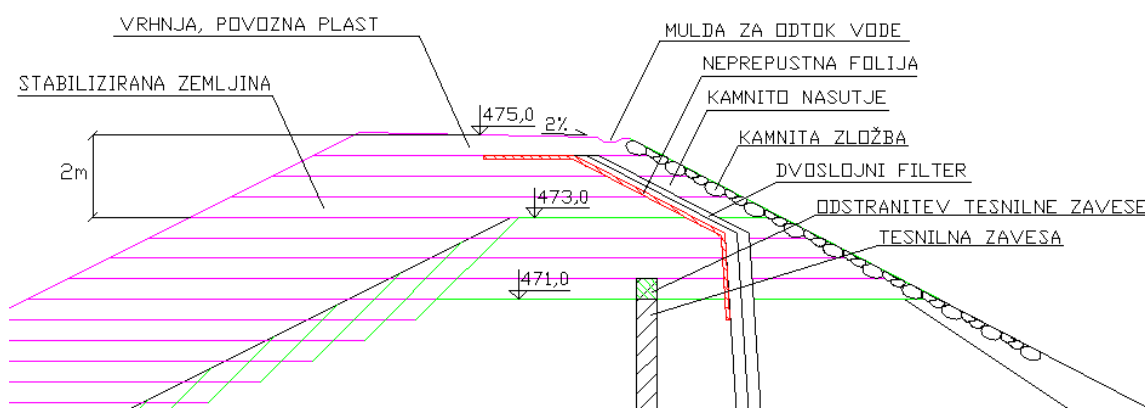
Slika 31: Stopničast stik med starim in na novo dodanim materialom na brežini

6.4 Izvedba gradnje na vrhu pregrade

Ko bi z dogradnjo dosegli koto 471 m.n.v., torej 2 m pod vrhom krone, bi bilo potrebno odstraniti celotno krono pregrade. Posebna pozornost pri odkopavanju bi bila potrebna na sredini krone, med prečnimi profili P-10 in P-25, saj se tam nahaja tesnilna JET GROUTING zavesa, ki je bila zgrajena naknadno za tesnitev pregrade, zaradi opaženih izvirov na tem območju. (MOP, 1996). Ker se nahaja 1.5 m pod vrhom pregrade, bi bilo treba zgornje 0.5 m zaveso porušiti. Zaveso pri gradnji vrha ne bi bilo potrebno dobetonirati do vrha pregrade, saj bi vrh tako kot brežino zgradili s stabilizirano zemljino, ki zagotavlja dobro tesnjenje. Čeprav akumulacije zaradi gradnje ne bi denivelirali, bi lahko gladina vode za čas gradnje segala največ do kote 470 m.n.v. (v sušnem obdobju), kar je 1.5 m nižje od maksimalne gladine zajezitve in 1 m pod koto, do katere bi vrh odstranili. Izven sezone bi bila gladina nižja, da bi bil ob nastopu visokih voda zagotovljen visokovodni volumen. V času rekonstrukcije na kroni pregrade mora biti talni izpust v stalni pripravljenosti, da omogoča evakuacijo visokih voda. Sledilo bi nalaganje plasti stabilizirane zemljine, debeline 0.5 m. Spodnja plast v širino meri 22 m. Da bi prišli na višino nadvišanja, bi bilo potrebno na ravnino odkopa dodati 4 metre materiala, torej 8 plasti, katerih širina bi se z višino zmanjševala, tako da bi bil naklon krone nove pregrade enaka kot na obstoječi pregradi. Pred izgradnjo prve plasti bi morali ob dolvodni strani filtra narediti približno 0.5 metra globoko zarezo po celi dolžini pregrade in vanjo vstaviti neprepustno folijo, ki bi segala do najvišje plasti materiala na kroni in skrbela za dodatno tesnitev, potegnili pa bi jo še približno 2 m horizontalno pod to plastjo (slika 32). Prvo plast stabilizirane zemljine bi vgradili in uvaljali na dolvodni strani do folije ob filtru. Na gorvodno stran bi ob foliji vgradili filtrski material, do konca gorvodne strani krone pa kamnito nasutje. Tako bi gradili plast po plast do vrha. Zadnja, najvišja plast, bi bila samo iz stabilizirane zemljine. V to plast bi vgradili malo boljši agregat in malo več cementa, saj bi ta plast služila tudi kot cesta brez dodatne površinske obdelave. Ker bi bila povozna plast zgrajena iz zbitega materiala, bi bilo potrebno zagotoviti odvodnjavanje. Vrh te plasti bi

bil nagnjen za 2 % proti gorvodni strani, ob robu povozne plasti pa bi vzdolž krone vgradili muldo za odtok vode s prepusti, po katerih bi voda odtekala v akumulacijo.

Filter, ki je vgrajen po celotni višini pregrade, se zaključí 0.5 m pod vrhom in je torej prekrit z 0.5 m debelo povozno plastjo (glej detajl izvedbe krone na sliki 32). S stabilizirano zemljino dosežemo dobro tesnjenje, vseeno pa bi zraven vgradili še nepropustno folijo in tako dosegli še boljše tesnjenje in neprepusten stik med materiali v pregradi in vrhom pregrade. Zunanjo stran gorvodne brežine zaključimo s kamnito zložbo.

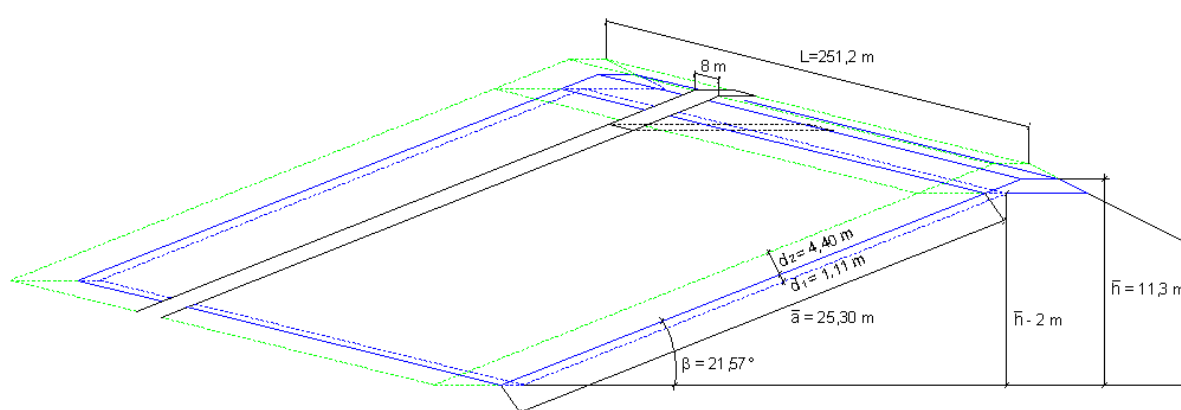


Slika 32: Detajl izvedbe nadvišanja na vrhu pregrade

6.4.1 Količina odkopanega materiala

Ker smo se odločili za nadvišanje z odkopavanjem in dodajanjem plasti na dolvodno brežino, je potrebno vsaj približno oceniti količino odkopanega materiala in količino novega materiala, ki ga potrebujemo za gradnjo. Vzdolž celotne brežine bomo torej odkopali plast materiala, vrh pregrade v višini 2 m pa odstranili v celoti. Za izračun prostornine plasti, ki jo bomo odkopali od obstoječe brežine, potrebujem njeno povprečno debelino d_1 (pravokotno na brežino), povprečno dolžino brežine v prečnem prerezu a in dolžino pregradnega nasipa L . Skica pregrade s povprečnimi dimenzijami prereza je prikazana na Sliki 33. Z modro barvo je označen odkop, z zeleno pa nov material, ki ga bomo dodali na pregrado, seveda pa bo nov material zasedal tudi prostor odkopa. Dolžina pregrade znaša $L=251.2$ m. Od te vrednosti sem odšteli 8 m, saj je to širina prelivne drče, ki poteka po dolvodni brežini pregrade in tam materiala ne bomo odkopavali. Dolžina pregrade, ki jo bom upoštevali v računu je torej 243.2 m. Povprečno dolžino brežine v prečnem prerezu sem izračunal s pomočjo povprečne višine pregrade. Višina pregrade po dolžini seveda ni konstantna, saj je pregrada locirana v dolini in zato njena višina variira od 0 do 28 m, kar je maksimalna višina pregrade. Povprečno višino pregrade smo dobili tako, da smo sešteli višine pregrade na vsakih 5 m dolžine pregrade in vsoto delili z 52, kolikor je vseh delnih višin. Pomagal sem si z vzdolžnim prerezom, ki je prikazan v prilogi A). Povprečna višina pregrade po tem izračunu znaša $h=11.3$ m. Od te vrednosti odštejem še 2 m, saj

bomo toliko materiala odstranili od vrha obstoječe pregrade, volumen vrha pregrade pa bom izračunal posebej (za lažjo predstavbo glej sliko 33). Naklon brežine je po celotni dolžini pregrade konstanten, 1:2.53, naklonski kot pa znaša $\beta=21.57^\circ$. Iz povprečne višine in iz kota naklona brežine, z uporabo enačbe (1) dobim povprečno dolžino brežine (brez vrha) v prečnem prerezu $\bar{a}=25.30$ m. Povprečna debelina te plasti, pravokotno na brežino je $d_1=1.11$ m. Dobil sem jo tako, da sem v programu AutoCAD z ukazom »measure -> area«, v karakterističnem prečnem prerezu pregrade nadvišane za 2 m (glej prilogo D) izmeril površino odkopa in jo delil z dolžino plasti na brežini (brez vrha) v istem prečnem prerezu, ki sem jo prav tako izmeril v AutoCAD-u s funkcijo, ki omogoča merjenje dolžin »measure -> distance«.



Slika 33: Skica pregrade s povprečnimi dimenzijami

$$\bar{a} = \frac{h-2}{\sin \beta} \quad (1)$$

Volumen plasti odkopanega materiala na brežini izračunam po enačbi (2), znaša pa $V_1=6829.79$ m³.

$$V = \bar{a} \times d \times L \quad (2)$$

Volumen materiala, ki ga bomo odkopali od vrha pregrade, pa izračunam tako, da dolžino pregrade pomnožim s površino prečnega prereza vrha pregrade, ki sem jo izmerili v programu AutoCAD. Površina prečnega prereza vrha je konstantna, le na levem in desnem bregu pregrade se zmanjša, vendar lahko to zanemarimo. Dolžino pregrade v tem računu, za razliko d gornjega računa, tudi pri računu vrha zmanjšamo za 8 m, torej za širino preliva za visoke vode. Volumen odkopanega materiala na vrhu pregrade je $V_2=5121.79$ m³.

Skupna količina materiala, ki ga bi okopali od pregrade je seštevek prostornine plasti, ki jo bi odstranili od brežine in prostornine odkopanega vrha pregrade. To skupaj znese 11951.58 m³.

Pri gradnji nadvišanja za 4 m bi bila količina materiala, ki bi ga odkopali, enaka kot pri gradnji nadvišanja za 2 m, to je 11951,58 m³. Razlikuje pa se seveda količina novega materiala, ki ga bi potrebovali za izvedbo nadvišanja za 2 in za 4 m.

6.4.2 Potrebna količina novega materiala

Prostornino, ki nam pove potrebno količino novega materiala, sem izračunali po enakem postopku, kot količino odkopanega materiala. Od obstoječe pregrade bi okopali le vrhno plast v povprečni debelini nekaj več kot 1 m, povprečna debelina plasti materiala, ki bi ga na brežino dodali pa je precej večja. V primeru nadvišanja za 2 m znaša $d_2=4.40$ m. Upoštevana dolžina pregrade je enaka kot pri računu odkopa od brežine; 243.2 m, dolžina brežine v prečnem prerezu pa je tudi enaka: 25.30 m. Uporabim enačbo (2) in izračunam količino materiala, ki ga bom dodal na brežino. Ta znaša 27073.02 m³. Za izgradnjo vrha pregrade bo potrebno 14081.61 m³ materiala, kar sem izračunal enako kot pri računu odkopa, torej tako da sem dolžino pregrade (zmanjšano za 8 m zaradi preлива za visoke vode) pomnožil s površino prečnega preseka vrha pregrade, izmerjenega v AutoCAD-u. Skupaj bi torej za nadvišanje pregrade za 2 m potrebovali 41154.63 m³ novega materiala.

Če želimo povišati pregrado za 4 m, je potrebna količina dodatnega materiala na brežini 48362.27 m³, na vrhu pa bi vgradili 27556.99 m³ materiala. Skupno torej 75919.26 m³. Računal sem po enakem postopku kot za 2 metrsko nadvišanje. Opazimo lahko, da je količina materiala za izgradnjo 4 metrskega nadvišanja po tem postopku kar za 34764.63 m³ večja kot v primeru 2 metrskega nadvišanja.

Ti izračuni so le približne ocene volumnov odkopov in količin novega materiala, saj s povprečnimi dimenzijami pregrade ne moremo natančno izračunati teh vrednosti. Ocene količin odkopanega in potrebnega novega materiala, so predstavljene tudi v preglednici 4.

Preglednica 4: Ocenjene količine odkopanega in novega materiala

		odkop [m ³]	nov material [m ³]
nadvišanje za 2 m	brežina	6829,79	27073,02
	vrh	5121,79	14081,61
	skupaj	11951,58	41154,63
nadvišanje za 4 m	brežina	6829,79	48362,27
	vrh	5121,79	27556,99
	skupaj	11951,58	75919,26

6.5 Objekti na pregradi

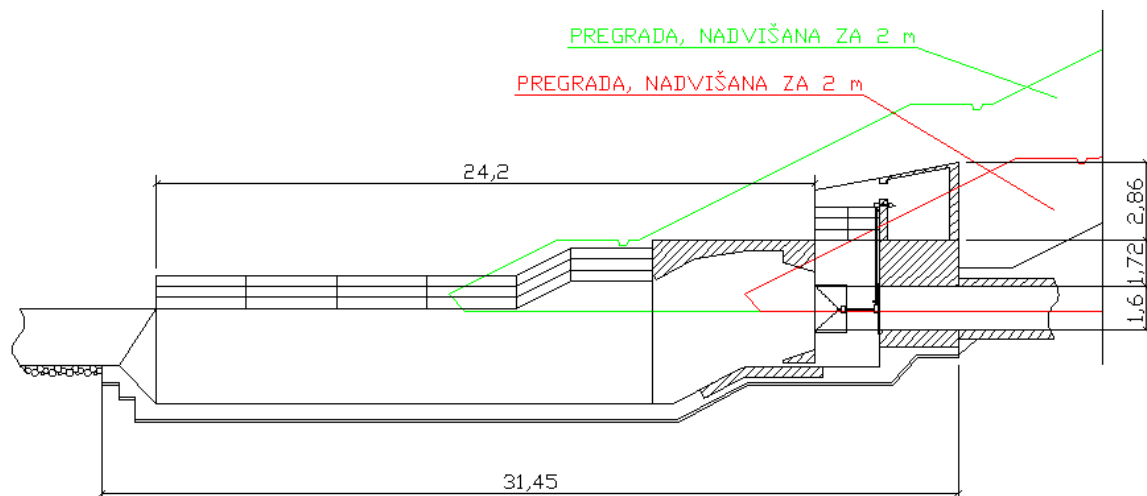
Nekatere objekte oziroma dele objektov, ki se nahajajo na obstoječi pregradi, bi bilo zaradi gradnje nadvišanja potrebno dograditi, nekatere pa premakniti oziroma jih porušiti in na novo zgraditi. Izbrali smo torej način nadvišanja z dograditvijo dolvodne brežine s stabilizirano zemljino. Zaradi tega bo potrebno urediti prelivni objekt, prelivno drčo in zapornični objekt talnega izpusta. Da bi bilo obratovanje akumulacije med gradnjo nemoteno, je potrebno graditi v določenem zaporedju. Najprej je potrebno urediti talni izpust, v tem času pa mora prelivni objekt normalno obratovati. Šele po končanih delih na talnem izpustu oziroma, ko je ta spet sposoben opravljati svojo funkcijo, lahko začnemo z deli na prelivnem objektu in prelivni drči. Med izvajanjem del na prelivu in na kroni pregrade pa mora biti ves čas v funkciji talni izpust. Kot pri vsakdanjem obratovanju, se tudi med gradnjo v nobenem trenutku ne sme zgoditi, da bi bila oba objekta za evakuacijo vode izven obratovanja.

6.5.1 Talni izpust

Talni izpust seveda ostane na svojem mestu, saj je lociran v dnu pregradnega profila. Problem se pojavi pri zaporničnem objektu. Material, ki bi ga dodali dolvodni brežini, bi zapornični objekt namreč delno zasul. Tukaj sta možni dve rešitvi:

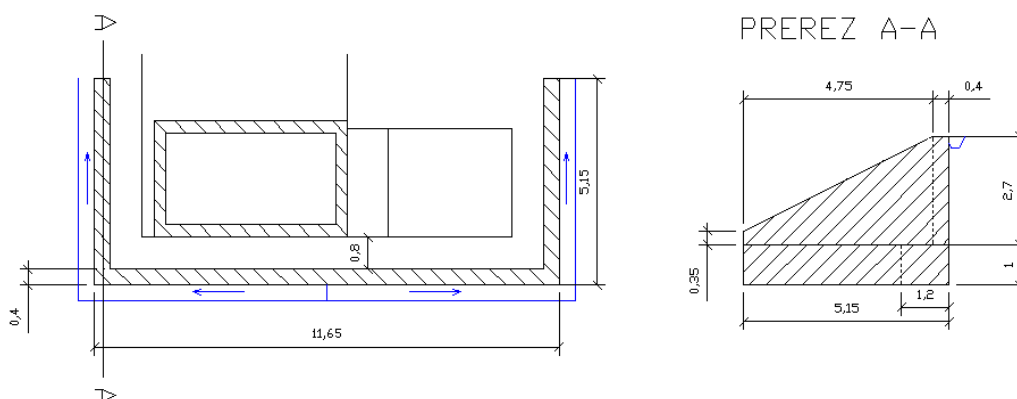
- a) Zapornični objekt ostane na istem mestu. Ko bo brežina dograjena, bo zapornični objekt 'vtisnjen' oziroma ograjen z novo brežino. Zaradi tega bi bilo potrebno zgraditi okoli objekta podporni zid, ki bi zadrževal material brežine okoli objekta. Za gradnjo na brežini smo izbrali stabilizirano zemljino, ki je že sama po sebi dokaj stabilna. Pritiski zemljine bi bili večji, če bi gradili brežino iz običajne zemljine. Vseeno pa je zaradi varnosti bolje narediti močan in dobro temeljen zid (glej sliko v prilogi D). Na sliki 34 in v prilogi D lahko vidimo, do kam sega dolvodna brežina pregrade pri zaporničnem objektu pri varianti nadvišanja za 2 m (rdeča barva) in za 4 m (zelena barva). Pri nadvišanju za 4 m bi moral biti zid okoli objekta kar 2.5 m višji, ob bokih pa precej daljši.
- b) Obstoječi objekt se poruši in se ga zgradi na novo slabih 8 m nižje v smeri dolvodno pri nadvišanju za 2 m, oziroma za skoraj 19 m v primeru nadvišanja za 4 m. Ta varianta je, kar se tiče varnosti zaporničnega objekta, boljša, saj zemljina v tem primeru ne pritiska nanj. Je pa dosti bolj komplicirana, saj je, kot je razvidno iz spodnjih slik potrebno v tem primeru dolvodno preseliti – to pomeni podreti in na novo zgraditi poleg zaporničnega objekta tudi celotno podslapje, cev talnega izpusta pa podaljšati. Premaknitev objekta je nesmiselna, saj je to zelo komplicirana in draga varianta.

Poleg že omenjenih razlogov je tudi problem talnega izpusta botroval odločitvi o izbiri višine nadvišanja 2 m.



Slika 34: Podslapje talnega izpusta in zapornični objekt. Rdeča barva - nova brežina pregrade, nadvišane za 2m; zelena barva - nova brežina pregrade, nadvišane za 4m

Nedvomno je boljša varianta a). Okoli objekta, ki ga bo 'objemala' nova brežina bi torej zgradili 40 cm debel, dobro temeljen armirano-betonski zid. Temelj višine 1 m, bi z jeklenimi sidri sidrali v temelj zaporničnega objekta. Pred gradnjo bi pod temeljem naredili armirano betonsko ploščo (označeno z vijolično barvo na sliki v prilogi D), debelo dobrih 40 cm, saj pod temeljem poteka cev talnega izpusta. S tem bi cev zaščitili pred poškodbami, ki bi lahko nastale zaradi zidu okoli zaporničnega objekta. Na zadnji strani objekta bi bil zid dolg dobrih 11.65 m visok pa 2.6 m. Dolžina zidu ob bokih objekta bi bila 5.15 m, višina pa bi se vzporedno z novo brežino navzven zmanjševala. Za odvod vode bi okoli podpornega zidu naredili kanaletu (na sliki 35 označeno z modro barvo). Prostor med zaporničnim objektom in podpornim zidom bi bil širok 0.8 m. Ta širina je zadostna za čiščenje tega prostora. Podporni zid bi lahko zgradili pred gradnjo nadvišanja, vendar bi nas kasneje oviral pri odkopavanju materiala in gradnji novih plasti. Boljše bi bilo, da bi med gradnjo plasti stabilizirane zemljine na tem mestu pustili nekoliko več prostora in zid zgradili kasneje, ko bi bila brežina na tem mestu že zgrajena. Prazen prostor med stabilizirano zemljino in zidom bi zapolnili z zemljinским materialom.



Slika 35: Levo - Tloris podpornega zidu za zaporničnim objektom; desno – Podporni zid za zaporničnim objektom, pogled v prerezu A - A

Nadgradnja je potrebna tudi pri podslapju talnega izpusta, saj se sedaj voda ob polnem odprtju zasuna preliva čez stene podslapja. Stene podslapja bi bilo potrebno povišati na celotni dolžini za 1 m, da bi dosegle višino stene na začetku podslapja. Ureditve je prikazana na sliki 36, na kateri je nov zid označen z rumeno barvo. Z rdečo barvo je na sliki označen vtok v podslapje, kjer priteka voda, ki se zbira v koritnicah, katere se nahajajo na bermah pregrade. Pred gradnjo nadvišanja zidov bi morali odstraniti železno ograjo, ki je postavljena na zidovih podslapja talnega izpusta. Po končani gradnji bi jo lahko ponovno postavili na novo zgrajen zid, tako da ne bi potrebovali nove ograje.

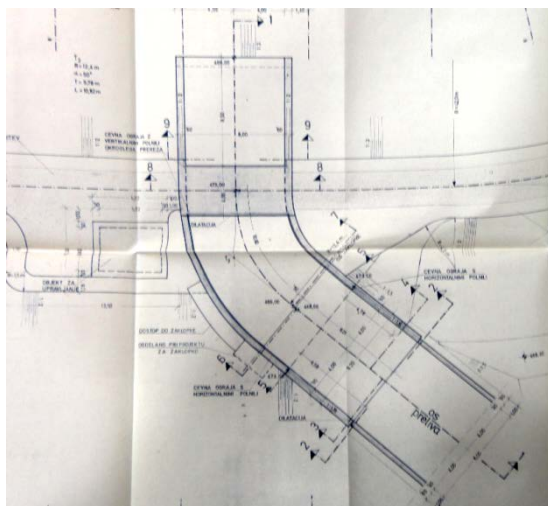


Slika 36: Nadvišana bočna zidova podslapja talnega izpusta

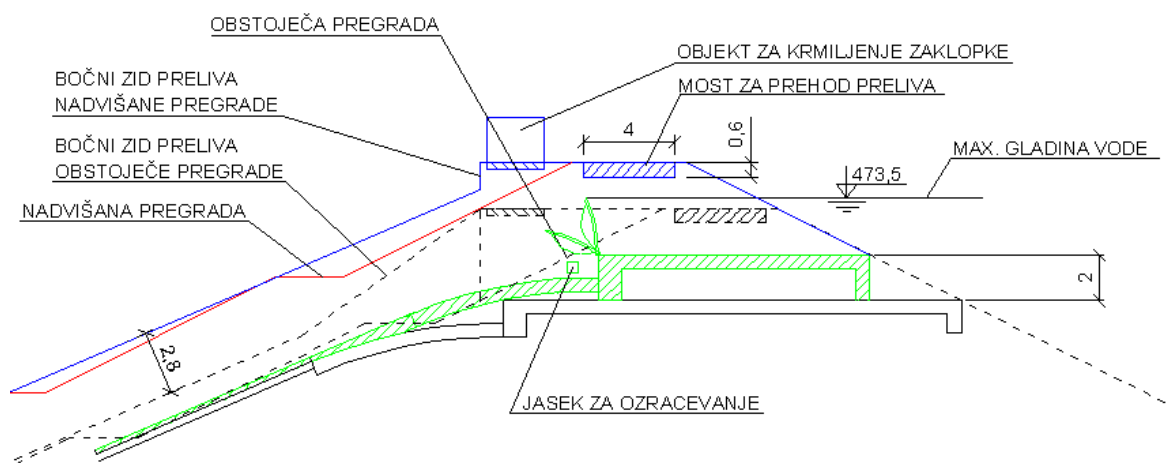
6.5.2 Preliv za visoke vode

Zaradi višje pregrade je potrebno popraviti tudi celoten preliv za visoke vode. Gledano iz situacije pregrade, bi potekal po isti osi kot sedanji. Eden od možnih načinov ureditve prelivnega objekta bi bil ta, da bi prelivno drčco podaljšali navzgor, tako da bi dosegli 2-metrsko nadvišanje krone. Pri novem prelivu bi uporabili isto zaklopko, ki bi jo samo pomaknili na novo mesto. Prelivna krona bi bila iz armiranega betona debeline 60 cm in dolga približno 12 m. Med starim in novim betonom pa bi vgradili kamnito nasutje. Vendar se pri tem primeru pojavijo težave, saj je prelivna krona speljana v

krivini (slika 37). Če bi hoteli imeti preliv v ovinku, bi morali v celoti rekonstruirati natočni del. Tak preliv bi bilo bolj komplicirano oblikovati. Ob izbiri takega načina povišanja prelivnega objekta, pa bi imeli še večje težave, če bi pregrado nadvišali za 4 m, saj bi bil preliv v tem primeru še bolj pomaknjen proti gorvodni brežini. Slika 38 prikazuje ta način ureditve novega prelivnega objekta, ki je na sliki označen z zeleno barvo.



Slika 37: Tloris prelivnega objekta (Vir: Komunalno gradb. podj. Ilirska Bistrica, 1984a)



Slika 38: Nadvišan preliv s podaljšanjem prelivne drče navzgor

Drugi način, pri katerem se te težave ne pojavljajo in smo ga zato izbrali kot ustrežnejšega, je sledeč: Prelivno krono bomo naredili na novo, tako da bi bil preliv premaknjen 2 m višje v vertikalni smeri. Uporabili bomo lahko isto zaklopko, ki je že zdaj na prelivu, s tem da jo bomo samo premaknili 2 m višje in z njo tudi objekt za krmiljenje zaklopke. Debelina betonske plošče na prelivu krone bo 60 cm, kolikor je že pri obstoječem objektu, prostor med starim in novim betonom pa bomo zapolnili s pustim betonom s kompaktiranjem po slojih, da ne bi prišlo do kasnejših posedkov krone preliva. Nova prelivna krona bo na koti 471 m.n.v., v osi preliva pa bo v dolžino merila 16 m, torej 4 m manj kot obstoječa. S tako ureditvijo ne bomo imeli težav zaradi krivine, saj bo zaklopka na istem mestu kot

sedaj, le postavljena bo višje. Pod zaklopko bo treba rekonstruirati jašek in odprtino za odzračevanje. Ureditev preлива je prikazana na sliki 40 in tudi v prilogi D. Z zeleno barvo je prikazan nov prelivni objekt, z rdečo nova brežina nadvišane pregrade, z modro pa bočni zidovi novega objekta. S prekinjeno črto je na sliki narisana obstoječa krona in obstoječi bočni zidovi preлива.

Pri nadvišanju za 4 m bi preliv uredili tako kot pri 2 metrskem nadvišanju, le da bi zaklopko morali dvigniti za 4 namesto za 2 m. Krona preлива bi bila v tem primeru na koti 473 m.n.v. in med staro in novo krono preлива bi nastal prostor, visok 3.4 m, v katerega bi bilo potrebno vgraditi kamnito nasutje. Debelina krone preлива bi bila tudi v tem primeru 60 cm, bi pa bila krona krajša – v osi preлива za okoli 4 m, saj se z višino širina krone pregrade manjša.

Za primer, ko zaklopko spustimo iz nove kote maksimalne vode (473.5 m.n.v.) na novo koto zaježitve (472 m.n.v.), sem zrisal obliko prelivnega curka s pomočjo koordinat Creager - Officerovega preлива, ki so podane za enotino višino preлива 1.0 m. Iz slike 40 je razvidna oblika curka pri prelivni višini 1,5 m. Iz računa je razvidno, da je nadvišanje zidu na drči dovolj veliko tudi v primeru preлива pri zaklopki v gornji legi.

$x = h_p * x_c$...enačba za izračun x koordinat prelivnega curka

$y = h_p * y_c$...enačba za izračun y koordinat prelivnega curka

h_p ...prelivna višina

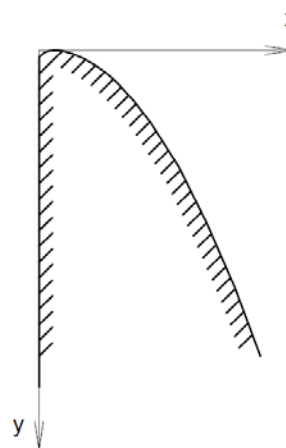
x_c ...x koordinata Creager-Officerovega preлива

y_c ...y koordinata Creager-Officerovega preлива

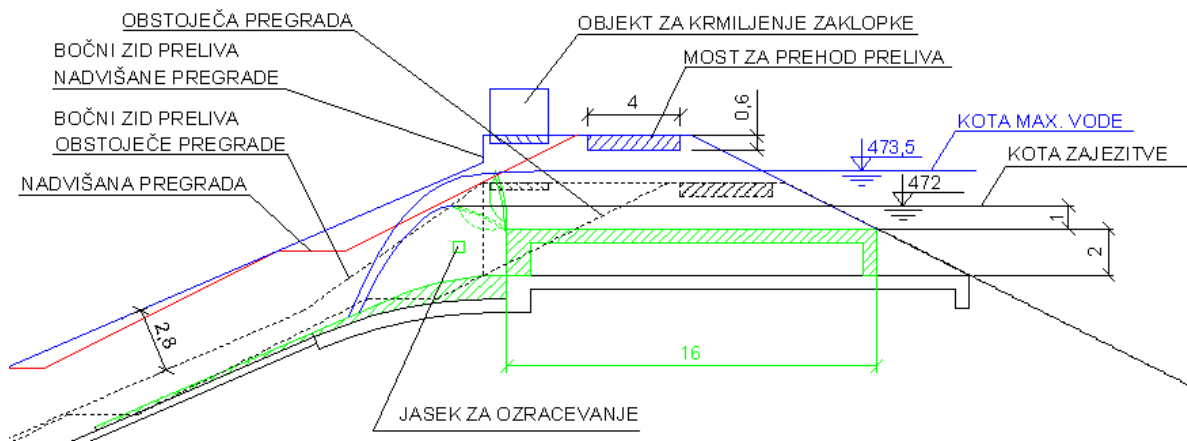
Preglednica 5: Koordinate

Creager - Officerovega preлива

enotske koordinate ($h_p = 1,0$ m)			dejanske koordinate ($h_p = 1,5$ m)		
x(m)	y(m)		x(m)	y(m)	
	zunani	notranji		zunani	notranji
0	-0,831	0,126	0	-1,247	0,189
0,1	-0,803	0,036	0,15	-1,205	0,054
0,2	-0,772	0,007	0,3	-1,158	0,0105
0,3	-0,74	0	0,45	-1,11	0
0,4	-0,702	0,007	0,6	-1,053	0,0105
0,6	-0,62	0,063	0,9	-0,93	0,0945
0,8	-0,511	0,153	1,2	-0,767	0,2295
1	-0,38	0,267	1,5	-0,57	0,4005
1,2	-0,219	0,41	1,8	-0,329	0,615
1,4	-0,03	0,59	2,1	-0,045	0,885
1,7	0,305	0,92	2,55	0,4575	1,38
2	0,693	1,31	3	1,0395	1,965
2,5	1,5	2,1	3,75	2,25	3,15
3	2,5	3,11	4,5	3,75	4,665
3,5	3,66	4,26	5,25	5,49	6,39
4	5	5,61	6	7,5	8,415
4,5	6,54	7,15	6,75	9,81	10,725



Slika 39: Oblika Creager - Officerovega preлива



Slika 40: Nov prelivni objekt pri pregradi nadvišani za 2 m

Bočna zidova prelivnega objekta je zaradi nadvišanja seveda potrebno povišati do vrha nove pregrade, torej za 2 m. Nove zidove bo potrebno zaradi stabilnosti sidrati v stare tako, da bomo v stare zidove zvrtili luknje in vanje zabili armaturne palice (sidra), ki bi jih kasneje povezali z armaturo novih zidov. V smeri preliva bomo na levi strani prelivnega objekta bočni zid podaljšali navzven, tako da bo segal malo čez zaklopko, saj se bo nad njo nahajal objekt za krmiljenje zaklopke, ki bo postavljen na armirano betonsko ploščo na vrhu bočnega zidu, kot je postavljen tudi sedaj na pregradi. Na zadnjem delu preliva bomo bočna zidova oblikovali v takem naklonu, kot je naklon gorvodne brežine. Most, ki trenutno stoji nad prelivom bomo porušili in ga v enakih izmerah, torej širine 4 m, debeline 0.6 m in dolžine 8 m, na novo zgradili 2 metra višje, na nivoju kote krona nadvišane pregrade. Če bi za nadvišanje izbrali višino 4 m, bi morali bočna zidova povišati za 4 m, da bi prišli do vrha pregrade. Pri tem bi potrebovali več opaža, gradben oder, večje količine betona in armature.

Prelivna drča bi torej ostala na istem mestu, potrebno pa bi jo bilo preplastiti z 20 cm plastjo betona, saj je beton sedaj že precej dotrajan, kot je to vidno na sliki 41a. Novo plast bomo ojačili z jekleno armaturno mrežo. Nevarno je, da bi nova plast betona zaradi slabega stika odstopila na stiku s starim betonom. V staro betonsko plast bomo zato izvrtali luknje in v njih vstavili jeklene čepe. Čepe bodo služili za sidranje nove preplastitve v staro prelivno drčo. Kljub sidranju s čepi bo za boljši stik stare in nove plasti betona potrebno obstoječo prelivno drčo pred gradnjo dobro očistiti z visokotlačnim curkom vode in jo premazati s premazom za boljšo sprijemnost med starim in novim betonom. Na novi prelivni drči bo potrebno narediti dilatacije na isti medsebojni razdalji, kot so že narejene na obstoječi drči. Stranske zidove bomo morali povišati do višine nove brežine. Zidove bo treba v stare prav tako sidrati z armaturnimi palicami.



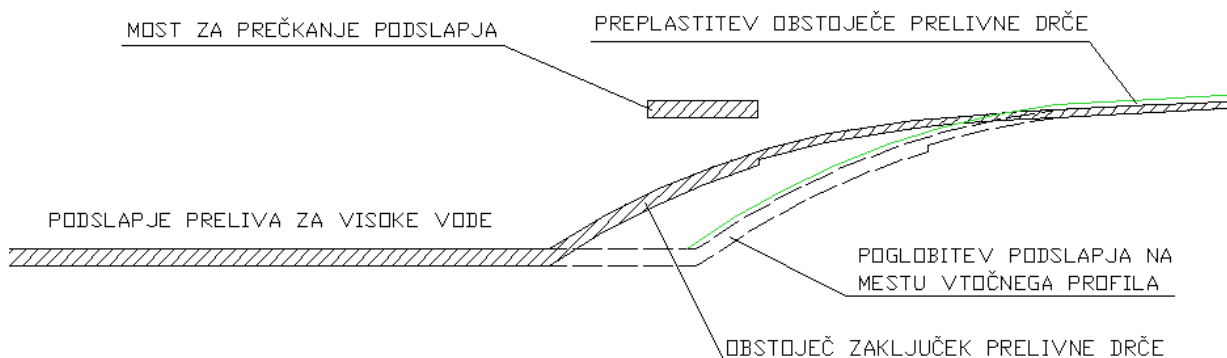
a) Zaklopka in objekt za krmiljenje zaklopke



b) prelivna drča

Slika 41: Zaklopka in prelivna drča (vir: osebni arhiv)

Pri preplastitvi prelivne drče pa se pojavi težava, ki je sicer prisotna že na obstoječi pregradi. Mostna konstrukcija namreč sega v sam iztek drče in deloma omejuje pretočni profil, pod mostom pa se nabirajo naplavine. S preplastitvijo obstoječe drče z 20 cm debelo plastjo betona se bo stanje še poslabšalo. Most bi bilo potrebno porušiti in ga na novo zgraditi nižje (v smeri dolvodno), še boljša rešitev pa bi bila poglobitev podslapja in dela prelivne drče na mestu iztekanja v podslapje. Pred preplastitvijo bi bilo potrebno beton iz tega dela drče odstraniti in drčo že nekoliko višje zaokrožiti navzdol proti podslapju. Pred gradnjo bi bilo potrebno vso vodo izčrpati iz podslapja, da bi bila gradnja omogočena. Ureditev je prikazana na sliki 42.



Slika 42: Poglobitev podslapja na mestu vtoka

7 PROBLEM IZTEKANJA ZALEDNE VODE V AKUMULACIJO

7.1 Iztekanje zalednih voda v akumulacijo in v strugo dolvodno

Na območju pregrade in akumulacije se pojavljajo nekateri problemi, ki sicer niso neposredno povezani z nadvišanjem pregrade, lahko pa bi jih vključili v sklop projekta nadvišanja. Eden od teh je problem zaledne vode, ki se iz bregov doline izteka v akumulacijo. Problem zalednih voda in možna ureditev le teh je prikazana na sliki 44 in v prilogi E. Po enemu od pritokov zaledna voda priteče iz desnega brega doline (na sliki zgornja rdeča puščica), skozi betonsko cev ϕ 60 cm pod makadamsko cesto in se nato tik ob pregradi – med pregrado in desnim bregom akumulacije izteka v akumulacijo (na sliki označeno z zeleno barvo). Zaradi tega je na tem mestu nastal jezik. Količino dotekajoče vode po tem pritoku lahko približno ocenimo na sledeči način. Prispevno območje do pregradnega profila obsega 8 km^2 , srednji letni pretok znaša $0.52 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{100 \text{ pa}} = 45.2 \text{ m}^3/\text{s}$. V Atlasu okolja sem s pomočjo izohips izmeril površino prispevnega območja omenjenega pritoka zaledne vode. Ta znaša 0.0636 km^2 , kar predstavlja 0.795% celotne površine prispevnega območja do pregradnega profila. Iz razmerja prispevnih površin določim količino srednjega letnega pritoka zaledne vode, ki znaša $0.0041 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{100 \text{ pa}}$ je po tem izračunu $0.3593 \text{ m}^3/\text{s}$. Zaledne vode, ki se iztekajo v akumulacijo so sicer dobrodošle, saj bogatijo vodo v akumulaciji, vendar te vode s seboj prinesejo tudi plavine, katere pa so nezaželene, saj se z njimi zasipava vtok v talni izpust. Zaradi tega bi moralo biti urejeno zadrževanje plavin pred vtokom zalednih voda v akumulacijo. Prva možnost je, da bi zadrževanje uredili s prodno pregrado, ki bi jo postavili na območje modre cone na sliki v prilogi E. Prodna pregrada skozi prepusti vodo, plavine pa zadrži. Druga možnost pa je, da zaledne vode speljemo v spodnjo strugo potoka Klivnik. Ta rešitev bi bila tudi sprejemljiva, saj se dolvodno od pregrade Klivnik nahaja akumulacija Mola, tako da zaledne vode v tem primeru ne bi bile izgubljene. Na sliki 44 je z modro barvo označen prostor med pregrado in desnim bregom akumulacije, po katerem se zaledna voda izteka v akumulacijo. V območju modre cone bi v tem primeru oblikovali kot klančino, ki bi jo utrdili s kameno zložbo. Tako bi bil na tem mestu urejen dostop do vode s čolni.



Slika 43: Iztok zaledne vode v akumulacijo, tik ob pregradi; prostor, ki bi ga bilo potrebno zasuti z materialom (vir: osebni arhiv)

Odločili smo se za drugo varianto, saj je en pritok zalednih voda 50 m južneje od zgoraj omenjenega, že speljan v spodnjo strugo potoka Klivnik (spodnja rdeča puščica na sliki 44). Ta pritok je speljan pod makadamsko cesto, nato teče ob zračni brežini pregrade do vznožja brežine in se tam izteka v podslapje preliva za visoke vode (potek označen s svetlo modro barvo).

7.2 Ureditev zalednih voda

Pred ovinkom makadamske ceste, pod katerim zaledna voda teče v akumulacijo, bi morali narediti betonski jašek in vodo od tam, po betonski cevi preusmeriti (rumena barva) ob makadamski cesti navzdol do naslednjega jaška, v katerem bi se združila z južnejšim pritokom zaledne vode, omenjenim zgoraj. Zaledna voda bi se od tu dalje iztekala v strugo potoka dolvodno od pregrade po isti poti, kot se je že pred tem (svetlo modra barva na sliki), vendar je to pot potrebno sanirati oziroma zaradi dodatnega materiala na dolvodni brežini zaradi nadvišanja povsem na novo urediti. Betonsko cev ϕ 60 cm, po kateri voda teče pod makadamsko cesto bi zamenjali s cevjo ϕ 100 cm, saj bi sedaj sem pritekala voda iz dveh pritokov zaledne vode. Vtoka v cev in iztoka iz cevi sta na teh dveh mestih zelo slabo urejena in zanemarjena. Iztok iz cevi bi bilo treba urediti na podoben način kot so že urejeni iztoki zalednih voda izpod makadamske ceste, razporejeni po desnem bregu akumulacije (prikazano na sliki 45).



Slika 44: Ureditev zalednih voda



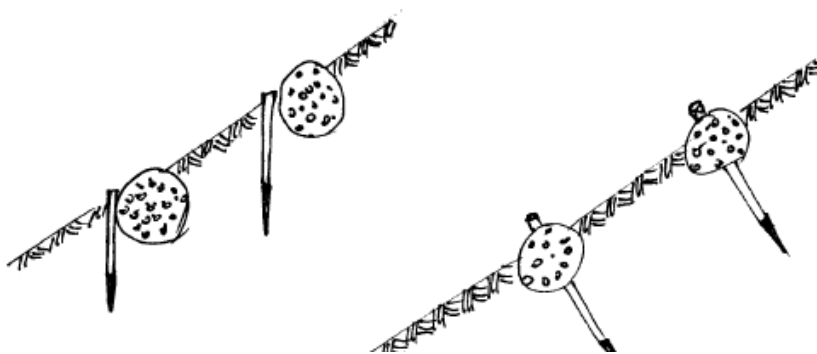
a) Neurejen iztok izpod ceste



b) Urejen iztok izpod ceste

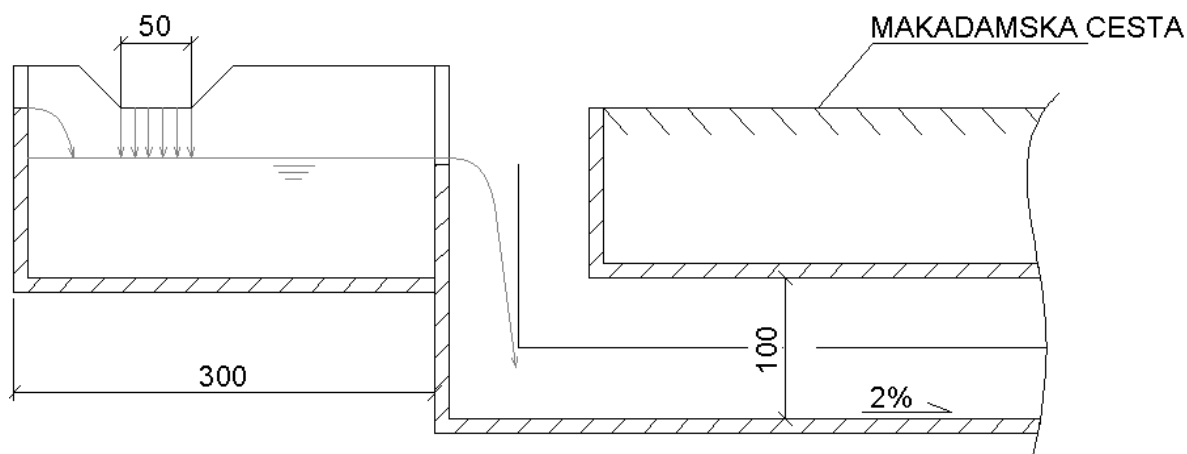
Slika 45: Iztok zalednih voda izpod ceste (vir: osebni arhiv)

Od tega iztoka pa do spodnje makadamske ceste, ob vznožju dolvodne brežine, bi strugo zalednih voda lahko uredili s pobočnimi fašinami. Pobočna fašina je v snop povezano protje in šibje, na podlago pritrjeno s količki. (vir: Mikoš, M., 2000).



Slika 46: Pobočne fašine in možnosti njihovega sidranja v podlago (vir: Mikoš, M., 2000)

Voda se nato izteka po cevi pod spodnjo makadamsko cesto. Cev bi zamenjal z novo betonsko cevjo ϕ 100 cm. Od tu do naslednjega usedalnega jaška je potrebno urediti kanal, ki bi ga obložili s kamnito oblogo. Voda se iz jaška po cevi izteka v podslapje preлива za visoke vode in od tam naprej v spodnjo strugo potoka Klivnik.



Slika 47: Usedalni jašek, kjer se združita oba pritoka zalednih voda in vtok pod makadamsko cesto

8 ANALIZA PREGRADE S POMOČJO RAČUNALNIŠKEGA PROGRAMA TNO DIANA

8.1 Kratek opis programa

TNO Diana je računalniški program, ki je bil razvit za potrebe gradbenega inženiringa. Ime Diana je izpeljano iz okrajšav dveh angleških besed – displacement analyzer, kar pomeni analiza pomikov. Namenjen je analizi gradbenih konstrukcij vseh vrst, še posebej pa je primeren za analizo betonskih konstrukcij, tunelov ter za geotehnično in potresno inženirstvo. Temelji na teoriji končnih elementov, ima širok izbor 2D in 3D končnih elementov in možnost izbire različnih tipov analiz (statična, dinamična, linearna, nelinearna, analiza strujanja vode, itd.)

8.2 Postopek dela

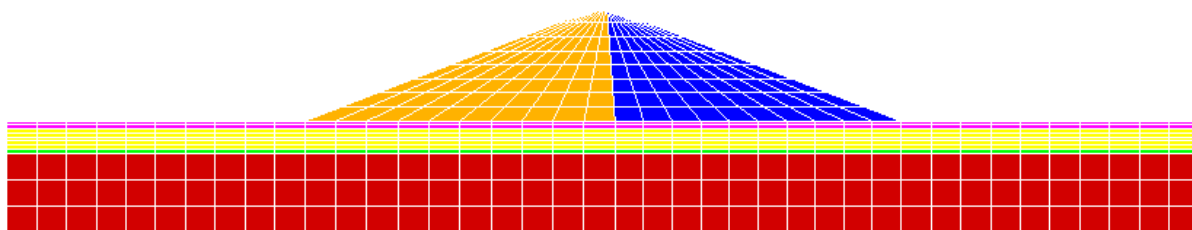
Za delovno okolje sem uporabil grafični vmesnik iDIANA, kjer podam geometrijo modela, ga razdelim na končne elemente, mu podam materialne lastnosti, podpore ter obtežbo. Enote, ki jih izberem so naslednje: meter, kilogram, Newton, sekunda in Kelvin in jih samo potrdim. Tip modela, ki ga izberem za podajanje podatkov je »Structural plane strain«. Elementi tega modela morajo biti postavljeni v X-Y ravnino, to pomeni, da morajo biti Z-koordinate vozlišč elementov enake 0. Tudi obtežba, s katero so elementi obremenjeni mora nastopati v ravnini elementov. Elementi imajo enotno debelino, komponente deformacij, ki so pravokotne na ploskev elementa, pa so enake 0 ($\epsilon_{zz} = 0$). V programu sem naredil in obravnaval dva modela. Prvi je model obstoječe pregrade. Z analizo tega modela sem preveril posedke pregrade brez nadvišanja in jih primerjal s posedki, izračunanimi v Projektu za izvedbo projektne dokumentacije pregrade Klivnik in z dejanskimi izmerjenimi pomiki pregrade. Drugi pa je pa je model nadvišane pregrade. Z rezultati računa tega modela lahko ocenimo, koliko se bo pregrada dodatno posedla zaradi dodanega materiala na dolvodno brežino in kako na pomike pregrade vpliva večja količina vode v akumulaciji in s tem večji hidrostatični pritisk.

8.3 Račun obstoječe pregrade

Najprej je potrebno določiti geometrijo, tako da vrišem točke, črte in površine, ki bodo predstavljale naš model. Z ukazom »GEOMETRY POINT« za vsako točko posebej podam x in y koordinate (z koordinata je povsod enaka 0, ker uporabljam ravninski model). Ko so vse glavne točke modela določene, jih povežem v ploskve tako, da v ukazno vrstico vpišem »GEOMETRY SURFACE 4POINTS« (če na primer želimo ploskev s štirimi oglišči) in vpišem oznake točk, ki bodo določale to ploskev. Ploskve imajo lahko največ 4 oglišča, zato je potrebno model primerno razdeliti na več ploskev. Ko so vse ploskve podane, program sam določi oznake črt, ki omejujejo ploskve. Podajanje geometrije modela je v grafičnem vmesniku iDIANA nekoliko bolj komplicirano, kot v nekaterih

sorodnih programih, zato je zelo priporočljivo, da si model z vsemi pripadajočimi točkami, črtami in ploskvami izrišemo že prej na list papirja.

Gorvodni in dolvodni del pregrade ter tla pod njo so iz različnih materialov, zato model razdelim na 6 osnovnih delov - setov (iz angleščine: set – skupina elementov, ki tvorijo celoto; v nadaljevanju bom za skupino končnih elementov, ki tvorijo posamezen osnovni del modela uporabljal besedo »set«). To lahko naredim že pri podajanju geometrije modela. Vpišem ukaz »CONSTRUCT SET OPEN« in ime tega seta, nato pa po zgoraj opisanem postopku podam ploskve, za katere želim, da so vključene v določen set. Da je ustvarjanje seta zaključeno potrdim z ukazom »CONSTRUCT SET CLOSE«. Na sliki 48 je z barvami prikazana razdelitev modela na 6 setov. Gorvodni del pregrade je iz peščenjaka in apnenca (modra barva), dolvodni del pa iz gline in melja (oranžna). Tla pod pregrado razdelim na štiri plasti; neposredno pod pregrado je 2-metrski plast melja in meljastega peska - ML-SFs (vijolična), sledi 5-metrski plast proda in peščenjaka s peskom in meljem - GFs (rumena), pod njo pa je 1 m debela plast gline poltrde konsistence - CI (zelena), ki leži na trši podlagi iz laporja in peščenjaka (rdeča barva).



Slika 48: Mreža končnih elementov modela obstoječe pregrade

Model nato razdelim na končne elemente. Uporabim tip končnih elementov QU8 CQ16E, ki predstavlja 8-vozljišni končni element v ravninskem napetostnem stanju (DIANA, User's Manual, Element Library). Ker bo celoten model sestavljen iz elementov istega tipa, za določanje le-tega uporabim ukaz »MESHING TYPES ALL QU8 CQ16E«. Za tem sledi razdelitev linij na krajše dele z ukazom »MESHING DIVISION PROPAGATE«. Ni mi treba razdeliti vseh črt modela. Ko razdelim določeno linijo, mi program sam razdeli na enako število delov tudi linijo, ki se nahaja nasproti nje. Po ukazu »MESHING GENERATE«, mi iDIANA za ustvari mrežo iz 600 končnih elementov in 1919 vozlišč.

Ko sem model razdelili na končne elemente, mu podam materialne lastnosti. Zelo pomemben podatek pri določanju materialnih lastnosti našega modela je Youngov elastični modul. V dokumentaciji pregrade Klivnik teh podatkov nisem našel. Elastični modul lahko izračunam s pomočjo enačbe (3), pri čemer moram poznati modul stisljivosti in Poissonov količnik materiala. Moduli stisljivosti so podani v Projektu za izvedbo, podatkov za Poissonov količnik posameznih materialov v pregradi in v

tleh pa v dokumentaciji nisem našel. Tako sem lahko izbral le okvirne vrednosti poissonovega količnika za zemljine, ki jih navajajo različni viri. Poleg tega sem si pomagal tudi s preglednico 5 in določil približno ustrezne vrednosti elastičnih modulov za materiale v pregradi in v tleh.

Enačba za določitev elastičnega modula:

$$E = \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{(1-\nu)} M\nu \quad (3)$$

Mv...Modul stisljivosti

E...Elastični modul

v...Poissonov količnik

Preglednica 6: Vrednosti elastičnih modulov za različne vrste zemljin

(vir: <http://www.fgg.uni-lj.si/kmtal...>)

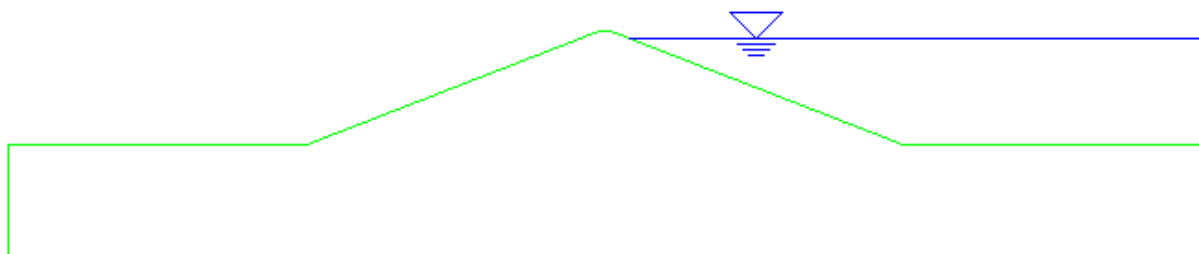
Vrsta tal	E_s (kN/m^2)
Šote	100 – 400
Org. gline	500 – 3000
Židke gline	200 – 1000
Lahko gnetene gline	1500 – 3000
Srednje gnetene gline	2000 – 5000
Težko gnetene gline	3000 – 6000
Poltrdne gline	6000 – 50000
Trdne gline	8000 – 50000
Melji	3000 – 8000
Puhlica	4000 – 8000
Rahel pesek zaobljen	40000 – 80000
Rahel pesek ostrorob	50000 – 100000
Srednje gost pesek zaobljen	80000 – 160000
Srednje gost pesek ostrorob	100000 – 200000
Gramoz	100000 - 200000

Za elastični modul gorvodnega dela sem vzel vrednost $E = 100000$ kPa, za dolvodni del $E = 10000$ kPa. 2 metrska plast tal pod pregrado je po podatkih najbolj stisljiva. Elastični modul za to plast: $E = 1500$ kPa, za spodnji dve plasti tal nad podlago, pa $E = 15000$ kPa. Podlaga je praktično nestisljiva. V iDIANI module podajam v Pascalih (Pa), saj je to potrebno zaradi izbranih enot na začetku.

Modelu je mogoče podajati lastnosti na več načinov. Materialne lastnosti najbolj enostavno podam v rubriki »Property Manager«, v kateri lahko modelu podajam poleg materialnih tudi fizikalne lastnosti, obtežbo, začetne in robne pogoje. Ko zaključim vstavljanje podatkov v »Property Manager«, pogovorno okno zaprem in z ukazom »PROPERTY ATTACH« materiale (vsakemu smo podali svoje ime) dodelim posameznim setom, ki predstavljajo dele modela z različnimi lastnostmi.

Sledi določitev obtežbe, s katero bom konstrukcijo obremenil. Obtežba je sestavljena iz dveh delov. Prvi del je obtežba z lastno težo, ki jo vsem končnim elementom podam z ukazom »PROPERTY LOADS GRAVITY 1 ALL -9.81 Y«. Lastna teža ima prijemališče v težišču posameznega končnega elementa, deluje pa v negativni smeri osi y. Število 1 označuje obtežni primer 1. Drugi del obtežbe pa je hidrostatični pritisk vode, ki je razdeljen na dva dela; posebej podam pritisk, ki deluje na dno akumulacije in pritisk, ki je razporejen po gorvodni brežini pregrade. Pritisk na dno akumulacije podam z ukazom »PROPERTY LOADS PRESSURE VODA1 2 L18 245250 NORMAL«. S številom 2 je označen obtežni primer 2, število 245250 pa je pritisk vode na dno akumulacije, izražen v Pascalih. »VODA1« je ime te obtežbe. Pod obtežni primer 2 podam še hidrostatični pritisk vode na gorvodno brežino. Z ukazom »PROPERTY LOADS PRESSURE VODA2 2 L6 1.0 NORMAL« najprej definiram enotsko vrednost tlaka vzdolž linije L6, z ukazoma »CONSTRUCT SCURVE HYD GLOBAL Y LIST 0 245250 25 0« in »PROPERTY ATTACH VODA2 SCURVE HYD« pa programu povem, da se obtežba »VODA2« z višino zmanjšuje. Na dnu ji podamo vrednost 245250 Pa (enote smo določili na začetku), na vrhu, torej na višini zaježitve 25 m pa vrednost 0. Tlak vode deluje na vozlišča elementov, ki se nahajajo na zunanji strani gorvodne brežine pregrade in tal akumulacije. Za obtežbo sem torej določil dva ločena obtežna primerja. Posebej pa sem naredili še primer, ko sem ta dva obtežna primerja združil pod obtežni primer 1 in datoteko shranil posebej. V tem primeru po izračunu dobim rezultate za primer, ko na pregrado poleg lastne teže deluje tudi hidrostatični pritisk vode, v primeru, ko imamo 2 obtežna primerja, pa lahko ločeno pogledam, kako posamezna obtežba vpliva na deformacije in napetosti pregrade..

Modelu na koncu podam še podpore, ki jih postavim po spodnjem robu temeljnih tal ter na levi in desni strani vzdolž tal pod pregrado. Z njimi na teh mestih preprečim pomike v x in y smeri, le ob desnem robu tal dopustim pomike v y smeri, saj me zanima, za koliko se bodo tla tam stisnila, zaradi večje količine vode v akumulaciji. Podpore podam z ukazom »PROPERTY BOUNDARY CONSTRAINT« in nato oznako linije, kjer želim, da podpore delujejo in podamo smer preprečitve pomikov.



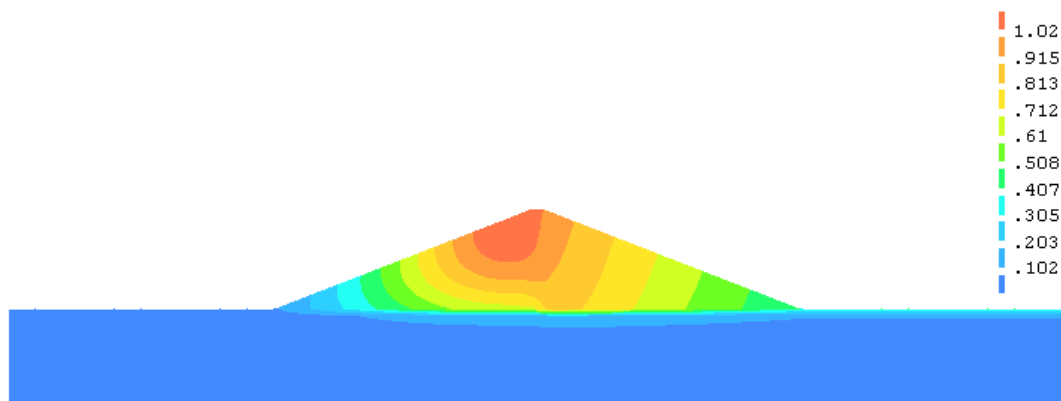
Slika 49: Model pregrade s tlemi. Z modro barvo je označena gladina vode v akumulaciji

V program sem vnesel vse potrebne podatke. Model z vsemi vnesenimi podatki na koncu shranim (model je sicer priporočljivo shranjevati že med sprotnim delom v programu) in lahko začnem z

analizo. V zgornji vrstici izberem »File -> Run -> An Analysis«. Podatke sem vnašali v grafičnem vmesniku iDIANA, analizo pa bo izvedel program DIANA. Program najprej prebere vhodne podatke in ker v našem primeru ni nobenih opozoril, lahko nadaljujem s procesom analize. Izberem linearno statično analizo in jo požnem. Ker mi program tudi tokrat ni izpisal nobenih opozoril, vem da je bil račun uspešno izveden. Ustvarjena je bila nova datoteka, ki vsebuje rezultate analize. Vrnem se v iDIANO in v okolju za ogled rezultatov »FEMVIEW« izberem datoteko, ki vsebuje rezultate analize za moj model. Najprej izberem obtežni primer z ukazom »RESULTS LOADCASE« in oznako obtežnega primera, za katerega želim pregledati rezultate, nato pa katere rezultate želim imeti prikazane. Pomiki v globalni smeri koordinatnega sistema y imajo oznako DTY, normalne napetosti σ_{xx} SXX, itd. V rubriki »PRESENT« izberem še način prikaza rezultatov, kjer imam veliko možnosti. Program mi napetosti lahko prikaže z barvnimi konturami ali numerično v celoti ali pa za posamezen končni element. Pri prikazu pomikov imam še več možnosti. Poleg prikaza z barvnimi konturami in numeričnega (lahko tudi za vsako vozlišče posebej) si lahko ogledam še deformirano obliko pregrade in prikaz z vektorji, ki predstavljajo smer in velikost pomika posameznega vozlišča. Pomike prikazane z deformirano obliko pregrade lahko povečam oziroma pomanjšam s poljubnim faktorjem, kar mi omogoča boljše preglednost, saj dejanska deformirana oblika pregrade le malo odstopa od začetne oblike, to pa zaradi majhnih pomikov v primerjavi z začetnimi dimenzijami.

8.4 Komentar rezultatov računa obstoječe pregrade

Glede na karakteristike zemljine temeljnih tal, je bilo v projektni dokumentaciji, Akumulacija Klivnik, Projekt za izvedbo, zvezek 2 predvideno, da se bo končni posedek pregrade izvršil šele po 80 letih, torej, ko bo konsolidacija do konca izvršena, znašal pa naj bi 1.03 m (glej preglednico 7). Izračunan je v osi pregrade, v sredini doline med prečnima profiloma 17 in 19. Maksimalni posedek (pomik v y-smeri) po računu v programu TNO Diana dobim na vrhu pregrade, pod vrhom dolvodne brežine, znaša pa 1.10 m. Ta vrednost se precej dobro ujema s prej omenjenim predvidenim posedkom. Rezultati na sliki 50 so prikazani za obtežni primer, ki upošteva lastno težo in obtežbo s hidrostatičnim tlakom.

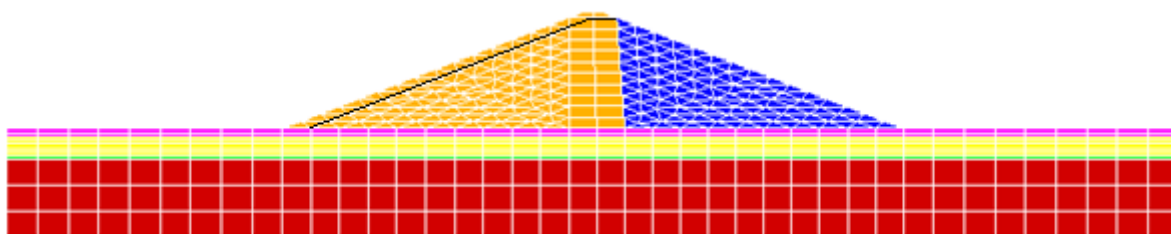


Slika 50: Rezultirajoči pomiki pregrade, predstavljeni z barvnimi konturami

Sedaj pa me zanima še posedek nadvišane pregrade, še posebej razlika v posedkih pregrade, ki mi pove, za koliko se bo pregrada posedla, ko bom na dolvodno brežino dodal predvideno količino materiala.

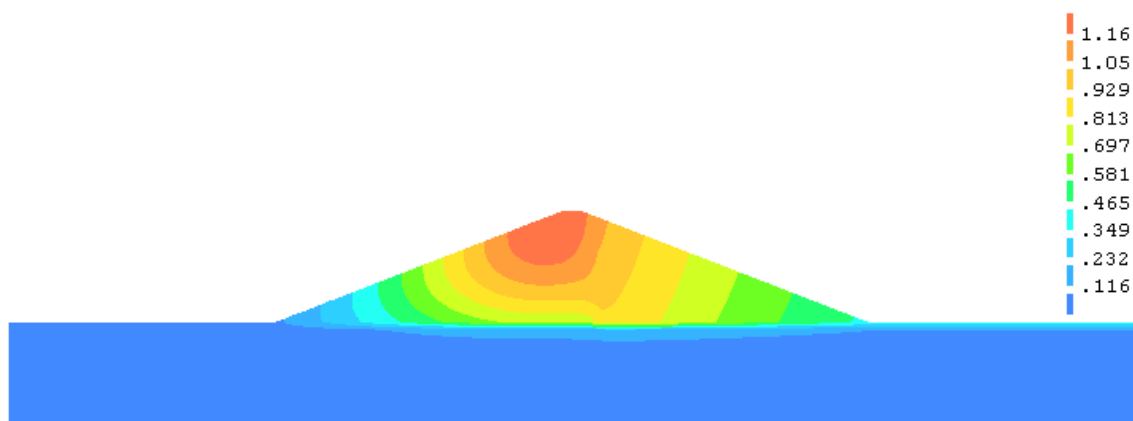
8.5 Račun nadvišane pregrade

Za izračun posedkov nadvišane pregrade, moram v programu narediti nov model. Pregrada je sestavljena iz dveh delov, ki imata vsak svoje lastnosti. Povečal bom samo dolvodni del pregrade. Model pregrade sestavim iz novih ploskev, drugačna pa bo tudi mreža končnih elementov. Zaradi drugačne geometrije in drugačne razdelitve na končne elemente, poleg elementov QU8 CQ16E sedaj uporabim še tip končnega elementa TR6 CT12E, to je 6-voziščni končni element v ravninskem napetostnem stanju (Vir: TNO DIANA, 2010). Za gorvodni del pregrade in zunanjo stran dolvodnega dela sem uporabil trikotne končne elemente, za srednji del pregrade, ki sicer pripada dolvodnemu delu pa pravokotne končne elemente (prikazano na sliki 51). Modelu enako kot v primeru pregrade brez nadvišanja podam še materialne lastnosti, obtežbo in podpore. Materialu, s katerim bomo nadvišali pregrado, sem pripisal enake materialne lastnosti kot dolvodni polovici pregrade. Če bi mu želel določiti svoje lastnosti, bi moral ustvariti set iz ploskev posebej za dodani material. Z vidika podajanja geometrije modela mi to ne predstavlja večjih težav, težave pa se pojavijo pri razdelitvi na končne elemente. Ker analiza s programom DIANA ni primarna naloga tega diplomskega dela, sem torej to plast priključili kar dolvodni polovici in vrhu pregrade, ki ga določa ena ploskev posebej. Račun je vseeno dovolj natančen, saj so dimenzije nove plasti majhne v primerjavi z dimenzijami celotnega modela, karakteristike materiala, ki bi ga dodali na brežino, pa se tudi dejansko ne razlikujejo veliko od karakteristik materiala dolvodne polovice pregrade. Na sliki 51 je gorvodna polovica prikazana z modro barvo, dolvodna pa z oranžno. Črna črta predstavlja ločnico med brežino obstoječe pregrade in plastjo na novo dodanega materiala.



Slika 51: Mreža končnih elementov modela nadvišane pregrade

Maksimalna vrednost pomika v y-smeri je pri nadvišani pregradi 1.26 m, ravno tako pod vrhom dolvodne brežine. Rezultirajoči pomiki za obtežni primer, v katerem sta upoštevani obtežba z lastno težo in obtežba s hidrostatičnim tlakom, so prikazani na sliki 52.



Slika 52: Rezultirajoči pomiki nadvišane pregrade, predstavljeni z barvnimi konturami

8.6 Dejansko posedanje pregrade

Dejansko stanje posedkov pregrade pa je nekoliko drugačno, kot je bilo predvideno v projektni dokumentaciji, Akumulacija Klivnik, Projekt za izvedbo, zvezek 2. Časovni razvoj posedkov, prikazan v preglednici 7, kaže, da bo po 30 letih odstotek konsolidacije 75%, posedek pa naj bi tedaj znašal 0.77 m.

Geodetske meritve posedkov pregrade izvajajo vsako leto. Zadnje meritve posedkov s pomočjo kontrolnih geodetskih točk (reperjev) so bile nazadnje izvedene leta 2012, pokazale pa so, da posedek po 28 letih, kolikor je bila takrat stara pregrada, znaša 0.225 m, kar je precej manj od predvidene vrednosti in je to seveda za pregrado ugodno. Izmerjen je bil na reperju VH-8, ki se nahaja na kroni pregrade, v prečnem profilu P17 (položaj geodetskih točk je prikazan na shemi opazovalnega sistema na sliki v prilogi A). Sklepam lahko, da so karakteristike materiala nekoliko boljše, kot jih je predvidel projektant.

8.7 Izboljšane karakteristike materiala

Ker je dejansko posedanje pregrade manjše od izračunanega, sem materialu podal malo boljše karakteristike. Za plasti tal tik pod pregradnim nasipom sem določil enak elastični modul kot za ostali dve plasti tal nad podlago, torej 15000 kPa. Nekoliko pa sem povečal še elastični modul materiala na dolvodni strani, in sicer na 30000 kPa. Po izvršeni analizi program prikaže rezultate novega izračuna. Rezultati so prikazani v prilogi F. Maksimalni posedek po povečanju elastičnih modulov znaša 0,383 m.

Kot je omenjeno že zgoraj, se bo po izračunih posedanja v projektni dokumentaciji, Akumulacija Klivnik, Projekt za izvedbo, zvezek 2 (rezultati so prikazani v preglednici 7) po 30 letih izvršilo

približno 75 % končnega posedka. Po 28 letih, ko so bili dejanski posedki pregrade nazadnje merjeni, naj bi se torej izvršilo nekaj manj kot 75 % končnega posedka. Glede na ta odstotek in na zadnje izmerjeni maksimalni posedek pregrade (22.5 cm), lahko sklepam, da bo dejanski končni posedek pregrade znašal približno 30 cm.

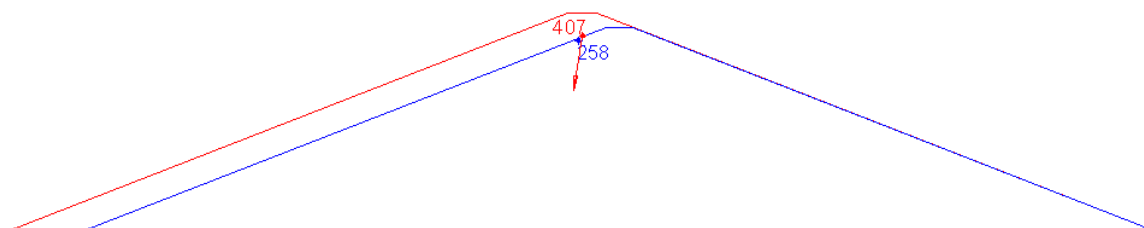
Preglednica 7: Časovni razvoj posedkov (Vir: Komunalno grad. pod. Ilirska Bistrica, 1984a)

Čas od izgradnje pregrade [leta]	Odstotek konsolidacije [%]	Posedek [m]
1	16	0,17
5	36	0,37
10	49	0,5
30	75	0,77
50	88	0,91
100	100	1,03

Če primerjam maksimalni posedek, izračunan s programom DIANA, in pričakovani končni posedek glede na dejansko posedanje, opazim, da je posedek izračunan v programu večji za dobrih 8 cm. Razlika ni velika in sklepam, da lahko z rezultati izračuna v programu s takimi materialnimi parametri dokaj natančno prikažem dejanske končne posedke pregrade. Zato bodo vsi rezultati v nadaljevanju prikazani za model pregrade s povečanimi moduli elastičnosti za določene dele pregrade.

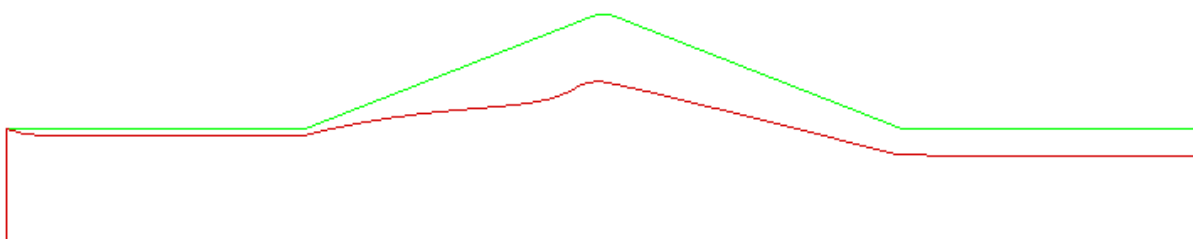
8.7.1 Primerjava rezultirajočih pomikov

Za primerjavo vzamem vozlišče maksimalnega skupnega pomika obstoječe pregrade (glej sliko 53, vozlišče 258, pomik 0.387) in vozlišče nadvišane pregrade, ki je najbližje vozlišču 258 (primera imata zaradi spremenjene geometrije drugačno mrežo končnih elementov). Najbližje tej točki je pri nadvišanem primeru vozlišče 407 (slika 53), pomik pa tam znaša 0.429 m. Pregrada se bo torej zaradi nadvišanja (to pomeni obremenitev zaradi dodatnega materiala na dolvodni strani in večja obremenitev s hidrostatičnim pritiskom na gorvodni strani zaradi dviga gladine vode v akumulaciji za 2 m) na tem mestu po končani konsolidaciji pomaknila za 4.2 cm v smeri, ki je prikazana na sliki 53, torej skoraj vertikalno navzdol.

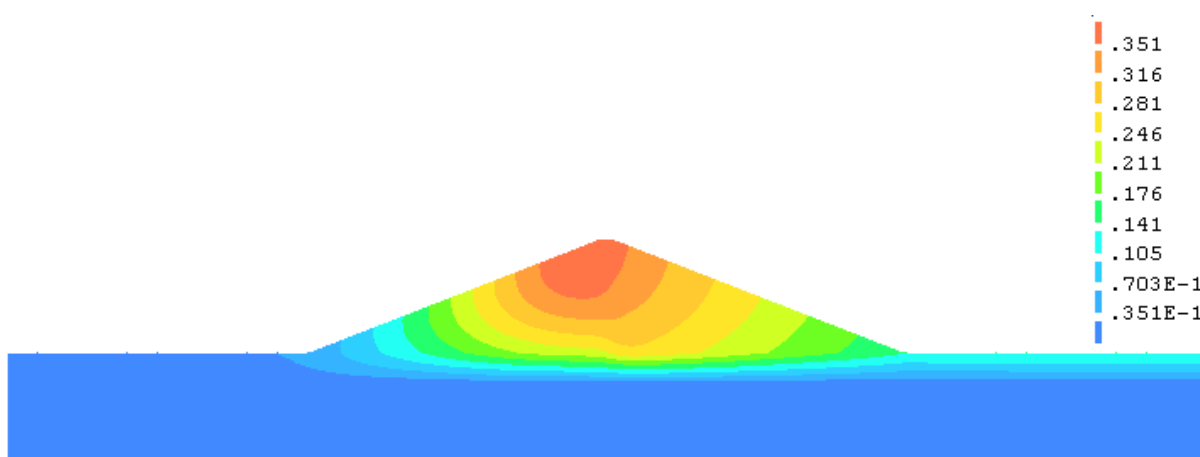


Slika 53: Vozlišče maksimalnega pomika obstoječe pregrade je označena z modro barvo (258), njej najbližje vozlišče nadvišane pregrade pa z rdečo (407)

V obtežnem primeru sta upoštevani obtežba z lastno težo in obtežba s hidrostatičnim tlakom. Oblika pregrade po izvršenih končnih pomikih bi izgledala približno tako kot je prikazano na sliki 54. Zaradi lepšega prikaza spremenjene oblike, so na sliki pomiki povečani s faktorjem 45. Slika 55 prikazuje pomike z barvno lestvico. Na sliki so prikazani rezultirajoči pomiki. Iz slike 54 je tudi razvidno, da so pomiki večji na dolvodni strani, kjer je pregrada iz glinasto-meljastega materiala.

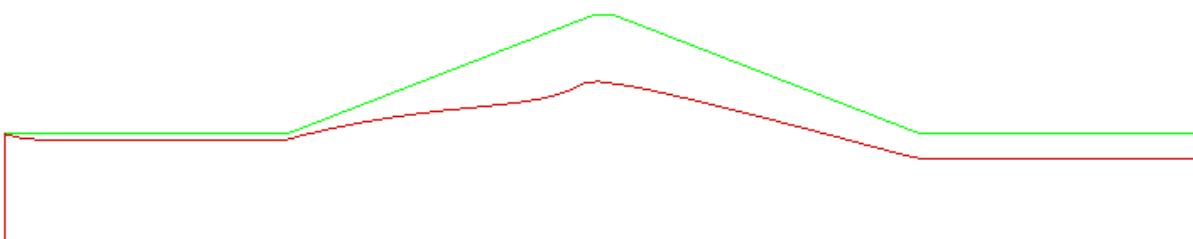


Slika 54: Deformirana oblika pregrade po povečanju elastičnega modula materiala

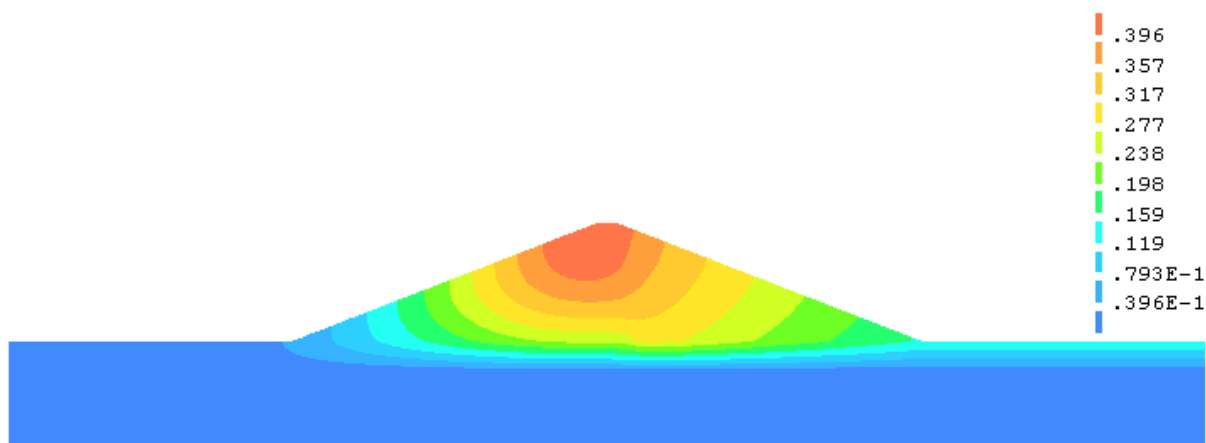


Slika 55: Rezultirajoči pomiki pregrade po povečanju elastičnega modula materiala, predstavljeni z barvnimi konturami

Tudi v primeru s povečanim elastičnim modulom materiala me zanima, kaj se zgodi, ko na dolvodno brežino dodamo material, torej po nadvišanju. Na slikah 56 in 57 je prikazana oblika deformirane nadvišane pregrade (faktor povečave je 43.6) in pomiki predstavljeni z barvno lestvico. Tudi v tem primeru sem upošteval obtežbo z lastno težo in s hidrostatičnim tlakom.

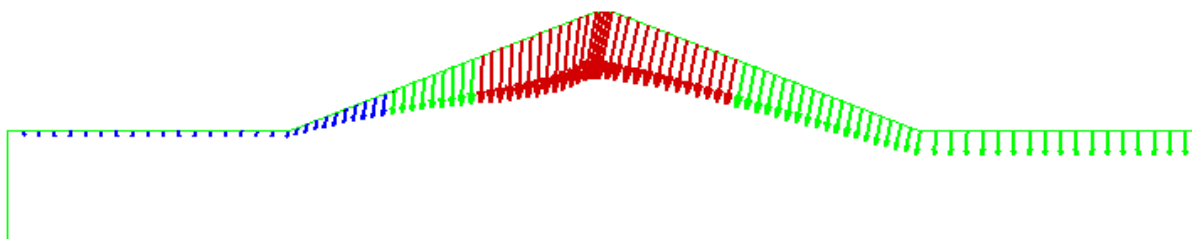


Slika 56: Deformirana oblika nadvišane pregrade po povečanju elastičnega modula materiala



Slika 57: Rezultirajoči pomiki nadvišane pregrade po povečanju elastičnega modula materiala, predstavljeni z barvnimi konturami

Iz slike 58 je razvidno, da so rezultirajoči pomiki pregrade usmerjeni skoraj vertikalno navzdol. Pomik v y-smeri je namreč precej večji od pomika v smeri x, ki ga povzroči predvsem hidrostatična obtežba z vodo. Usmerjenost pomikov je na sliki predstavljena z vektorji, ki so seveda večji kot v dejanskem stanju. Če bi konce vektorjev povezali s krivuljo, bi dobili deformirano obliko pregrade.

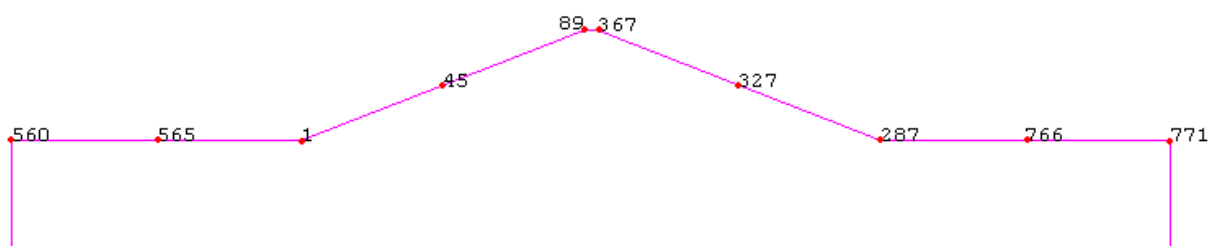


Slika 58: Smeri rezultirajočih pomikov na zgornjem robu modela

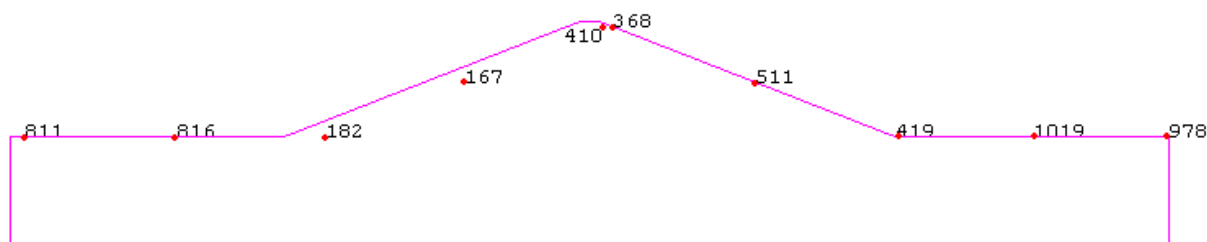
Na sliki 59a so prikazana vozlišča na zgornjem robu prereza obstoječe pregrade. V programu jih prikažem z ukazom »LABEL MESH NODES 'node-old'«. S tem ukazom lahko izbiram posamezna vozlišča, za katere želim videti oznako. Ker me zanima, kakšen pomik se bo v teh točkah izvršil po nadvišanju pregrade, moram na modelu nadvišane pregrade za primerjavo pomikov izbrati vozlišča, ki so najbližje izbranim vozliščem zgornjega roba modela obstoječe pregrade. To naredim tako, da najprej v program AutoCAD izvozim sliko modela obstoječe pregrade z označenimi izbranimi točkami. Nato izvozim še sliko mreže končnih elementov modela nadvišane pregrade. Sliki s pomočjo ukaza »scale« ustrezno povečam ali pomanjšam, da sta naposled v enakem merilu. Točke obstoječe pregrade označim in jih prenesem na sliko nadvišane pregrade. Iz slike je razvidno, katera vozlišča modela nadvišane pregrade so najbližje tem točkam. V programu iDIANA lahko sedaj pogledam oznake teh točk z zgoraj opisanim postopkom. Ker je vozlišč veliko, slika celotnega modela pa

premajhna za natančno določitev točk, si pomagam z ukazom »EYE ZOOM CURSOR«, s katerim lahko poljubno povečam izbrani del modela. Vrednost pomika v določenem vozlišču za izbrani obtežni primer pogledam z ukazom »PRESENT NUMERIC CURSOR pick« in z izbiro vozlišča se mi na tem mestu prikaže numerična vrednost pomika.

V preglednici 8 so posedki teh vozlišč pri obstoječi in nadvišani pregradi ter razlika v pomikih, iz katere je razvidno, za koliko se pregrada posede zaradi nadvišanja.



a) Vozlišča modela obstoječe pregrade po zgornjem robu prereza



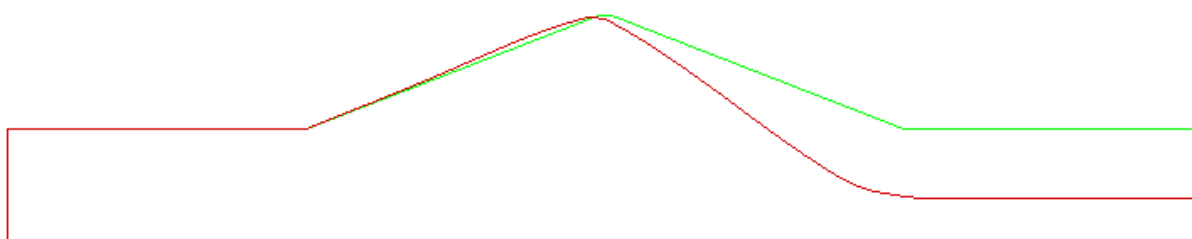
b) Vozlišča modela nadvišane pregrade, ki so najbližja vozliščem zgornjega roba modela obstoječe pregrade, oziroma se skladajo z njimi

Slika 59: Vozlišča zgornjega roba modela obstoječe in nadvišane pregrade

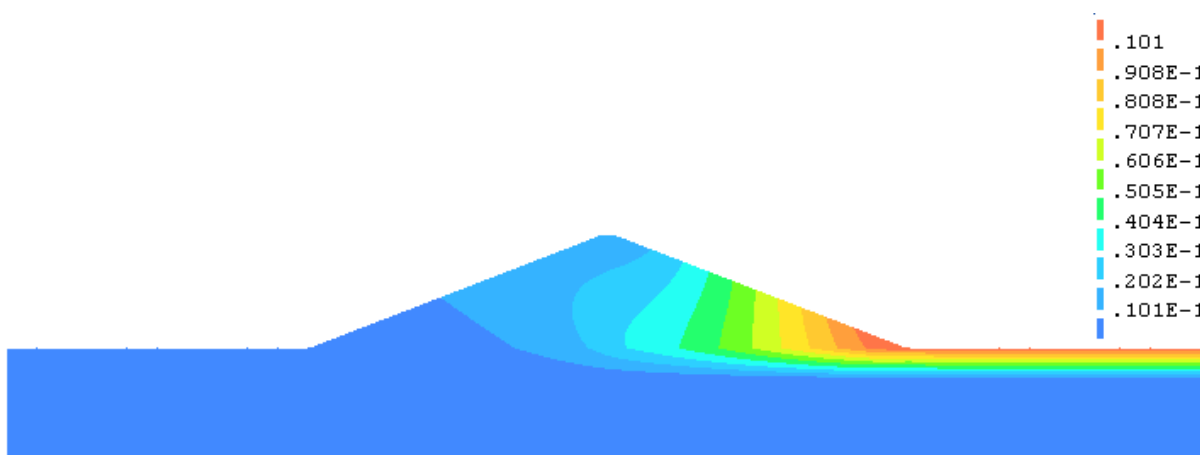
Preglednica 8: Posedki pregrade po zgornjem robu, za primer obstoječe in nadvišane pregrade

obstoječa		nadvišana		razlika (cm)
vozlišče	rezultanta (cm)	vozlišče	rezultanta (cm)	
560	0	811	2,78	2,78
565	3,48	816	3,49	0,01
1	4,21	182	8	3,79
45	21,3	167	28,3	7
89	38,2	410	41,9	3,7
367	36,7	368	40	3,3
327	24,7	511	25,9	1,2
287	14,2	419	15	0,8
766	14,4	1019	15,3	0,9
711	14,4	978	15,3	0,9

K velikosti pomikov prispeva največ obtežba z lastno težo. Pomiki zaradi obremenitve s hidrostatičnim pritiskom vode v akumulaciji se seveda zgodijo večinoma na vodni strani pregrade. V vozliščih 287, 766 in 711 pri obstoječi oziroma 419, 1019 in 978 pri nadvišani pregradi, ki se nahajajo na dnu akumulacije, je razlika v posedkih slab centimeter. Za toliko naj bi se tla v akumulaciji posedla, ko pregrado nadvišamo. To pa zaradi večje višine vode v akumulaciji. Slika 60 prikazuje, kako se pregrada deformira, če upoštevamo samo obtežbo s hidrostatičnim tlakom vode, slika 61 pa pomike z barvno lestvico. Pomiki so na sliki povečani s faktorjem 157.



Slika 60: Deformirana oblika nadvišane pregrade samo zaradi obtežbe z vodo (faktor 157)

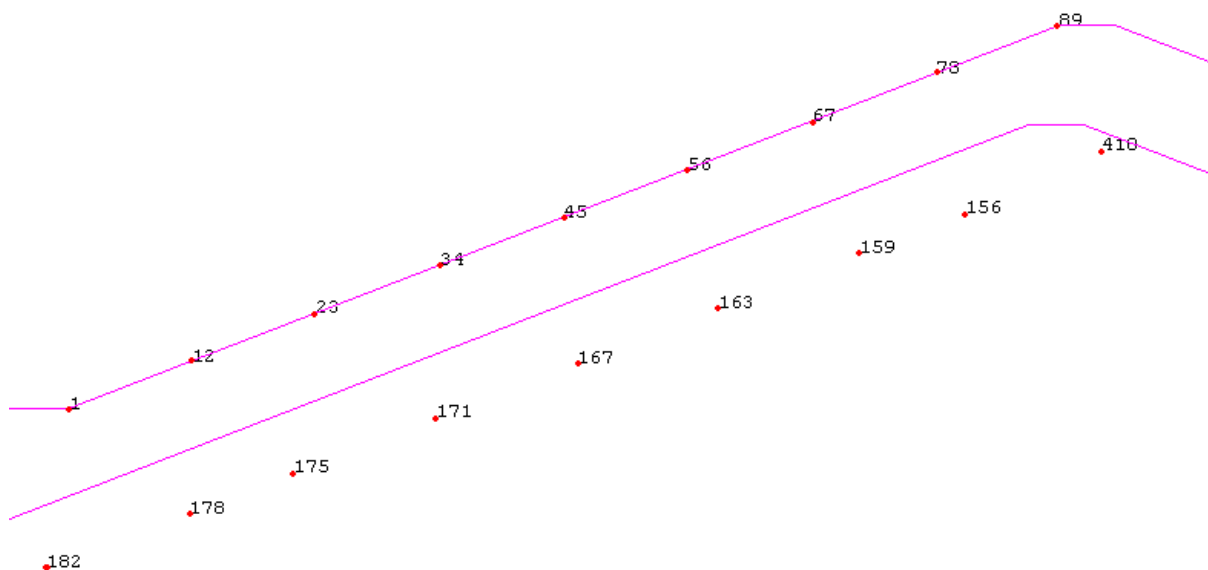


Slika 61: Pomiki nadvišane pregrade, obremenjene samo s hidrostatičnim tlakom vode, predstavljeni z barvno lestvico

8.8 Dodatni material

Zaradi posedanja pregrade bomo, če želimo doseči koto 475 m.n.v. (nadvišanje za 2 m), morali dodati še malenkost več materiala. Račun v programu pokaže vrednosti, za katere se je dolvodna brežina posedla. V preglednici 7 so prikazani posedki obstoječe pregrade v 10 točkah na zunanji strani dolvodne brežine, kar nam pove višino potrebnega dodatnega materiala na brežini. Vozlišča modela nadvišane pregrade, ki so najbližje vozliščem zunanjega roba dolvodne brežine obstoječe pregrade in vrednosti njihovih pomikov, sem določili po prej opisanem postopku. Največ materiala bo zaradi posedanja treba dodati na vrhu pregrade. V preglednici 9 so prikazani še posedki dolvodne brežine

nadvišane pregrade in razlika posedkov, iz katere lahko razberemo, za koliko se bo ta brežina posedla zaradi nadvišanja.



Slika 62: Vozlišča na dolvodni brežini zgoraj in njim najbližja vozlišča modela nadvišane pregrade (modela imata različno mrežo končnih elementov) spodaj.

Preglednica 9: Posedki vozlišč dolvodne brežine obstoječe in njim najbližjih vozlišč nadvišane pregrade in razlika – posedek dolvodne brežine zaradi nadvišanja

obstoječa		nadvišana		razlika (cm)
vozlišče	posedek (cm)	vozlišče	posedek (cm)	
1	4,21	182	8	3,79
12	7,25	178	12,3	5,05
23	11,2	175	16	4,8
34	15,8	171	21,8	6
45	21,3	167	28,3	7
56	27,3	163	35	7,7
67	33,1	159	40,7	7,6
78	37,6	156	43,1	5,5
89	38,2	410	41,9	3,7

V prilogi F so prikazani grafični rezultati računa v programu DIANA. Rezultati zajemajo poleg pomikov in deformiranih oblik modelov tudi grafični prikaz napetosti v smeri $-y$, torej vertikalno navzdol. Napetosti so v Pascalih (Pa).

9 ZAKLJUČEK

Namen naloge je bil preučitev možnosti nadvišanja pregrade Klivnik in povečanje akumulacijskega prostora s ciljem doseči tehnično-tehnološko rešitev, ki je tehnično izvedljiva in ne predstavlja prevelikega posega v okolje in prostor, hkrati pa omogoča dovolj velike dodatne vodne količine, da je poseg tudi smiseln.

Za dosego zadostnih količin vode v akumulaciji je torej potrebno pregrado ustrezno nadvišati. Tu pa se srečamo z omejitvami v prostoru, s problemi, ki so povezani s postopkom izvedbe nadvišanja in s problemi, ki se tičejo položaja objektov na pregradi, njihove dograditve oziroma preureditve, da bodo na nadvišani pregradi opravljali svoje funkcije.

Zgornja meja nadvišanja pregrade je 4 m, nadvišanja nižjega od 2 m pa tudi nima smisla izvesti, saj bi bila v tem primeru količina vode, ki jo z nadvišanjem pridobimo, premajhna. Tako smo primerjali varianto nadvišanja za 2 in za 4 metre.

Pri nadvišanju pregrade za 4 metre se pojavijo težave že zaradi dviga vode v akumulaciji in s tem povečanja akumulacijskega prostora, tako da voda v tem primeru že doseže prometno infrastrukturo, pri 2-metrskem nadvišanju pa dvig gladine ne predstavlja večjih problemov. Opisali smo metode nadvišanja zemeljskih pregrad in izbrali izvedbo nadvišanja z odkopavanjem materiala od obstoječe dolvodne brežine in dodajanjem stabilizirane zemljine s cementom na to brežino. S tem ne bi posegali v gorvodno stran pregrade, s čimer bi bilo omogočeno nemoteno obratovanje akumulacije tudi v času gradnje nadvišanja, s stabilizirano zemljino pa bi dolvodno brežino utrdili. Ker je ta material precej bolj stabilen od običajnih zemeljskih materialov, bi bila gradnja lažja tudi ob objektih na pregradi. Najbolj opazna razlika med 2 in 4-metrskim nadvišanjem z metodo dodajanja materiala na dolvodno brežino je v količini materiala, ki bi ga dodali na dolvodno brežino. Ta je pri nadvišanju za 4 m veliko večja. 4-metrsko nadvišanje predstavlja večje težave tudi zaradi objektov na pregradi in njihove dograditve, ki je potrebna zaradi izbranega načina nadvišanja. Za dograditev prelivnega objekta, prelivne drče in za izgradnjo podpornega zidu okoli zaporničnega objekta bi porabili veliko večje količine betona in armature, kot pri varianti 2-metrskega nadvišanja.

Čeprav bi za potrebe oskrbe z vodo v akumulaciji potrebovali čim večjo količino vode, bi v tem primeru vseeno predlagali nadvišanje za 2 m, saj bi bili pri 4-metrskem nadvišanju zaradi omejitev v prostoru, težavnejše izvedbe in večjih količin materiala stroški precej večji. Vseeno pa tudi cena projekta nadvišanja za 2 m ne bi bila majhna. V projekt nadvišanja bi vključili tudi rešitev problema iztekanja zalednih voda v akumulacijo tik ob pregradi tako, da bi zaledno vodo iz tega območja

speljali v spodnjo strugo potoka Klivnik. Ureditev tega problema bi bila v vsakem primeru potrebna, tudi, če pregrade ne bi nadvišali.

Preveril sem tudi posedke in rezultirajoče pomike obstoječe in nadvišane pregrade z računalniškim programom TNO Diana. Program omogoča celo vrsto različnih tipov analiz, izbire tipov končnih elementov in na koncu tudi predstavitev rezultatov. Predstavil sem posedke, ki se izvršijo na pregradi zaradi obtežbe z lastno težo in s hidrostatičnim pritiskom, obliko deformirane pregrade in normalne napetosti v vertikalni smeri v pregradi in v tleh. Ugotovili smo, da so karakteristike tal nekoliko boljše, kot so jih predvideli pred izgradnjo pregrade. Za primer, ko sem za tla privzel izboljšane karakteristike, se posedek namreč približa posedku pregrade, ki bi bil realen glede na dejansko posedanje pregrade, ki je vsako leto merjeno s pomočjo geodetskih točk na pregradi.

VIRI

Agencija Republike Slovenije za okolje. 2012. Atlas okolja

<http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/> (Pridobljeno 26. 3. 2012.)

Agencija Republike Slovenije za okolje (Peroša, B.). 2013. Osebna komunikacija (26. 3. 2013.)

Brily, M., Kompare B., Kryžanowski A., Rusjan S. 2008. 19. Mišičev vodarski dan, 2008: Ureditev oskrbe prebivalstva s pitno vodo slovenske Istre in zalednega Kraškega območja: 12 str.

Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, katedra za mehaniko tal. 2013.

[http://www.fgg.uni-lj.si/kmtal-](http://www.fgg.uni-lj.si/kmtal-gradiva/Gradiva%20za%20vec%20predmetov/Skripta%20Janko%20Logar/plitvo%20temeljenje.pdf)

[gradiva/Gradiva%20za%20vec%20predmetov/Skripta%20Janko%20Logar/plitvo%20temeljenje.pdf](http://www.fgg.uni-lj.si/kmtal-gradiva/Gradiva%20za%20vec%20predmetov/Skripta%20Janko%20Logar/plitvo%20temeljenje.pdf)

(Pridobljeno 15. 2. 2013.)

ICOLD. 1986. Bulletin 54, Soil – cement for embankment dams: 92 str.

Kobold, M., Švab, M. 2009. Hidrološka analiza porečja Reke za leto 2008: str. 195-204.

<http://mvd20.com/LETO2009/R29.pdf> (Pridobljeno 24. 7. 2012.)

Komunalno gradbeno podjetje Ilirska Bistrica. 1984a. Akumulacija Klivnik, Projekt za izvedbo, zvezek 2: 25 str.

Komunalno gradbeno podjetje Ilirska Bistrica. 1984b. Akumulacija Klivnik, Projekt za izvedbo, zvezek 1. Osebna komunikacija (26. 3. 2013.)

Komunalno gradbeno podjetje Ilirska Bistrica. 1984c. Akumulacija Klivnik, Lokacijska dokumentacija, vodnogospodarski del: 26 str.

Komunalno gradbeno podjetje TOZD, proizvodna gradbena dejavnost Snežnik, Ilirska Bistrica. 1987.

Poročilo o izgradnji vodne akumulacije Klivnik (1984 – 1987). Osebna komunikacija (26. 3. 2013.)

Mikoš, M., 2000. Urejanje vodotokov, skripta, verzija 01. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Katedra za splošno hidrotehniko: 182 str.

Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. 2010. Delovna naloga 4: Stanje, obratovanje in perspektive obstoječih vodnih akumulacij iz vidika rabe vode v kmetijski pridelavi: str. 74-101.

http://www.bf.uni-lj.si/fileadmin/users/1/agronomija/V4-0487/4_Akumulacije.pdf (Pridobljeno 24. 7. 2012.)

Ministrstvo za okolje in prostor. 2005a. Pregrada Klivnik, Sistem opazovanja, Projekt za pridobitev gradbenega dovoljenja in Projekt za izvedbo, Elaborat – Posnetek stanja: 29 str.

Ministrstvo za okolje in prostor. 2005b. Pregrada Klivnik, Sistem opazovanja, Projekt za pridobitev gradbenega dovoljenja in Projekt za izvedbo, Načrt tehničnega opazovanja, Tehnično poročilo, 43 str.

Ministrstvo za okolje in prostor. 1996. Sanacija pregrade – dodatna tesnitev pregrade Klivnik. Osebna komunikacija (26. 3. 2013.)

Portland cement association. 2013

<http://www.secement.org/PDFs/IS008.PDF> (Pridobljeno 5. 4. 2013.)

Portland cement association. 2013

http://www.cement.org/basics/concreteproducts_soil.asp (Pridobljeno 6. 4. 2013.)

Portland cement association. 2013

http://www.cement.org/water/dams_sc_faqs.asp (Pridobljeno 6. 4. 2013.)

Rismal, M. 2012. Interdisciplinarnost in integralno upravljanje in načrtovanje vodnih sistemov, Gradbeni vestnik: str. 28-36

Slovenski nacionalni komite za velike pregrade. 2013.

<http://www.slocold.si/galerija/mola/mola.htm> (Pridobljeno 19. 1. 2013.)

Šimic, J. 2006. Uporaba valjanih betonov za nasipe. Diplomski naloga. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (J. Šimic): 87 f.

TNO DIANA 2010, Finite element analysis, User's Manual release 9.4.3, Element Library: 728 str.

US Army Corps of Engineers. 2004. General Design and Construction Considerations for Earth and Rock-Fill Dams, Engineer manual: 130 str.

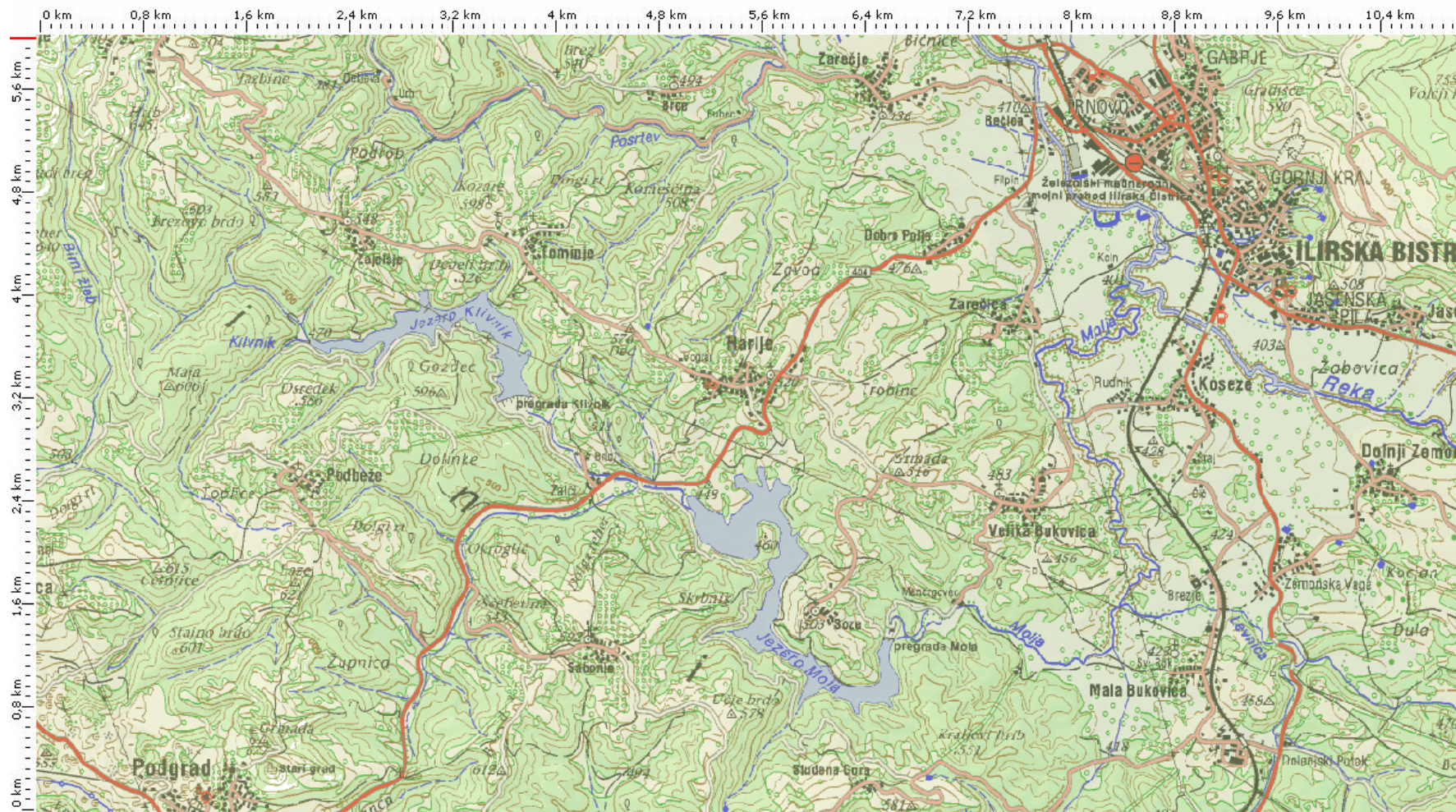
U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. 2013.

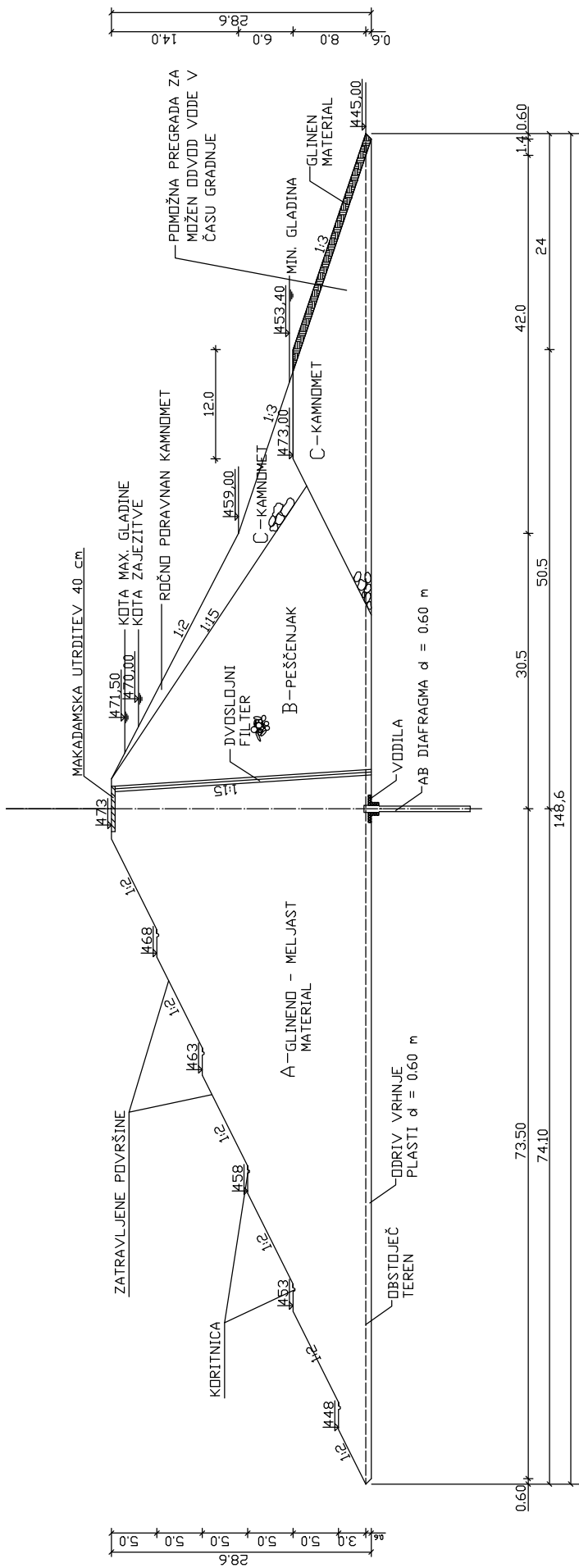
<http://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/pubs/09112/page07.cfm> (Pridobljeno 5. 4. 2013.)

SEZNAM PRILOG

- Priloga A: OBSTOJEČA PREGRADA; SITUACIJA, PREREZI, TLOVIS, POSTAVITEV
GEODETSKIH TOČK
- Priloga B: KRIVULJA VOLUMNOV IN POVRŠIN AKUMULACIJE OB RAZLIČNIH
VIŠINAH NADVIŠANJA PREGRADE
- Priloga C: PROBLEMSKE KARTE
- Priloga D: IZVEDBA NADVIŠANJA PREGRADE ZA 2 IN 4 m TER UREDITEV OBJEKTOV
NA PREGRADI
- Priloga E: SKICA UREDITVE ZALEDNIH VODA
- Priloga F: GRAFIČNO PRIKAZANI REZULTATI IZRAČUNOV V PROGRAMU TNO
DIANA

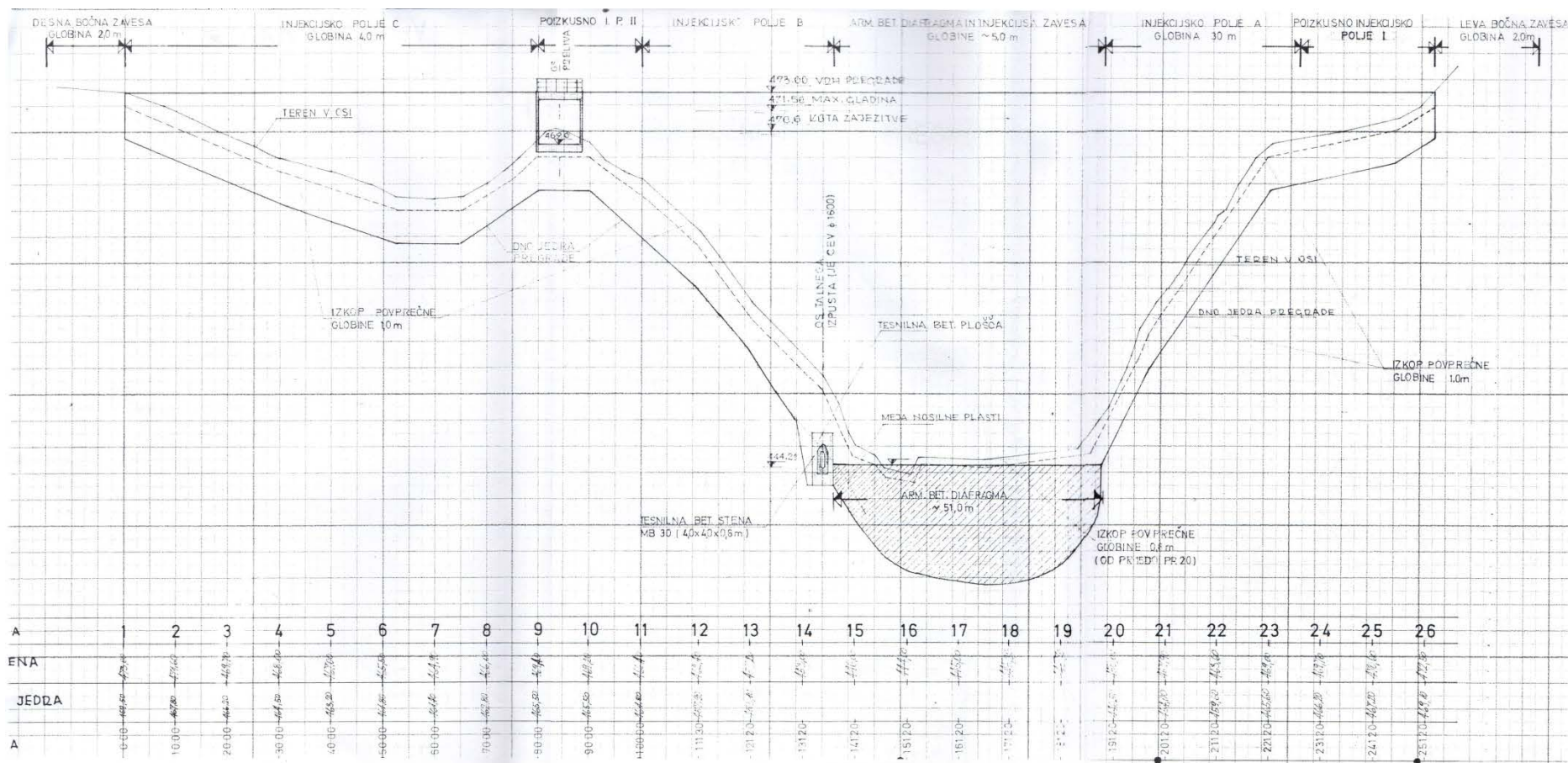
PRILOGA A1/5: SITUACIJA OBMOČJA, KJER SE NAHAJATA AKUMULACIJI KLIVNIK IN MOLA





UNIVERZA V LJUBLJANI, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
 Diplomsko nalogo: Analiza možnosti nadvišanja pregrad Klivnik
 Izdelal: Miha Vadnjak | Mentor: doc. dr. Andrej Kryžanowski
 PRECNI PREREZ OBSTOJEČE PREGRADE KLIVNIK
 PRILOGA A2/5

PRILOGA A3/5: VZDOLŽNI PREREZ OBSTOJEČE PREGRADE KLIVNIK



PRILOGA A4/5: TLORIS OBSTOJEČE PREGRADE KLIVNIK

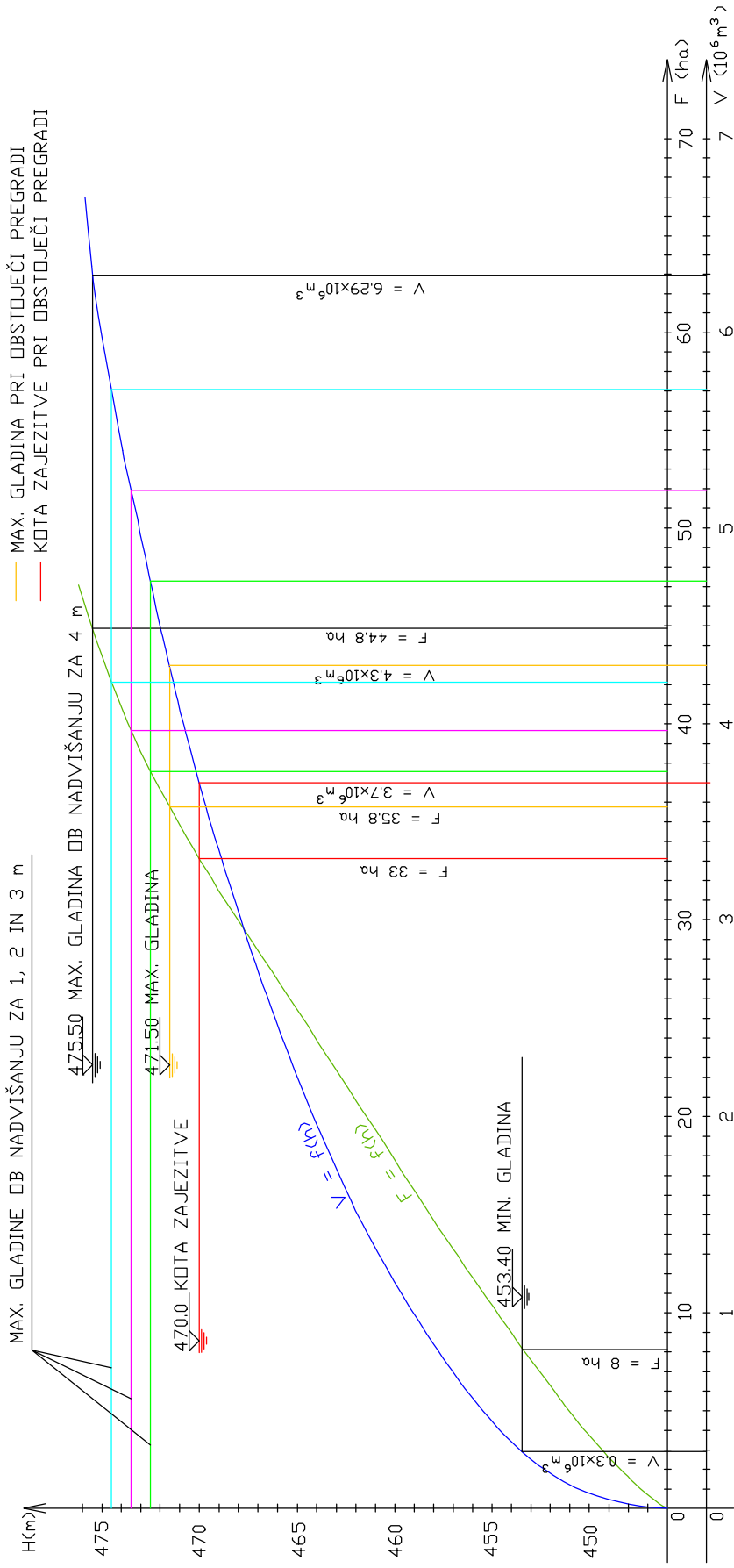


PRILOGA A5/5: PRIKAZ POSTAVITVE GEODETSKIH TOČK NA PREGRADI KLIVNIK



KRIVULJA VOLUMNA IN POVRŠINE
AKUMULACIJE KLIVNIK

- NADVIŠANJE ZA 4 m
- NADVIŠANJE ZA 3 m
- NADVIŠANJE ZA 2 m
- NADVIŠANJE ZA 1 m
- MAX. GLADINA PRI OBSTOJEČI PREGRADI
- KOTA ZAJEZITVE PRI OBSTOJEČI PREGRADI



UNIVERZA V LJUBLJANI, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

Diplomska naloga: Analiza možnosti nadvišanja pregrad Klivnik

Izdelal: Miha Vadnjal | Mentor: doc. dr. Andrej Kryžanowski

KRIVULJA POVRŠIN IN VOLUMNOV AKUMULACIJE OB RAZLIČNIH VIŠINAH NADVIŠANJA PREGRADE

PRILOGA B

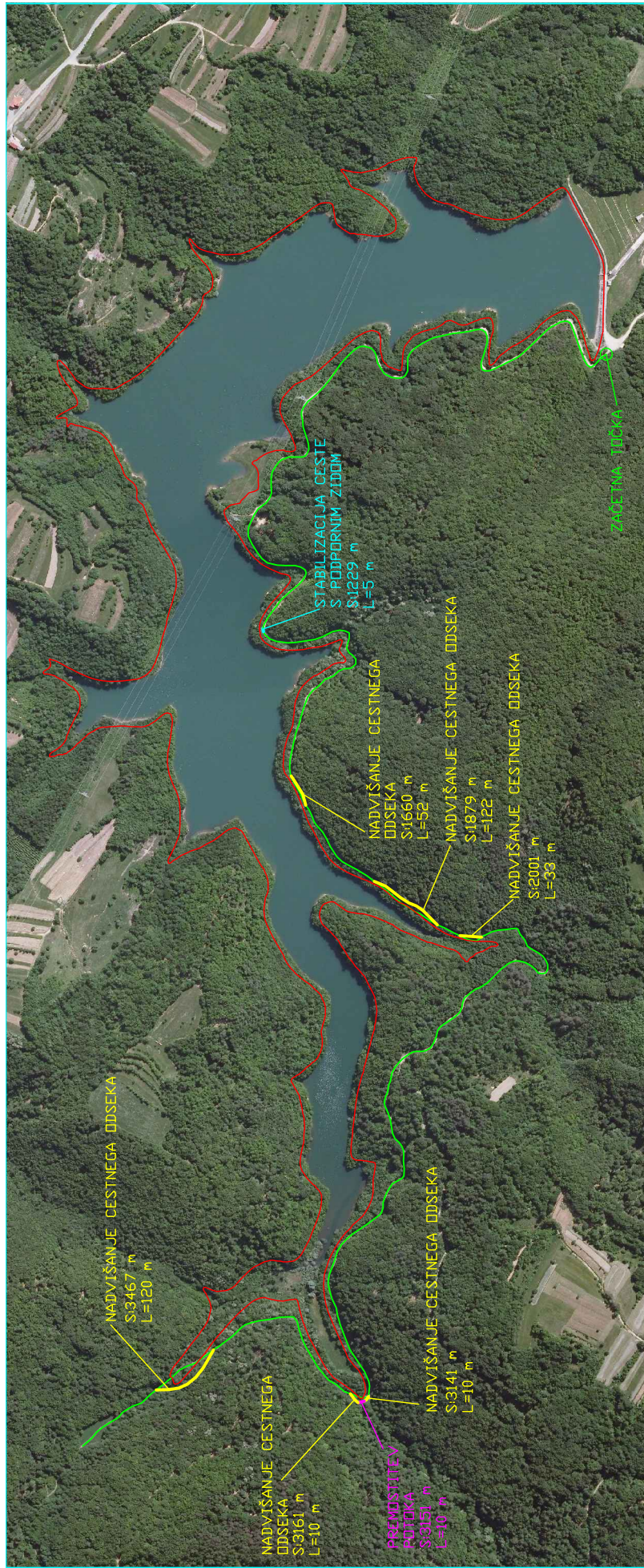


— OBMOČJE AKUMULACIJE PRI MAKSIMALNI GLADINI
 — VODE OB NADVIŠANJU PREGRADE ZA 1 m
 — MAKADAMSKA CESTA

S: STACIONAŽA (ODDALJENOST ZAČETKA ODSEKA OD ZAČETNE TOČKE)

L: DOLŽINA ODSEKA

UNIVERZA V LJUBLJANI, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
Diplomska naloga: Analiza možnosti nadvišanja pregrad Klivnik
Izdelal: Miha Vodnjak Mentor: doc. dr. Andrej Kryžanowski
PROBLEMSKA KARTA 1
PRILOGA C1/4



— OBMOČJE AKUMULACIJE PRI MAKSIMALNI GLADINI

— VODE OB NADVIŠANJU PREGRADE ZA 2 m

— MAKADAMSKA CESTA

S: STACIONAŽA (ODDALJENOST ZAČETKA ODSEKA OD ZAČETNE TOČKE)

L: DOLŽINA ODSEKA

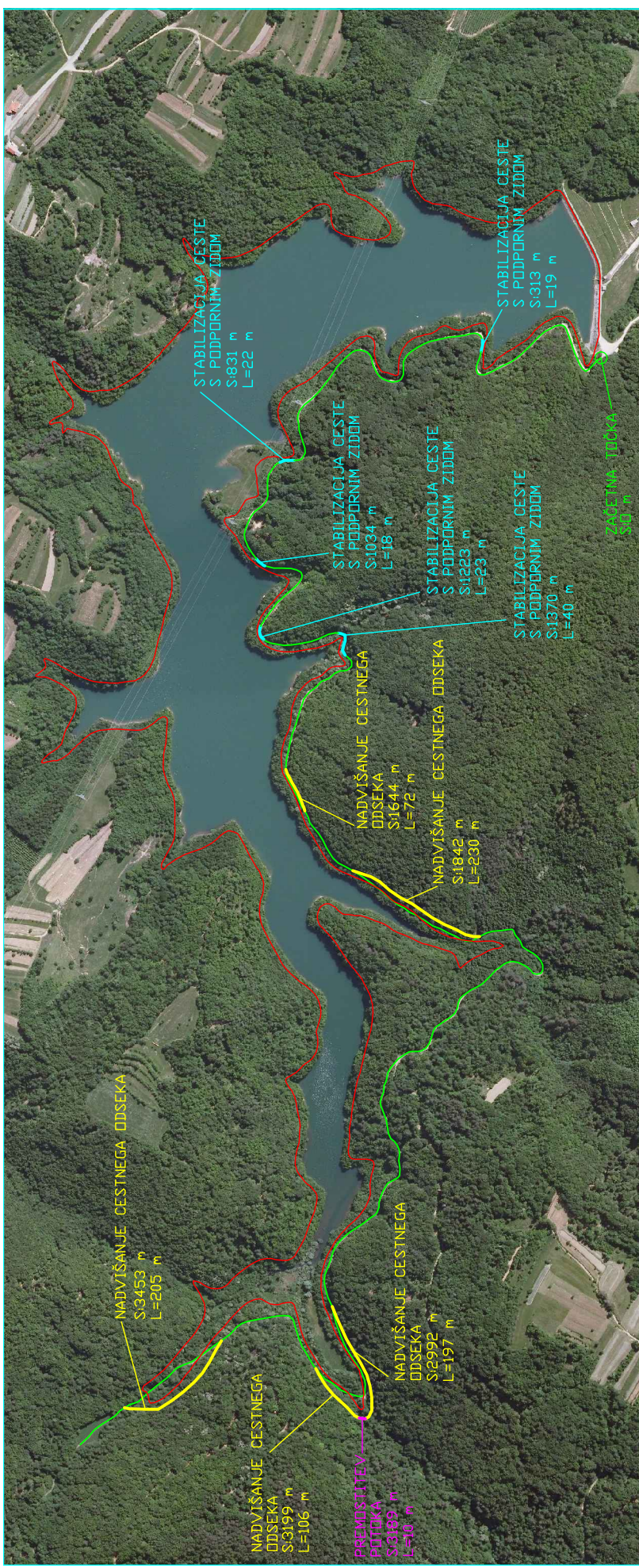
UNIVERZA V LJUBLJANI, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

Diplomska naloga: Analiza možnosti nadvišanja pregrad Klivnik

Izdela: Miha Vadnjak | Mentor: doc. dr. Andrej Kryžanowski

PROBLEMSKA KARTA 2

PRILOGA C2/4



— OBMOČJE AKUMULACIJE PRI MAKSIMALNI GLADINI

— VODE OB NADVIŠANJU PREGRADE ZA 3 m

— MAKADAMSKA CESTA

S: STACIONAŽA (ODDALJENOST ZAČETKA ODSEKA OD ZAČETNE TOČKE)

L: DOLŽINA ODSEKA

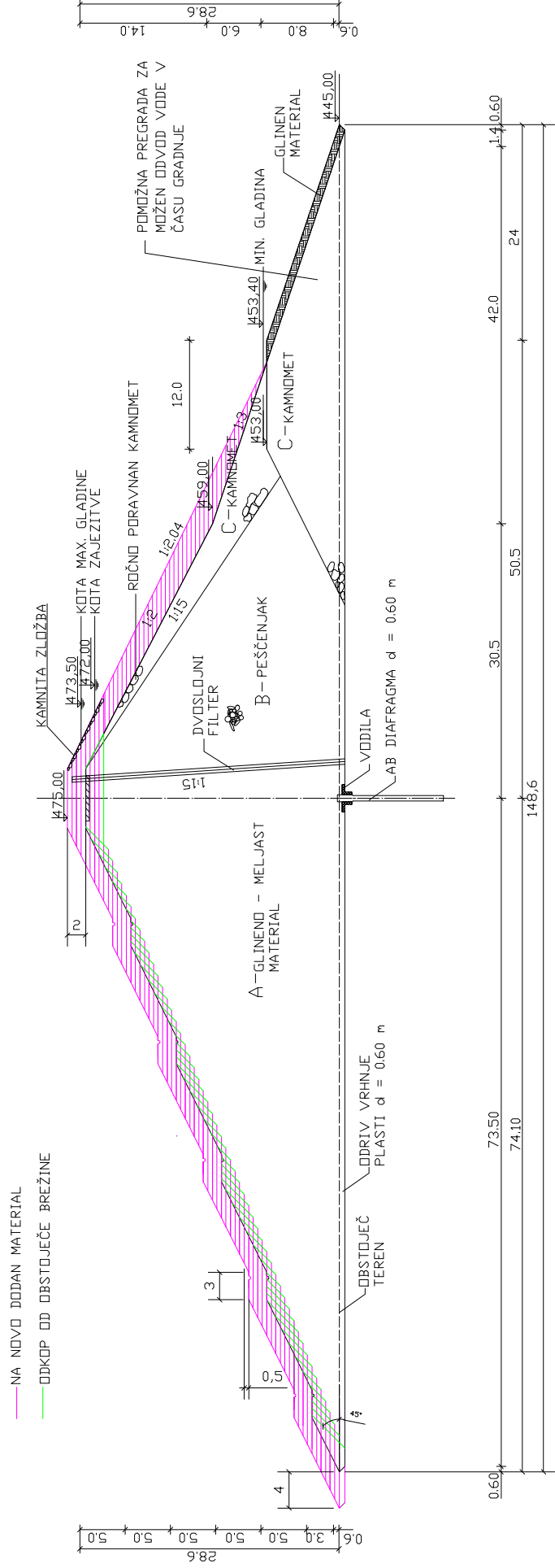
UNIVERZA V LJUBLJANI, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

Diplomska naloga: Analiza možnosti nadvišanja pregrad Klivnik

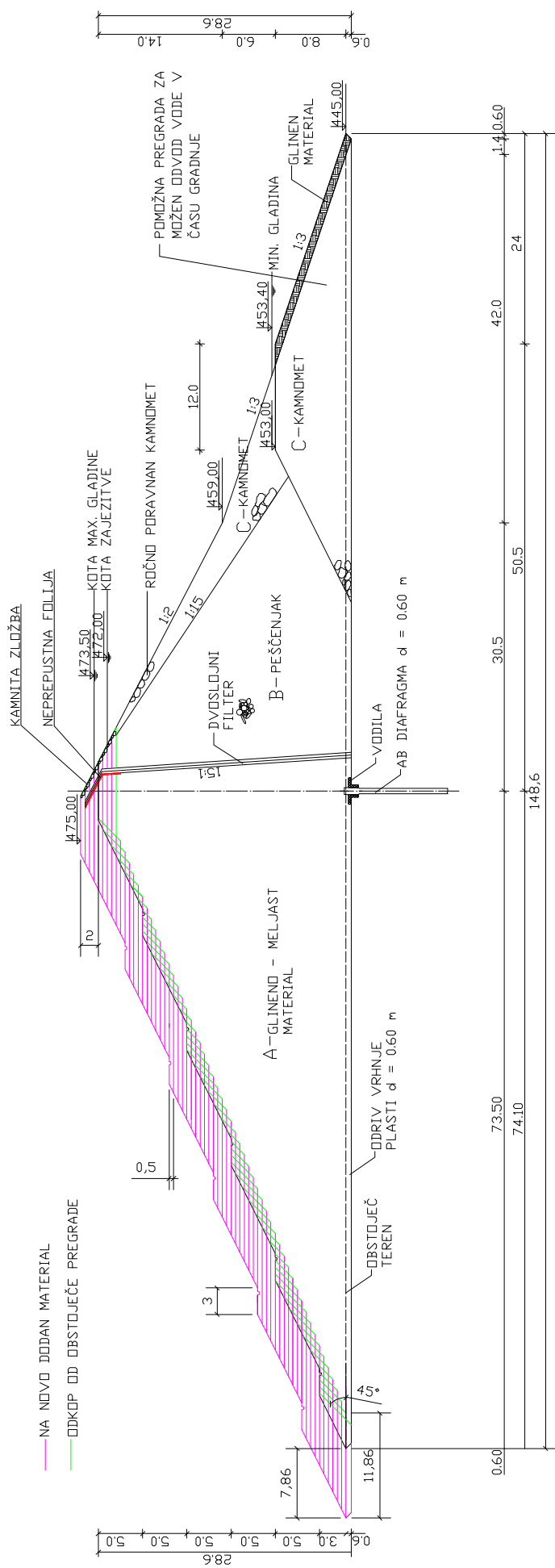
Izdelal: Miha Vodnjak | Mentor: doc. dr. Andrej Kryžanowski

PROBLEMSKA KARTA 3

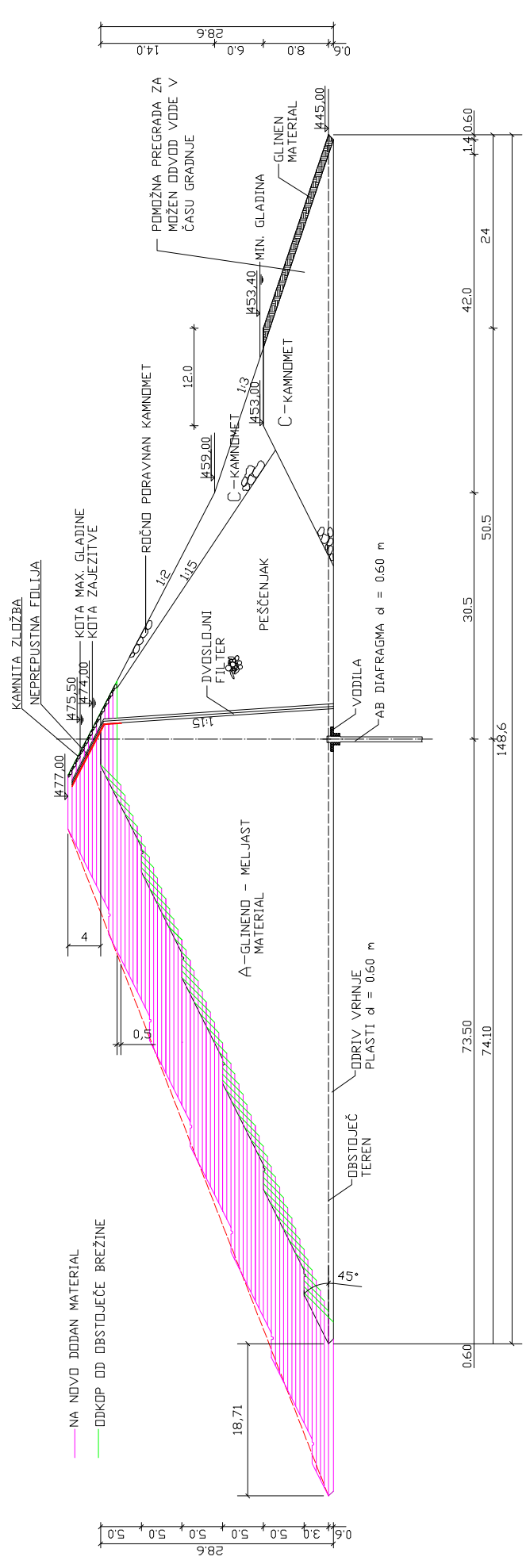
PRILOGA C3/4



UNIVERZA V LJUBLJANI, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
 Diplomsko naloga: Analiza možnosti nadvišanja pregrad Klivnik
 Izdelati: Milna Vadnjak | Mentori: doc. dr. Andrej Kryžanowski
 PREČNI PREREZ PREGRADE, NADVIŠANE ZA 2 m; MATERIAL DODAN NA OBEH STRANEH
 PRILOGA D1/7



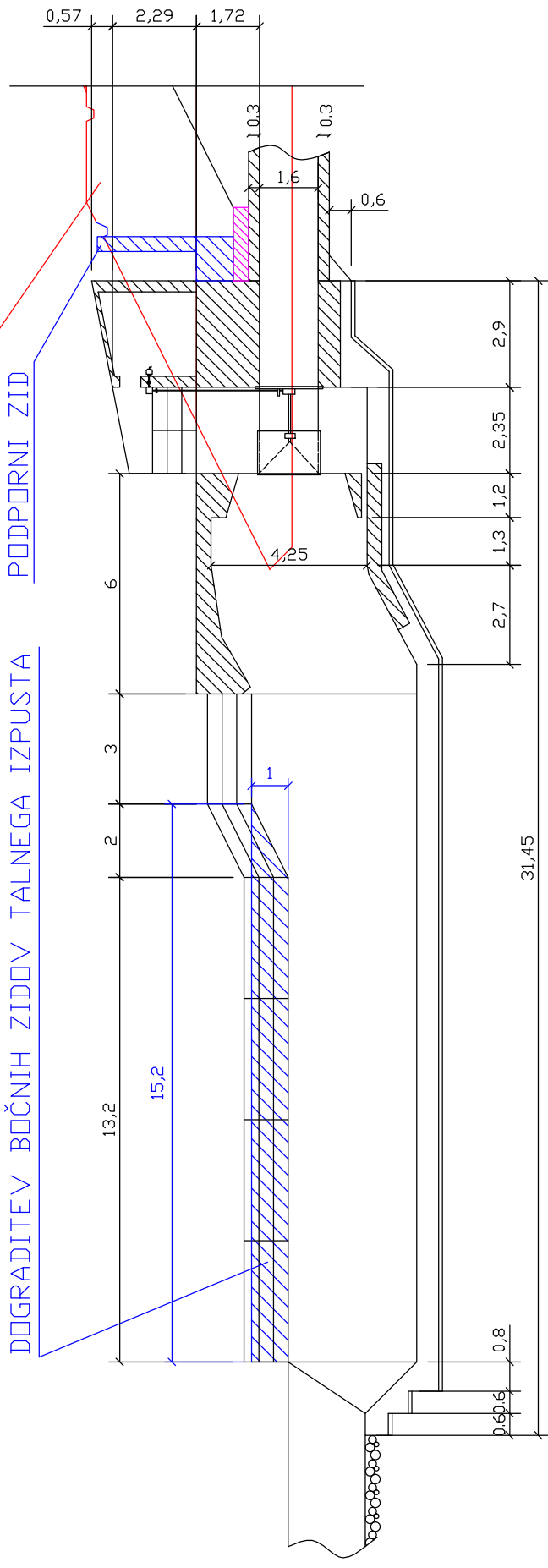
UNIVERZA V LJUBLJANI, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
 Diplomsko naloga: Analiza možnosti nadvišanja pregrad klivnik
 Izdelal: Miha Vadrjal | Mentor: doc. dr. Andrej Kryžanowski
 PREČNI PREZEV PREGRADJE, NADVIŠANE ZA 2 m; MATERIAL DODAN NA ZRAČNI STRANI
 PRILOGA D2/7



UNIVERZA V LJUBLJANI, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
 Diplomsko nalogo: Analiza možnosti nadvišanja pregrad Klivnik
 Izdelal: Miha Vlačič Mentor: doc. dr. Andrej Kryžanowski
 PREČNI PREREZ PREGRADE, NADVIŠANE ZA 4 m MATERIAL DODAN NA ZRAČNI STRANI
 PRILOGA D3/7

PREGRADA, NADVIŠANA ZA 2 m

DOGRADITEV BOČNIH ZIDOV TALNEGA IZPUSTA PODPORNI ZID



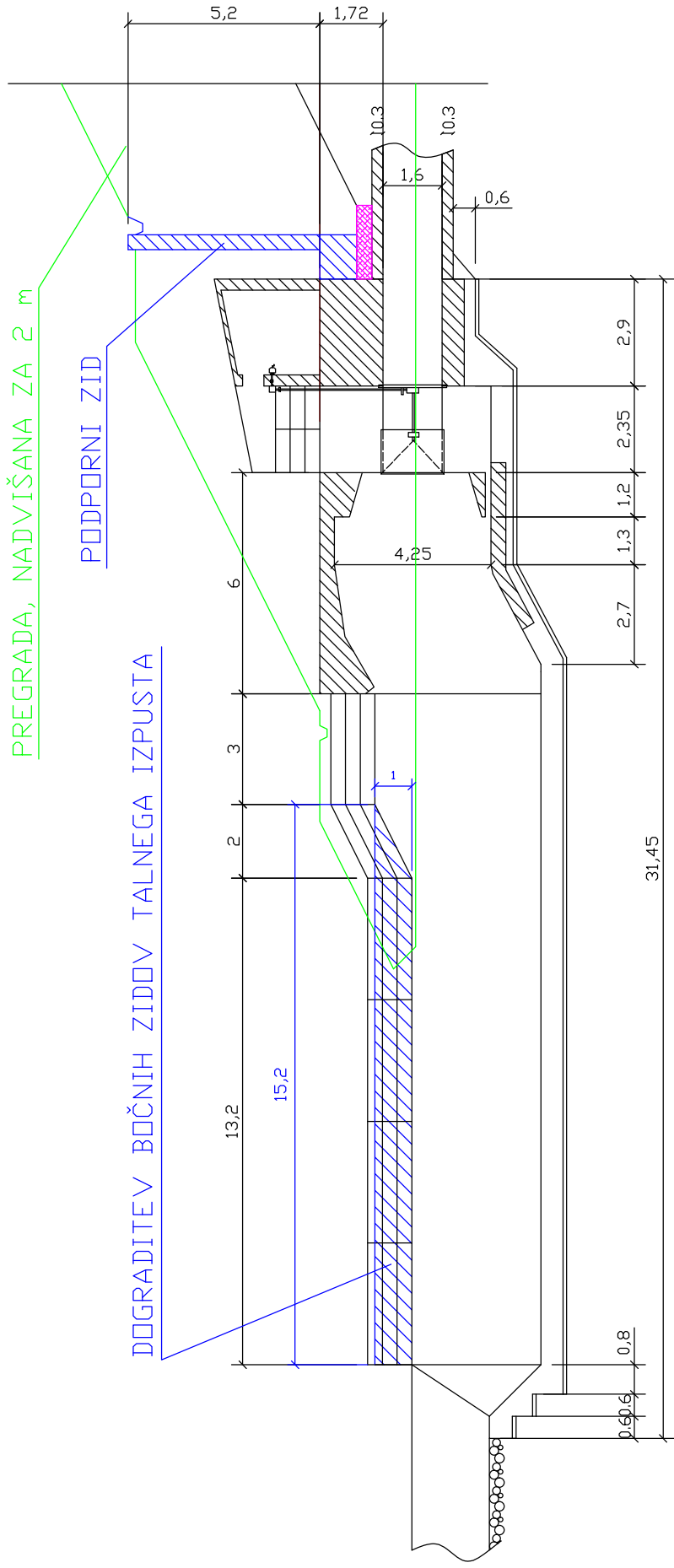
UNIVERZA V LJUBLJANI, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

Diplomska naloga: Analiza možnosti nadvišanja pregrad Klivnik

Izdelal: Miha Vadnjal | Mentor: doc. dr. Andrej Kryžanowski

ZAPORNIČNI OBJEKT TALNEGA IZPUSTA S PODPORNIM ZIDOM PRI NADVIŠANJU ZA 2 m

PRILOGA D4/7



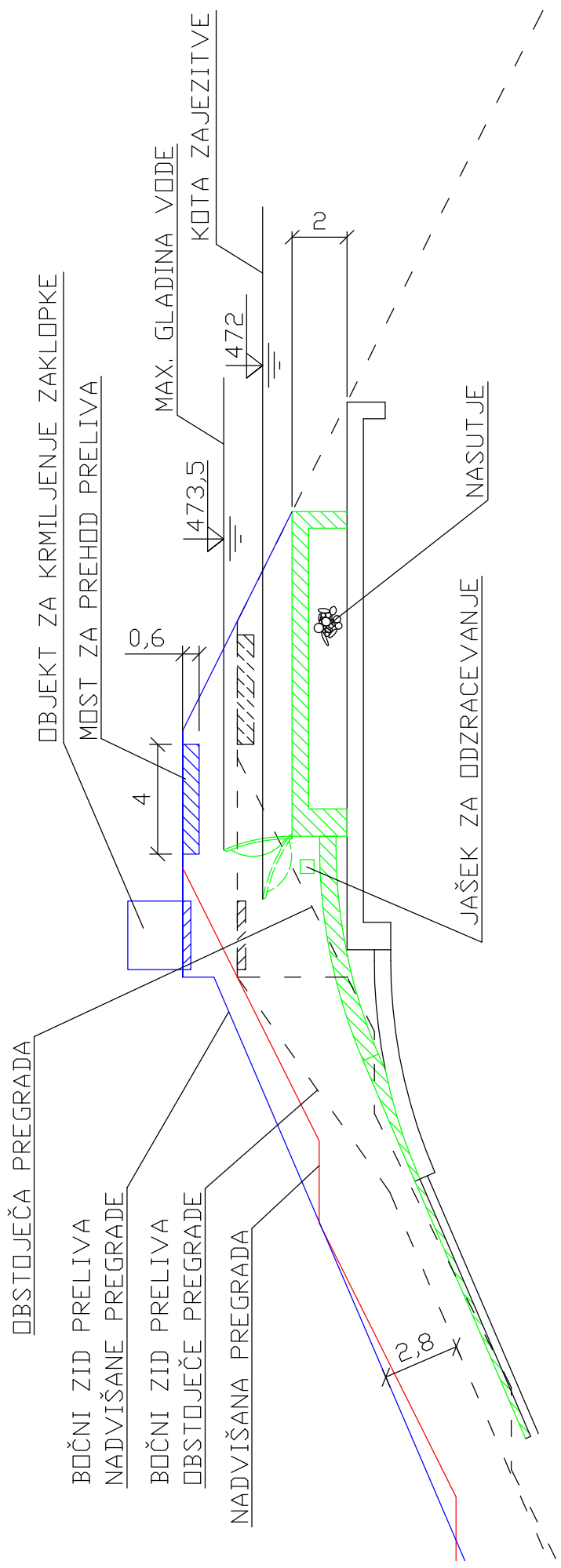
UNIVERZA V LJUBLJANI, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

Diplomska naloga: Analiza možnosti nadvišanja pregrad Klivnik

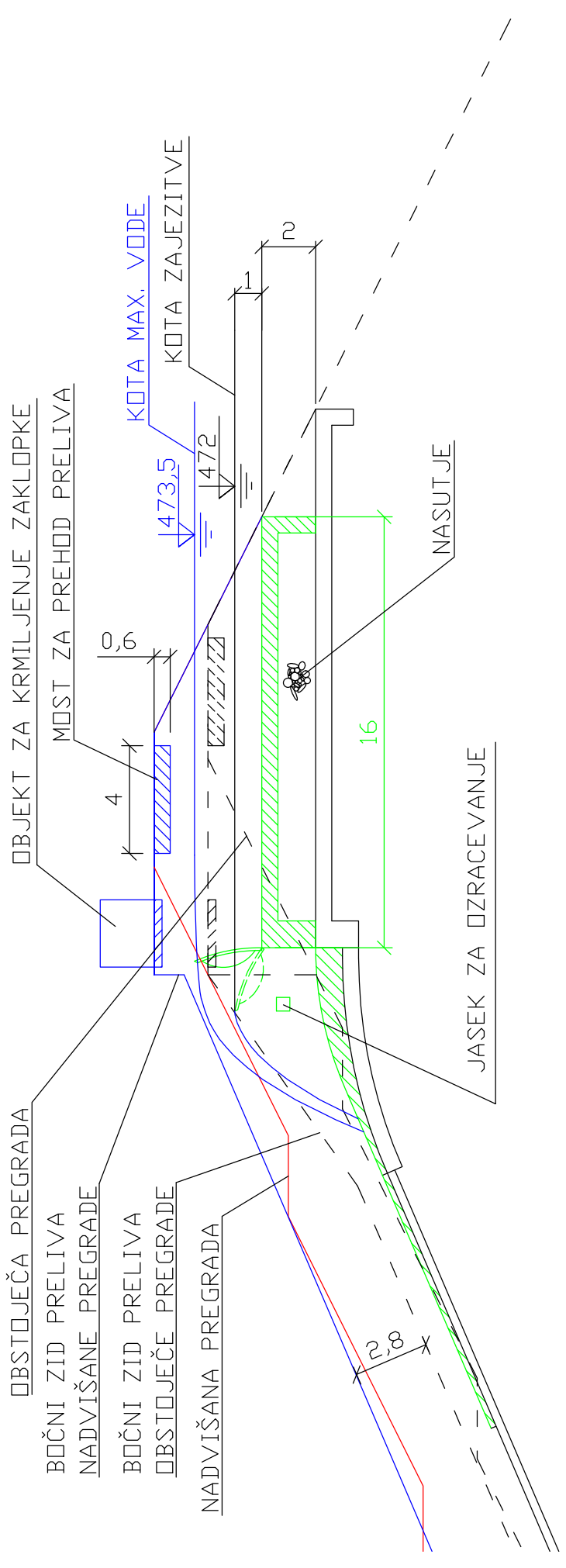
Izdelal: Miha Vadnjal | Mentor: doc. dr. Andrej Kryžanowski

ZAPORNIČNI OBJEKT TALNEGA IZPUSTA S PODPORNIM ZIDOM PRI NADVIŠANJU ZA 4 m

PRILOGA D5/7



UNIVERZA V LJUBLJANI, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
 Diplomsko naloga: Analiza možnosti nadvišanja pregrad Klivnik
 Izdelal: Miha Vadnjak | Mentor: doc. dr. Andrej Kryžanowski
 UREDITEV PRELIVA ZA VIŠOKE VODE (1. MOŽNOST)
 PRILOGA D6/7



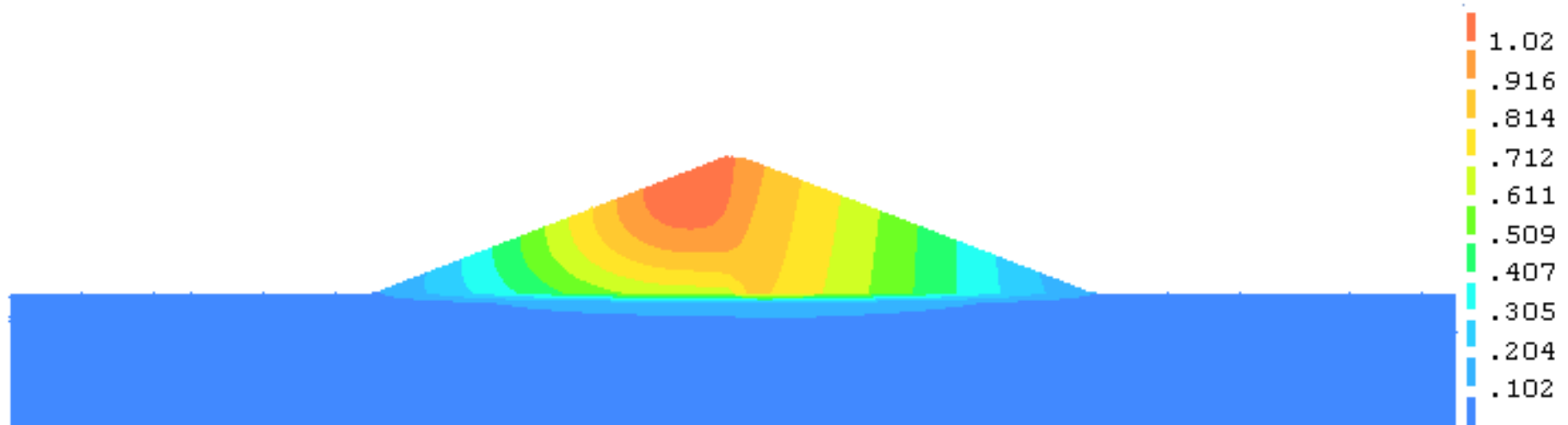
UNIVERZA V LJUBLJANI, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
Diplomska naloga: Analiza možnosti nadvišanja pregrad Klivnik
Izdelač: Miha Vadnjal Mentor: doc. dr. Andrej Kryžanowski
UREDITEV PRELIVA ZA VISOKE VODE (2. MOŽNOST)
PRILOGA D7/7

PRILOGA E: SKICA UREDITVE ZALEDNIH VODA

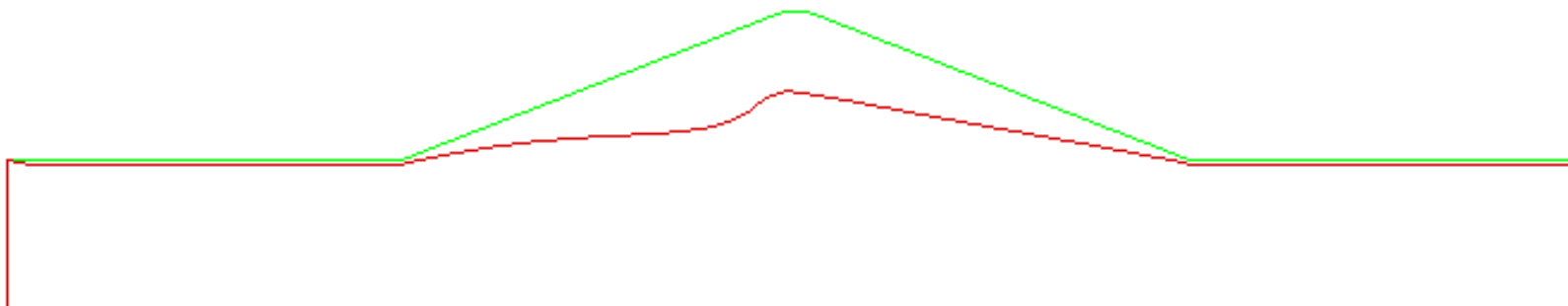


PRILOGA F1/9: POMIKI OBSTOJEČE PREGRADE PRI RAČUNU S PRVOTNIMI KARAKTERISTIKAMI TAL – OBTEŽBA SAMO Z
LASTNO TEŽO

a) PRIKAZ Z BARVNIMI KONTURAMI:

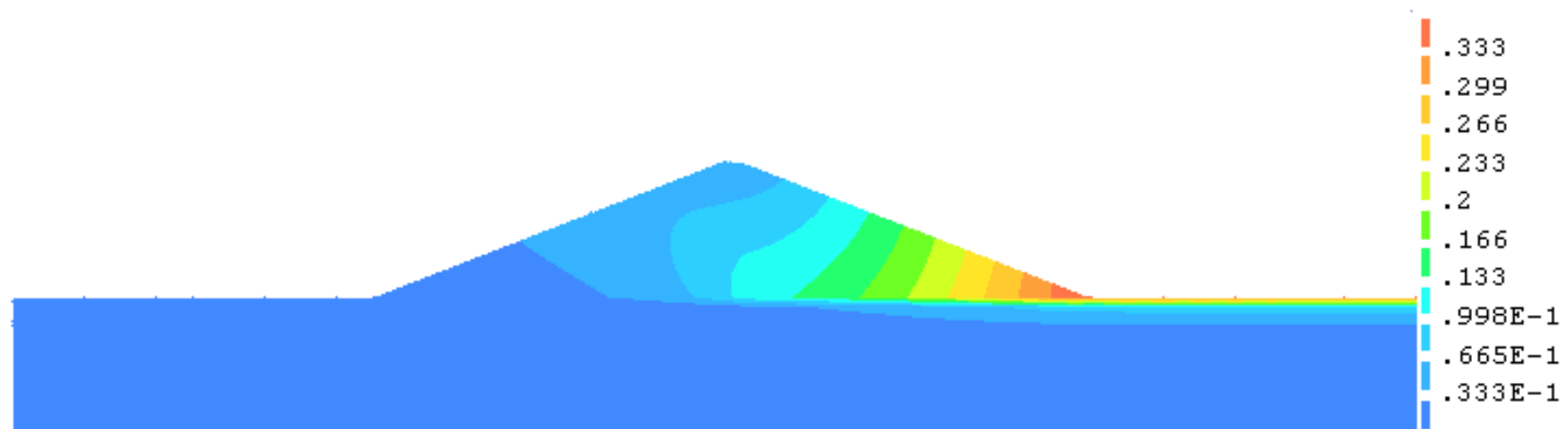


b) DEFORMIRANA OBLIKA PREGRADE (FAKTOR 15,4):

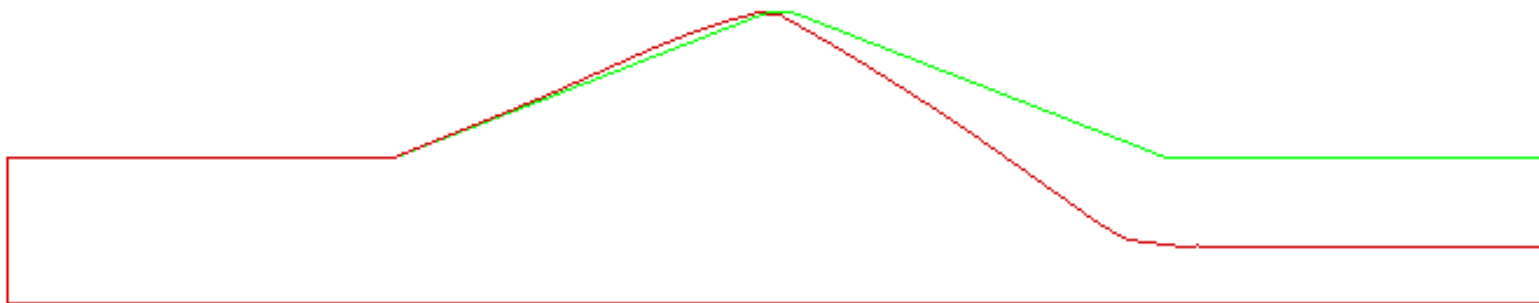


PRILOGA F2/9: POMIKI OBSTOJEČE PREGRADE PRI RAČUNU S PRVOTNIMI KARAKTERISTIKAMI TAL – OBTEŽBA SAMO S HIDROSTATIČNIM TLAKOM VODE

a) PRIKAZ Z BARVNIMI KONTURAMI:

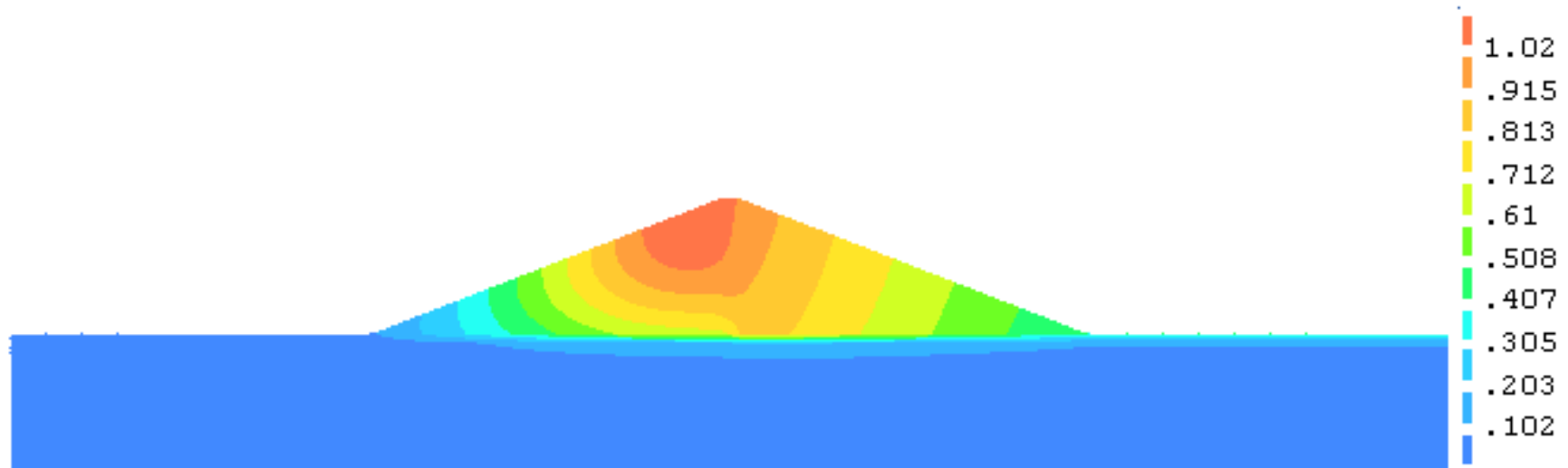


b) DEFORMIRANA OBLIKA PREGRADE (FAKTOR 47,8):

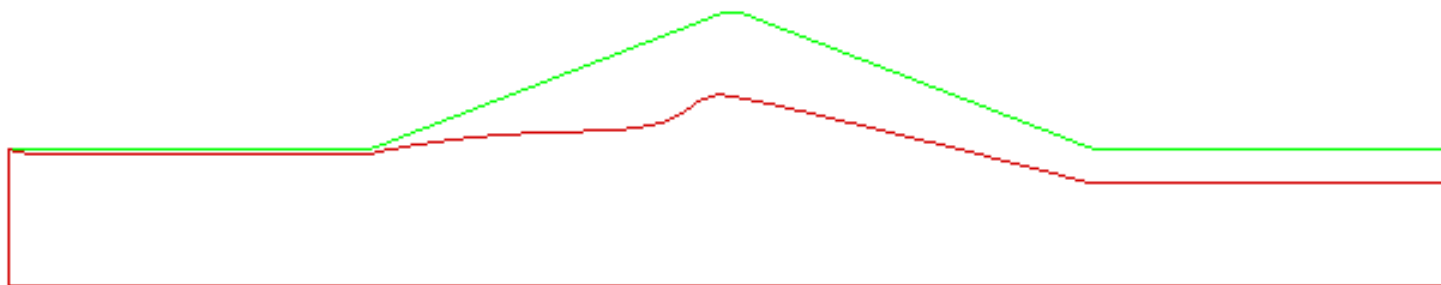


PRILOGA F3/9: POMIKI OBSTOJEČE PREGRADE PRI RAČUNU S PRVOTNIMI KARAKTERISTIKAMI TAL – OBTEŽBA Z LASTNO TEŽO IN HIDROSTATIČNIM TLAKOM VODE

a) PRIKAZ Z BARVNIMI KONTURAMI:

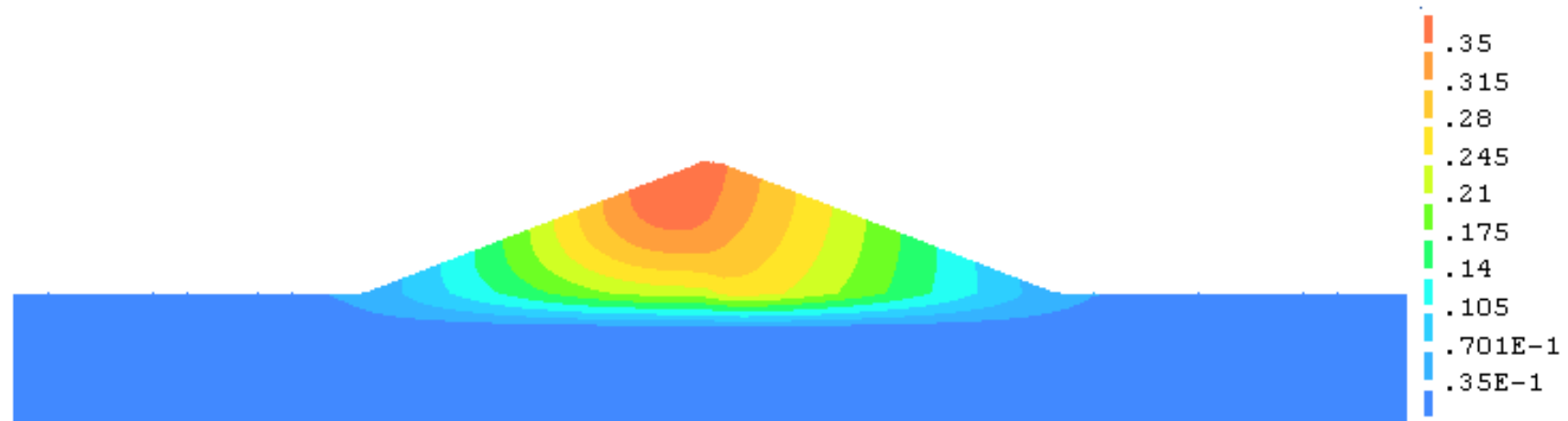


b) DEFORMIRANA OBLIKA PREGRADE (FAKTOR 17,1):

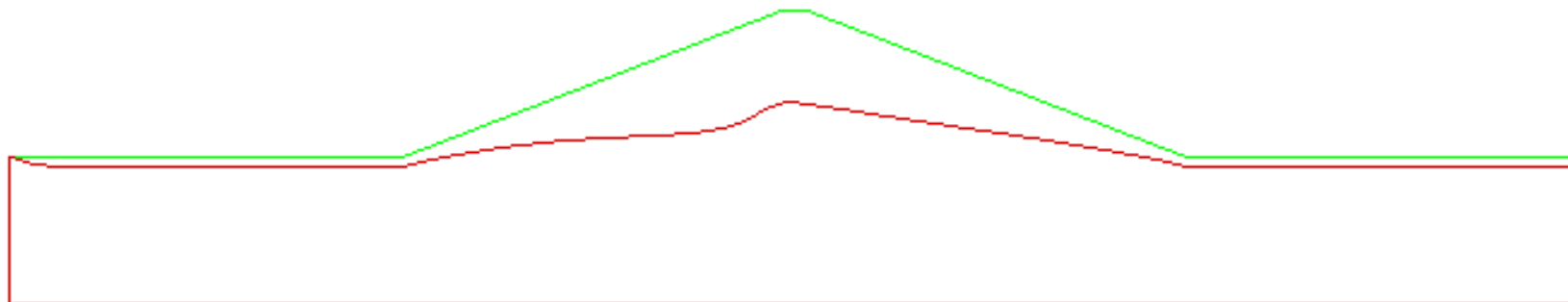


PRILOGA F4/9: POMIKI OBSTOJEČE PREGRADE PRI RAČUNU S IZBOLJŠANIMI KARAKTERISTIKAMI TAL – OBTEŽBA SAMO Z
LASTNO TEŽO

a) PRIKAZ Z BARVNIMI KONTURAMI:

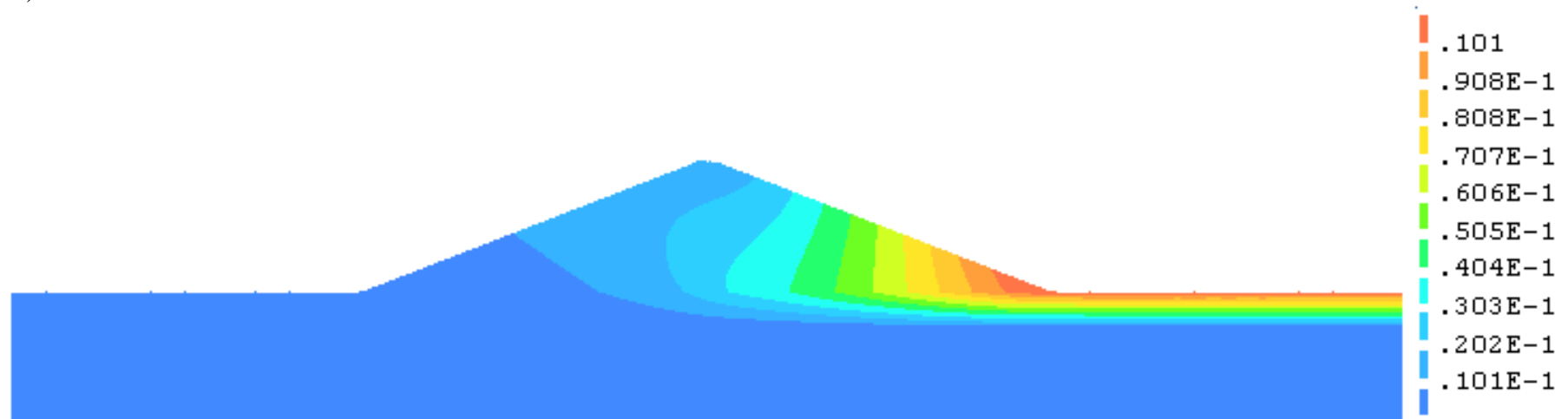


b) DEFORMIRANA OBLIKA PREGRADE (FAKTOR 49,3):

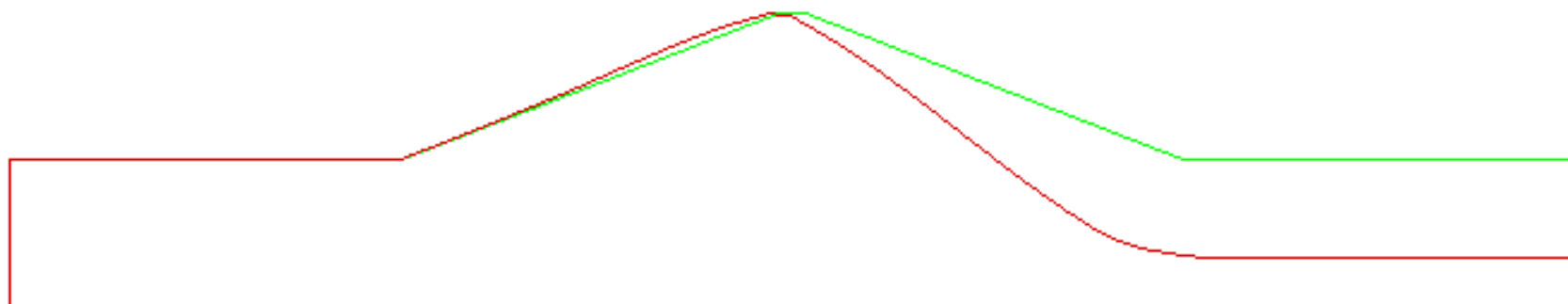


PRILOGA F5/9: POMIKI OBSTOJEČE PREGRADE PRI RAČUNU Z IZBOLJŠANIMI KARAKTERISTIKAMI TAL – OBTEŽBA SAMO S HIDROSTATIČNIM TLAKOM VODE

a) PRIKAZ Z BARVNIMI KONTURAMI:

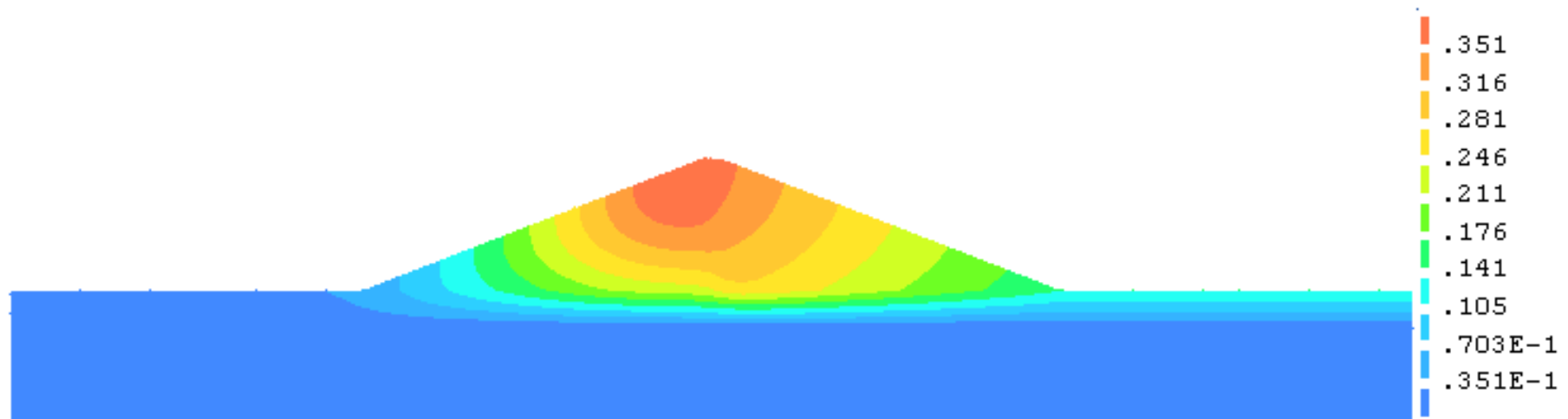


b) DEFORMIRANA OBLIKA PREGRADE (FAKTOR 171):

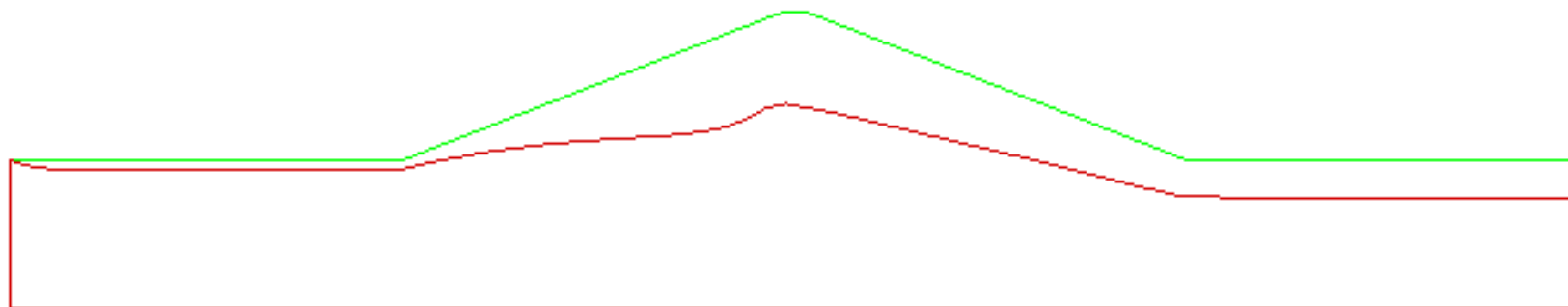


PRILOGA F6/9: POMIKI OBSTOJEČE PREGRADE PRI RAČUNU Z IZBOLJŠANIMI KARAKTERISTIKAMI TAL – OBTEŽBA Z LASTNO TEŽO IN HIDROSTATIČNIM TLAKOM VODE

a) PRIKAZ Z BARVNIMI KONTURAMI:

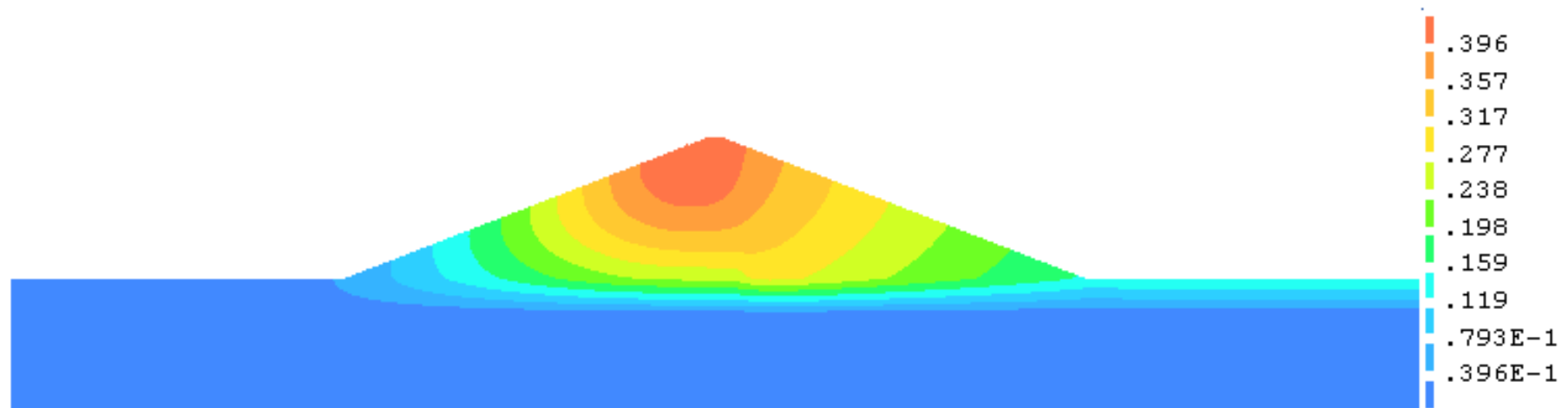


b) DEFORMIRANA OBLIKA PREGRADE (FAKTOR 48,5):

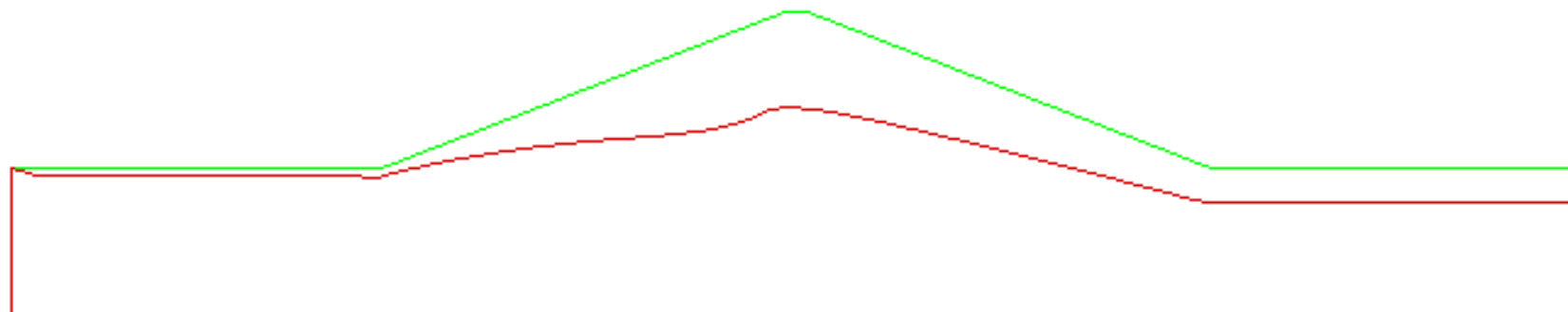


PRILOGA F7/9: POMIKI NADVIŠANE PREGRADE PRI RAČUNU Z IZBOLJŠANIMI KARAKTERISTIKAMI TAL – OBTEŽBA Z
LASTNO TEŽO IN HIDROSTATIČNIM TLAKOM VODE

a) PRIKAZ Z BARVNIMI KONTURAMI:

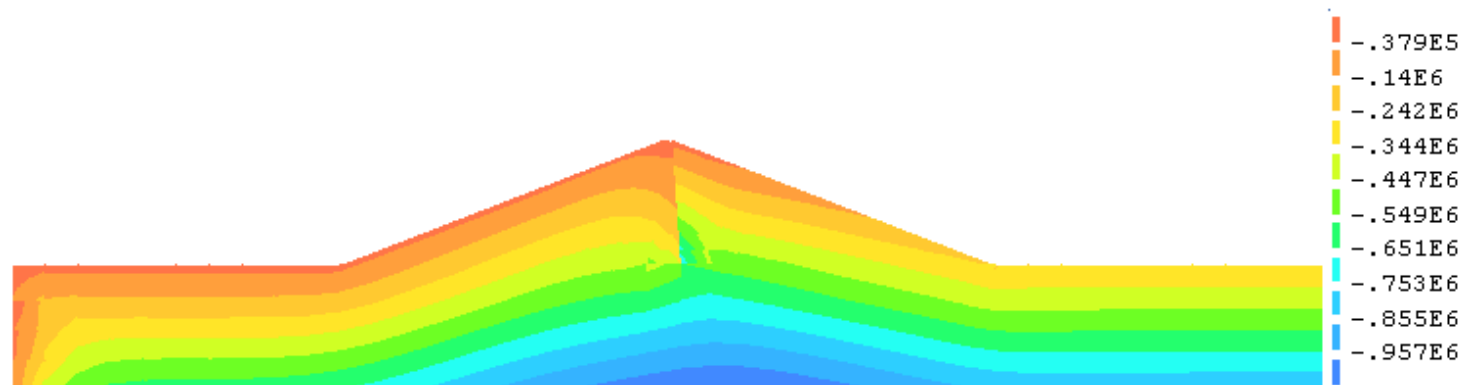


b) DEFORMIRANA OBLIKA PREGRADE (FAKTOR 43,6):

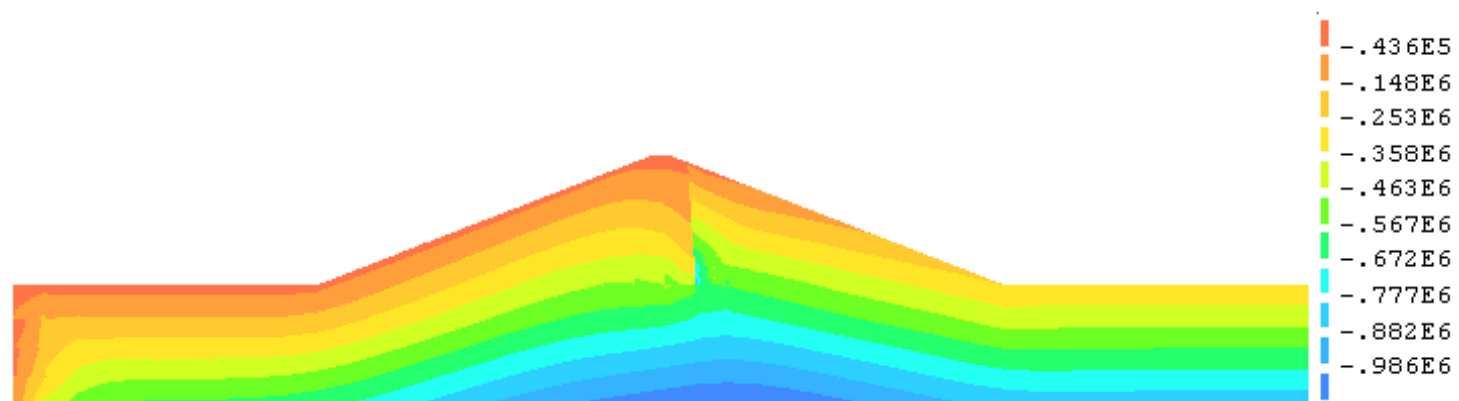


PRILOGA F8/9:

a) NAPETOSTI σ_{yy} V OBSTOJEČI PREGRADI PRI RAČUNU Z IZBOLJŠANIMI KARAKTERISTIKAMI TAL – OBTEŽBA Z LASTNO TEŽO IN HIDROSTATIČNIM TLAKOM VODE

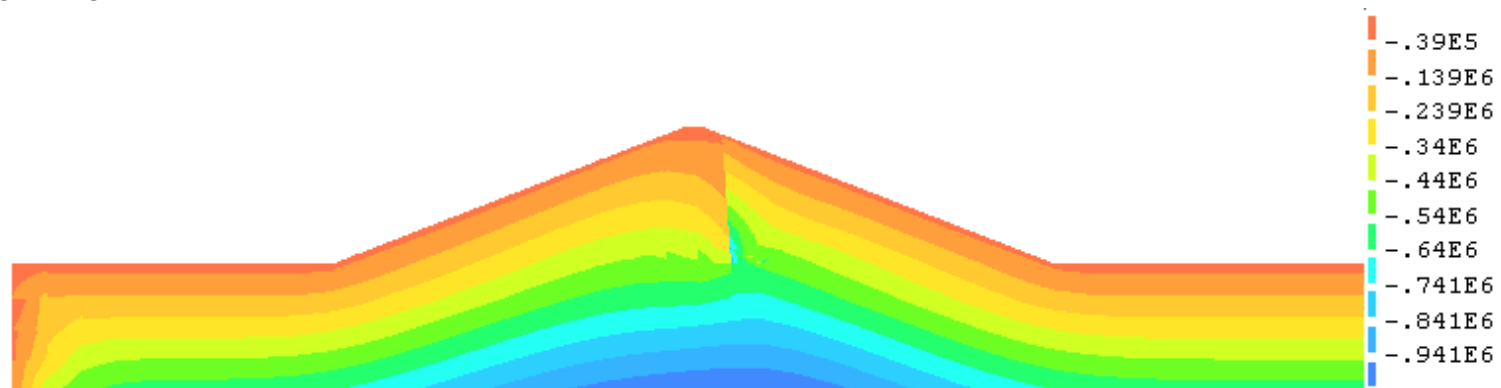


b) NAPETOSTI σ_{yy} V NADVIŠANI PREGRADI PRI RAČUNU Z IZBOLJŠANIMI KARAKTERISTIKAMI TAL – OBTEŽBA Z LASTNO TEŽO IN HIDROSTATIČNIM TLAKOM VODE



PRILOGA F9/9:

- a) NAPETOSTI σ_{yy} V NADVIŠANI PREGRADI PRI RAČUNU Z IZBOLJŠANIMI KARAKTERISTIKAMI TAL – OBTEŽBA Z LASTNO TEŽO



- b) NAPETOSTI σ_{yy} V NADVIŠANI PREGRADI PRI RAČUNU Z IZBOLJŠANIMI KARAKTERISTIKAMI TAL – OBTEŽBA S HIDROSTATIČNIM TLAKOM VODE

