

Univerza  
v Ljubljani  
Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*

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



Univerzitetni program Gradbeništvo,  
Hidrotehniška smer

Kandidat:  
**Jure Šimic**

# **Uporaba valjanih betonov za nasipe**

**Diplomska naloga št.: 2923**

**Mentor:**  
prof. dr. Mitja Brilly

**Somentor:**  
doc. dr. Andrej Kryžanowski

Ljubljana, 1. 12. 2006

## **IZJAVA O AVTORSTVU**

**Podpisani Jure ŠIMIC izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:  
»UPORABA VALJANIH BETONOV ZA NASIPE«.**

Izjavljam, da se odpovedujem vsem materialnim pravicam iz dela za potrebe elektronske separatorke FGG.

Ljubljana, november 2006

podpis: \_\_\_\_\_

## **BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

UDK:

Avtor: Jure Šimic

Mentor: prof. dr. Mitja Brilly

Somentor: viš. pred. mag. Andrej Kryžanowski

Naslov: Uporaba valjanih betonov za nasipe

Obseg in oprema:

Ključne besede: vodni nasipi, valjani beton, stabilnost nasipa, kontrola pronicanja, primerjava nasipov, hidroelektrarna Blanca

### **Izvleček**

V prvem delu diplomske naloge, so predstavljene splošne lastnosti vodnih nasipov ter tudi potrebne karakteristike, ki jih mora tak nasip imeti. Prikazane so tudi vrste nasipov, ki pa so v splošnem lahko zemeljski kot tudi betonski. Prikazan in opisan je tudi način gradnje novih vrst betonov – valjanih betonov. To so betoni, ki so prilagojeni za hitro vgrajevanje (hitro nanašanje novih plasti) ter so najbolj primerni za gradnjo masovnih konstrukcij kot so težnostne pregrade. Tako naloga temelji na prikazu možnosti uporabe takega betona v gradnji dolgih vodnih nasipov.

Drugi del diplomske naloge pa je namenjen primerjavi zemeljskih in valjano betonskih nasipov med seboj. Za primer zemeljskega nasipa sem vzel nasip na levem bregu HE Blanca na Savi. Tako sem primerjavo izvedel glede na izračun stabilnosti nasipa proti zdrsu, glede na račun pronicanja skozi in pod nasipom ter glede na ekonomski vidik (ceno) obeh nasipov. Iz rezultatov sledeč, lahko izjavim, da so valjano betonski nasipi pri mojem primeru čisto primerljivi z zemeljskimi nasipi. Seveda pa lahko predvsem ekonomski rezultati precej nihajo, v odvisnosti od lokacije postavljenega nasipa (tako v škodo kot tudi korist valjano betonskega nasipa).

## **BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION**

UDC:

Author: Jure Šimic

Supervisor: prof. dr. Mitja Brilly

Co – supervisor: Andrej Kryžanowski, M. Sc. Civil Eng.

Title: Usage roller – compacted mass concrete for embankment

Notes:

Key words: water embankment, roller – compacted mass concrete, embankment stability, seepage control, embankment comparison, hydro power plant Blanca

### **Abstract**

The first part of the graduation thesis presents general properties of water embankments as well as characteristics such an embankment must have. It shows embankment types, which are usually made of earth or concrete. There is also a description of a new kind of concrete: roller – compacted mass concrete. The main advantage of this concrete is its reduced time in constructing, as the new layers are carried out in a very short time. It is mainly used for building mass constructions such as large dams. Thus, the main task of this thesis is to present the possibilities of using roller – compacted mass concrete in embankment constructions.

In the second part of the thesis there is a comparison between earth embankments and those made with roller – compacted mass concrete. The left bank of the hydro power plant Blanca on the river Sava was used as the earth embankment. The comparison included embankment slide stability, seepage and costs. Taking into account the results of my comparison, I can say that the embankments made of roller – compacted mass concrete are comparable to earth embankments. However, results, especially economic ones, may vary depending on the location of the embankment (whether in favour of roller-compacted mass concrete embankment or against it).

## **ZAHVALA**

Za pomoč, pri izdelavi diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju prof. dr. Mitji Brilly-ju, somentorju mag. Andreju Kryžanowskemu, g. Branetu Petriču iz HSE investa., inštitutu za materiale IRMA ter IBE inženiringu za strokovno pomoč.

Zahvalil bi se tudi svoji družini, dekletu ter študijskim kolegom za pomoč in podporo v času študija.

# VSEBINSKO KAZALO

## **0. UVOD**

## **1. NASIPI**

### **1.1. splošno**

### **1.2. oblikovne lastnosti nasipa**

### **1.3. preverjanje materialov pri gradnji nasipov**

1.3.1. kontroliranje temeljnih tal

1.3.2. potrebne kontrole pri nasipu

1.3.3. pronicanje

1.3.3.1. opis pronicanja

1.3.3.2. meritve vodoprepustnosti

1.3.3.3. pronicanje pri nasipih

### **1.4. vrste nasipov**

1.4.1. zemeljski nasipi

1.4.1.1. homogeni zemeljski nasipi

1.4.1.2. zonirani zemeljski nasipi

1.4.1.3. nasipi z neprepustnim ekranom

1.4.2. betonski nasipi

## **2. BETONI**

### **2.1. splošno o betonu**

### **2.2. valjani betoni**

2.2.1. predstavitev valjanih betonov

2.2.2. materiali

- 2.2.3. razmerja v betonski mešanici
- 2.2.4. lastnosti strjenih valjanih betonov
- 2.2.5. gradnja in uporaba valjanih betonov

### **3. PRIMER**

#### **3.1. splošno o primeru**

- 3.1.1. opis območje postavitve nasipa
- 3.1.2. opis temeljnih tal

#### **3.2. zemeljski nasip**

#### **3.3. valjano betonski nasip**

#### **3.4. primerjalni izračun stabilnosti**

#### **3.5. primerjalni izračun pronicanja**

#### **3.6. ekonomski primerjalni izračun**

### **4. ZAKLJUČEK**

### **5. PRILOGE**

#### **5.1. prikaz sestave temeljnih tal**

#### **5.2.**

### **6. LITERATURA**

## KAZALO SLIK

- Slika 1: Prikaz lokacij posameznih načrtovanih hidroelektrarn na Spodnji Savi
- Slika 2: Prikaz merilne glave statičnega penetracijskega testa
- Slika 3: Prikaz rezultata Proctorjevega preizkusa določevanja optimalne vlažnosti pri določeni energiji zgoščevanja
- Slika 4: Prikaz omejevanja pronicajoče vode pod nasipom pri vodoprepustni podlagi
- Slika 5: Prikaz primerjave začetka padanja vodnih tlakov pri neprepustni vodni preprogi in brez nje
- Slika 6: Prikaz tokovnic precejajočih se voda skozi homogen nasip z vodoravnim drenom
- Slika 7: Prikaz velikosti prečnega prereza nasipa v odvisnosti od položaja jedra
- Slika 8: Grafični prikaz nasipa z neprepustnim ekranom
- Slika 9.: Prikaz območja in reliefa kje je načrtovana HE Blanca
- Slika 10: Prikaz prečnega prereza zemeljskega nasipa
- Slika 11: Prikaz prečnega prereza za nasip narejen tako iz valjanega betona kot tudi zemljine
- Slika 12: Prikaz tokovnice za pronicajočo vodo skozi zemeljski nasip
- Slika 13: Prikaz tokovnice za pronicajočo vodo pod zemeljskim nasipom
- Slika 14: Prikaz tokovnice za pronicajočo vodo pod valjano betonskim nasipom

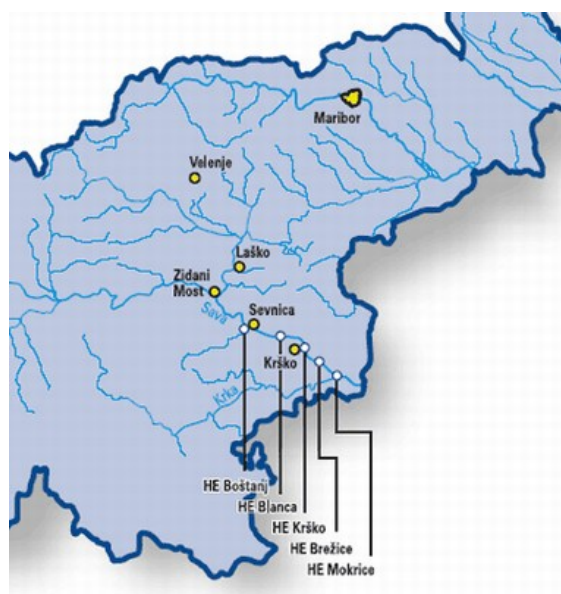


## KAZALO PREGLEDNIC

- Preglednica 1: Prikaz hitrosti seizmičnega valovanja v različnih snoveh pri geoseizmični metodi
- Preglednica 2: Prikaz specifične upornosti materiala za različne vrste zemljin pri geoelektrični metodi
- Preglednica 3; Prikaz koeficientov poroznosti, Darcyjevih koeficientov  $K$  ter koeficientov prepustnosti  $K_i$ , za različne vrste materialov
- Preglednica 4: V tabeli so prikazane karakteristike posameznih materialov, ki so vgrajeni v zemeljski nasip
- Preglednica 5: V tabeli so prikazane karakteristike posameznih materialov, ki so vgrajeni v valjano betonski nasip
- Preglednica 6: V tabeli so prikazane varnosti posameznih kritičnih drsin za zemeljski nasip
- Preglednica 7: V tabeli so prikazane varnosti posameznih kritičnih drsin za sestavljen valjano betonski in zemeljski nasip
- Preglednica 8: Tabela koeficientov vodoprepustnosti za posamezne materiale, ki se uporabijo v izračunu pronicanja vode skozi in pod nasipom
- Preglednica 9: Tabelarični prikaz vseh uporabljenih vrednosti v računu pronicanja
- Preglednica 10: Tabelarični prikaz pretokov skozi ali pod nasipom za vse 3 primere.
- Preglednica 11: Tabela prikazuje potrebni obseg del za gradnjo zemeljskega nasipa
- Preglednica 12: Tabela prikazuje celotni potrebni obseg del za gradnjo valjano betonskega nasipa

## UVOD

Slovenija je trenutno ena najhitreje razvijajočih se držav v tem delu Evrope. Ker pa je za vsak razvoj potrebna tudi energija, se to občuti tudi pri porastu potreb po električni energiji. Tako je bila porast električne energije v letu 2005 3,7 %, od leta 1995 pa do 2005 pa se je poraba povečala kar za 33,6 %. Zaradi vse večjega povpraševanja po električni energiji so se začeli izvajati razni projekti, s katerimi bi zadovoljili povpraševanju. Med takimi projekti, je tudi projekt izgradnje verige hidroelektrarn na Spodnji Savi. Ta projekt predvideva gradnjo 5 hidroelektrarn od Zidanega Mosta pa vse do meje s Hrvaško: HE Boštanj, HE Blanca, HE Krško, HE Brežice ter HE Mokrice. Prikaz lokacij posameznih hidroelektrarn je na sliki 1.



Slika 1: Prikaz lokacij posameznih načrtovanih hidroelektrarn na Spodnji Savi (vir: internetna stran HSE).

Energija, ki se jo pridobiva iz hidroelektrarn, je ena izmed najčistejših energij, saj le pretvarja rečno energijo v električno in s tem minimalno onesnažuje okolje (povečanje temperature vode). Priznati pa je treba, da je izgradnja takega objekta velik poseg v prostor, še posebej, če želimo zajezi reko ter s tem dvigniti nivo vode. Ker pa reka ne teče samo v tolmunih, nam lahko dvig vode zalije celotna območja, zato se pogostokrat poslužujemo vodnih nasipov. To so nasipi, ki zadržujejo vodo na nekem območju ter s tem ščitijo zaledne površine pred poplavitvijo. V praksi se v Sloveniji najbolj uporabljajo zemeljski nasipi, ki so razmeroma enostavni ter cenejši, saj se pogosto vgrajuje kar lokalni material, ki je bil izkopan pri pripravi

terena. Nasipi pa niso samo zemeljski, ampak so lahko narejeni tudi iz drugih materialov, kot so betoni. Klasični način gradnje betonskih nasipov tu ni primeren, saj je zamuden in drag, se je pa zato razvila nova metoda vgradnje, ki pa zahteva prilagojene betone – valjane betone.

Cilj te diplomske naloge je primerjava zemeljskih nasipov z nasipi narejenimi iz valjanega betona. Primerjava bo narejena za kritično varnost nasipa proti zdrsni, za pronicanje vode skozi nasip, na koncu pa se bo izvedla ter primerjala še ekonomska ocena obeh nasipov. Primerjava obeh nasipov se bo izvedla na konkretnem primeru. Podatke za nasipe se bo vzelo za HE Blanca, ki je trenutno še v gradnji. Ta nasip je zemeljski, kasneje pa bom na istem območju ta nasip zamenjal z valjano betonskim. Od celotnega nasipa si bom izbral le en prečni prerez ter ju bom na tem mestu primerjal.

Poleg primerjave nasipov sem v nalogi predstavil nekaj splošnega o nasipih, o materialih, ki so v nasipih ali temeljnih tleh, in pa tudi sam valjani beton. S tem želim prikazati, da se pri gradnji nasipov mora uporabljati znanja tudi iz drugih ved in ne samo gradbeniške.

# 1. NASIPI

## 1.1. SPLOŠNO

“Brez vode ni življenja.” - starodavni orientalski izrek.

Voda je poleg kisika najpomembnejša snov, ki omogoča življenje na zemlji. Brez nje, se življenje nikoli ne bi moralo razviti oziroma preživeti. Tega so se ljudje zavedali že v pradavnini in so se naseljevali v bližini vode, še posebej ob tekočih vodah. Tekoče vode pa so nepredvidljive, saj se njihova gladina neprestano spreminja (niha) v odvisnosti od letnega časa in količine padavin. Pri takem nihanju vodostajev rek, se lahko zgodi, da je količina vode v strugi prevelika ter se začne razlivati na poplavna območja. Ker pa je ta območja poselil človek, pa mu poplave povzročajo škodo. To je bil tudi razlog, da je človek začel izvajati protipoplavne ukrepe. Eden izmed takih ukrepov je tudi gradnja nasipov, ki preprečuje razlitje vode po poplavnih območjih. Tako predstavljajo nasipi najstarejše objekte za zaščito pred poplavami, ter so osnovni objekti pasivnega načina obrambe pred njimi (VODNE UJME, Brilly).

Po objavljeni delitvi hidrotehničnih objektov (HIDROTEHNIKA, Steinman, Banovec) spadajo vodni nasipi med hidrotehnične objekte, zaščitne vodogradnje ter med objekte za zaščito pred visokimi vodami. Glede na območja uporabe, pa spadajo vodni nasipi med objekte za regulacijo rek in hudournikov, pa tudi med objekte, ki se jih uporablja za izrabo vodnih moči. To pomeni, da sedaj vodni nasipi niso le protipoplavni ukrep ampak so tudi objekti za povečanje akumulacij hidroelektraren ter za povečanje razpoložljivega hidravličnega padca pri proizvodnji električne energije.

## 1.2. OBLIKOVNE LASTNOSTI NASIPA

Vsi vodni nasipi imajo podobno zgradbo. Tako je vsak nasip sestavljen iz treh delov:

- krone nasipa (vrhnjega dela nasipa)
- telesa nasipa, ki ima zračno in vodno stran
- podlage (osnove) nasipa, kjer je nasip temeljen

Taka sestava nasipa je zelo podobna sestavi zemeljskih pregrad, vendar pa se medsebojno razlikujeta. Najbolj očitna razlika je v dolžini, saj so nasipi veliko daljši od pregrad (v dolžino dosejajo več deset kilometrov), zato zahtevajo bolj ekonomično konstrukcijo, ki ni tako varna kot konstrukcija pregrade. Razlog za to je tudi namen nasipov, saj je kot protipoplavni ukrep le občasno pod vodo ter ni ves čas v uporabi.

Velikost vodnih nasipov je v največji meri odvisna od velikosti pretoka pri poplavah s tisto povratno dobo, na katero mi dimenzioniramo nasip. Tako na določenem prerezu struge izračunamo potrebno višino nasipa, poleg katere dodamo še določeno varnostno višino. To varnostno zvišanje mora biti dovolj veliko, da prepreči prelivanje vode čez nasip pri valovanju vode (preprečuje morebitno erozijo zemeljskega nasipa), v njem pa je tudi upoštevano netočnost izračunov, ter posedanje telesa in osnove nasipa. Ta varnostna višina je v večini držav predpisana v standardu ali internih predpisih in je praviloma 1 meter, na večjih plovnih vodotokih pa je lahko tudi 2 metra (VODNE UJME, Brilly).

Širina telesa nasipa lahko zelo različna, v odvisnosti od vrste nasipa ter od materiala, ki je v nasipu vgrajen., pa tudi od potrebne širine krone nasipa. Le ta je odvisna od načrta zaščite pred poplavami in od drugih namembnosti nasipa. Tako mora biti krona nasipa dovolj široka, da ob poplavi omogoča transport ter nemoteno servisiranje telesa nasipa, da omogoča normalni cestni ali železniški promet, če je tako določeno, ter da po potrebi omogoča tudi dodatno zvišanje nasipa.

Nasipi so objekti, katerih uporabnost ne zastara, ampak se s časom samo še krepi. Razlog za to je vedno večje poseganje človeka v vodni prostor, kar povzroči večje vplive dolvodno od posega, s tem pa tudi manjšo protipoplavno zaščito. Za ohranitev enake protipoplavne

varnosti, moramo nasipe vsake toliko časa rekonstruirati in zvišati. Pri tem moramo paziti, da so lastnosti novo vgrajenega materiala podobne staremu.

## 1.3. PREVERJANJE MATERIALOV PRI GRADNJI NASIPOV

Namen vodnih nasipov je zaščita pred poplavami ter povečanje nivoja vode v akumulacijskih jezerih. Ti ukrepi naj bi bili dolgotrajni, kar pomeni, da se s časom kvaliteta nasipa ter tudi njena funkcionalnost ne sme bistveno poslabšati. Za doseg te ciljev, moramo v nasipe vgrajevati dovolj kvalitetne materiale, temeljna tla pa morajo biti dovolj nosilna. Vsak vgrajeni material ima različen namen v nasipu, zato je kontrola kvalitete pri različnih materialih različna.

### 1.3.1. KONTOLIRANJE TEMELJNIH TAL

Vodni nasipi se običajno gradijo na aluvialnih nanosih reke. Ker je tak material lahko zelo različen so lahko tudi njene karakteristike precej raznolike. Zato je kontrola teh materialov zelo pomembna, da preprečimo morebitno porušitev temeljnih tal pod obtežbo nasipa ali pa se izognemo velikim posedkom. Pri raziskavi temeljnih tal nas najbolj zanimajo velikosti posedkov ter vodoprepustnost temeljnih tal.

Pri preučevanju temeljnih tal nam pogosto pridejo prav znanja iz stratigrafskih odnosov, litologije ter zgodovine nastanka področja v okolici gradnje. Tako lahko ugotovimo, kakšne geološke dejavnosti so se na tem mestu dogajale ter na kakšne materiale lahko računamo. Tudi samo rastlinstvo ter živalstvo na območju bodočega nasipa nam lahko pove, kakšen material se nahaja na tem območju.

V začetni fazi načrtovanja je potrebno veliko pozornosti nameniti preučevanju aktivnosti tektonskih struktur (zgodovini seizmičnega dogajanja), s pomočjo geoloških kart kot tudi sam izgled pokrajine. Poiskati je potrebno vse možne nestabilnosti zaradi vplivov potresov, ter se jim v nadaljevanju izogniti, če je le to mogoče.

Za določevanje vrste temeljnih tal v globinah se uporablja več metod, ki jih v splošnem delimo na posredne in neposredne metode. Tako med posredne metode določevanja temeljnih tal spadajo geoseizmična metoda, geoelektrična metoda ter penetracijski test, med neposredne pa spadata odvzemanje vzorcev z vrtanjem vrtin ter izkop materiala. Pri neposrednih metodah dobimo še vzorce za nadaljnje raziskave, katere se pri indirektnih preiskavah ne dobi.

Običajno se za določitev vrste zemljine v temeljnih tleh ne uporablja samo ena metoda ampak se te metode med seboj prepletajo in dopolnjujejo. Tako se lahko na primer uporabi metoda z

vrtanjem, kjer dobimo tudi vzorce za nadaljne preiskave, nato pa se prazni prostor vrtine uporabi še za eno izmed indirektnih metod, za preverjanje materialov med posameznimi vrtinami.

#### **- vrtanje:**

Pri raziskovalni metodi z vrtanjem v temeljna tal za nasipe je potrebno tla preiskati vse do globine, ki pomembno prispeva k posedkom. To pomeni do globine, pod katero bi dobili manj kot 10% celotnega pričakovanega posedka ( da imamo zajete vse stisljive sloje, ter še nekaj metrov trdne podlage ). Količina vrtin je odvisna od dimenzij nasipa, so pa vrtine običajno med seboj oddaljene med 100 in 200 metrov. Izvrtani material je lahko v porušenem ali intaktnem stanju, uporabi pa se ga, poleg določitve vrste materiala, še za določitev ostalih zemeljskih karakteristik, kot so: tlačna trdnost posameznega sloja, strižna trdnost, vodotesnost, vlažnost, zrnavost, lezne meje,.... Ta metoda je zelo priporočljiva, saj dobimo direktne in lahko določljive podatke o kakovosti temeljnih tal, dobimo pa tudi vzorce za nadaljno obdelavo. Problem te metode je v točkovnem odvzemu, saj morebitnih sprememb materiala med vrtinami ne zajamemo. Tako dobimo pri tej metodi točkovno zelo točne podatke o zemljini, med vrtinami pa ne vemo ničesar in lahko samo predpostavljamo.

#### **- izkop materiala:**

Ta metoda se ponavadi izvaja kot dopolnila metoda ostalim. Tu se omogoči neposreden pregled materiala v celi njegovi debelini. Takšna metoda je razmeroma poceni, je pa zato toliko dolgotrajnejša. Možnost odvzema dodatnih vzorcev za nadaljnjo obdelavo je na pretek, veliko pa se da narediti takoj po odvzemu na terenu.

#### **- geoseizmična metoda:**

Vsak material v zemljini ima svoje karakteristike, zato se tudi različno vedejo. Pri geoseizmični metodi uporabimo to lastnost (različno obnašanje), za določitev vrste in debeline materialov v temeljnih tleh. Vir valovanja postavimo v neko točko pod zemljo, okoli nje pa na različne konce ter različne globine postavimo sprejemnike. Kot vir valovanja uporabimo udarce ali manjšo eksplozijo, ki sprožijo seizmično valovanje. Sprejemniki v okolici merijo čas valovanja, ki ga lahko kasneje preračunamo v hitrost. Te hitrosti niso enake, ker imajo seizmični valovi v različnih zemljinah različne hitrosti, nanje pa vplivajo tudi različne debeline teh plasti ter lomi valov med prehajanjem iz enega materiala v drugega (enako kot pri lomu svetlobe). Tako je hitrost širjenja valov odvisna od elastičnega modula



zemljine (E) ter od Poissonovega količnika ( $\nu$ ). Pri takem prostorskem seizmičnem valovanju imamo dve vrsti valovanj: vzdolžno ali longitudinalno valovanje (P valovi) ter prečno (transverzalno ali strižno) valovanje, ki jih tudi imenujemo S valovi. Običajno razmerje med tema dvema vrstama hitrosti valovanja je med 1,5 ter 4 njune vrednosti pa nam povedo za kakšen material gre in kakšne so njene karakteristike. V preglednici 1 so podane posamezne vrste zemljin ter njihove pripadajoče hitrosti valovanja.

Preglednica 1: Prikaz hitrosti seizmičnega valovanja v različnih snoveh pri geoseizmični metodi (vir: Logar; skripta ZEMELJSKA DELA)

vrsta snovi	hitrosti valovanja	
	$v_L$ [m/s] - P valovi	$v_T$ [m/s] - S valovi
zrak	330	-
voda	1400-1600	-
pesek, prod	300-900	100-500
glina	400-2000	100-600
peščenjak	2400-4300	900-2100
apnenec, dolomit	3500-6500	1800-3800
granit	4600-7000	2500-4000

S hitrostmi, ki smo jih dobili pri meritvah, lahko sedaj z enačbami 1.) oz. 2.) izračunamo glavne karakteristike zemljin: elastični modul zemljine (E), Poissonov količnik ( $\nu$ ), strižni modul (G) ter kompresijski modul (K).

Enačbi 1)

$$v_L = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}} \quad \dots \quad \text{vzdolžno valovanje}$$

$$v_T = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\nu)}} \quad \dots \quad \text{prečno valovanje}$$

Po urejanju enačb 1 ter po nadaljnem izračunu dobimo:

Enačbe 2)

$$\nu = \frac{1 - 0.5 \left( \frac{v_L}{v_S} \right)^2}{1 - \left( \frac{v_L}{v_S} \right)^2}$$

$$E = 2 \rho v_T^2 (1 + \nu)$$

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} = \rho v_T^2$$

$$K = \frac{E}{3(1 - 2\nu)} = \frac{2 \rho v_T^2 (1 + \nu)}{3(1 - 2\nu)}$$

Tako smo z meritvami hitrosti potovanja seizmičnega valovanja določili vrsto zemljine, lahko pa smo tudi izračunali njihove karakteristike.

Uporaba geoseizmične metode pa je omejena. Tako metoda ne deluje najbolje, če imamo raztresen material z vrednostjo elastičnega modula  $E < 2000 \text{ MN/m}^2$  ter Poissonovim količnikom  $\nu = 0,5$ , saj so to parametri vode. Problem pri uporabi te metode pa nastane tudi takrat, ko so zemeljske plasti v globinah rahlejšje oz zgornjih (Ervin Nonveiller; NASUTE BRANE). Ta metoda ni toliko natančna kot metodi vrtnja in izkopa, dobimo pa rezultate celotnega območja in ne le točkovnih.

#### - geoelektrična metoda:

Geoelektrična metoda temelji na meritvah prevodnosti električnega toka. Vsaka snov ima točno določeno prevodnost, zato lahko pri poznani prevodnosti določimo vrsto snovi ter njeno debelino. Tako lahko s poznanim električnim tokom ter napetostjo izračunamo upornost s pomočjo Ohmovega zakona:

Enačba 3) **Ohmov zakon**

$$U = I * R$$

U – napetost (razlika električnega potenciala) [V]

I – jakost električnega toka [A]

R – upor [ $\Omega$ ]

Ker pa mi želimo upornost materiala, iščemo specifični upor  $\rho$  [ $\Omega\text{m}$ ].

Enačba 4)

$$\rho = \kappa * U / I$$

$\kappa$  – geometrijski parameter odvisen od prereza vodnika

V preglednici 2 so prikazane nekatere zemljine s svojimi vrednostmi specifične upornosti  $\rho$ .

Preglednica 2: Prikaz specifične upornosti materiala za različne vrste zemljin pri geoelektrični metodi (vir: Logar; skripta ZEMELJSKA DELA)

hribina / zemljina	specifična upornost $\rho$ ( $\Omega\text{ m}$ )
glina	1 – 100
pesek, prod	$10 - 10^5$
peščenjak	$10 - 10^4$
lapor	3 - 70
glinasti skrilavec	$30 - 10^3$
apnenec, dolomit	$10^2 - 10^5$
granit	$300 - 10^6$
kremen	$10^{10} - 10^{14}$

Pri dobljenih vrednostih specifične upornosti pa moramo pravilno tudi interpretirati rezultate. Tako se nam dogaja, da imata gost in čvrst ter mehak in moker material oba visoke vrednosti specifične upornosti. Zato je pomembno, da poznamo vse osnovne geotehnične odnose med zemljinami, da poznamo potek podzemne vode ter karakteristične specifične upore posameznih materialov.

Meritve upornosti materiala se izvajajo na površini, zato nam ni potrebno kopati v zemljino. Tako postavimo dve elektrodi z izvorom električnega toka na površino zemljine (tokovni dipol), v bližini (znotraj ali izven kroga ki ga omejujejo obe prvi elektrodi, izvir električnega toka ter zemljina) pa postavimo še dve merski elektrodi (potencialni dipol), na katerih odčitavamo meritve. S to metodo sežemo do  $\frac{1}{4}$  razmaka med tokovnima dipoloma, odvisno pa je od frekvence toka, odpornosti tal ter od dolžine tokovnega dipola (Logar; skripta ZEMELJSKA DELA).

Ta metoda torej pogosto ne zajema vseh plasti zemljin do temeljnih tal (odvisno od vrste zemljine).

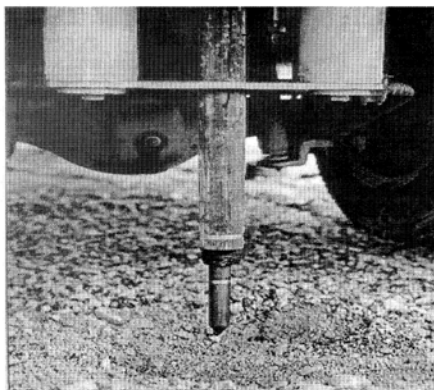
#### - penertacijski test:

Namen penetracijskega testa je tako kot pri drugih metodah klasifikacija zemljin. Določa slojevitost zemljine pa tudi trdnostne in deformabilnostne karakteristike, s pomočjo

empiričnih korelacij pa se da določiti tudi prepustnost temeljnih tal. Glede na to kaj merimo, ločimo tri penetracijske teste: standardni, statični in dinamični.

Standardni penetracijski test se uporablja predvsem za določevanje trdnostnih in deformabilnostnih karakteristik nekoherentnih zemljin. Test temelji na zabijanju konusne glave drobovja s spuščanjem 63,5 kg uteži. Kot rezultat preiskave je število udarcev z utežjo, da se drobovje penetrira 30cm oziroma izmerimo globino penetracije pri 50 udarcih. Ker test temelji le na empiričnih korelacijah, moramo rezultate še korigirati zaradi: necelovitega prenosa energije v drobovje, dolžine drobovja, efektivnega tlaka, predhodnega premera vrtine, nivoja talne vode ter uporabe nestalnega konusa.

Statični penetracijski test temelji na meritvah odpornosti zemljin proti vtiskovanju merilne glave. Tako merilno sondo postavimo na površje temeljnih tal (ali na dno vrtine, če je površinski sloj pretrd), ter jo s konstantno hitrostjo 2 cm/s vtiskujemo v temeljna tla. Elektronski podatki iz merilne naprave nam povedo kolikšen je odpor pod samo konico ( $q_c$ ) ter na plašču ( $f_s$ ), meri pa tudi velikost pornih tlakov. Razmerje med  $f_s$  in  $q_c$  nam povesta vrsto zemljin v temeljnih tleh. Prikaz merilne glave je na sliki 2.



Slika 2: Prikaz merilne glave statičnega penetracijskega testa (vir: Logar; skripta ZEMELJSKA DELA)

Ta preiskava je primerna za koherentne in nekoherentne zemljine, pri pogoju, da so trdne plasti v nižinah, ki nas ne zanimajo več. Ker pa nam ta test ne da neposrednih mehanskih parametrov zemljin, je primerna kot dopolnilna preiskava, katere prednost je zvezen profil merjenih količin.

Dinamični penetracijski preizkus se uporablja za določevanje trdnostnih in deformabilnostnih karakteristik predvsem nekoherentnih zemljin. Razlika med statičnim in dinamičnim testom je v načinu vtiskovanja merilne glave v temeljna tla. Pri statičnem testu smo jo vtiskovali enakomerno ter merili upor na glavi, pri dinamičnem testu pa konusno glavo zabijamo v

temeljna tla z udarjanjem. Kolikšno število udarcev je bilo potrebnih, da se je konusna glava premaknila za 100 mm, nam pove za kakšno zemljinino v temeljnih tleh gre. Z takšno meritvijo odpora zemljin lahko kvalitetno ocenimo njen profil, če le znamo pravilno interpretirati rezultate. Za pravilno interpretacijo pa moramo rezultate korigirati zaradi nepopolnega prenosa energije v drogova glave, porabe energije za trenje v drogovju in vzdolž palic, prisotnosti talne vode (drobnozrnati peski imajo ob prisotnosti vode večjo odpornost proti penetraciji, grobozrnati pa manjšo) ter možne neuporabe standardnega konusa (vir: Logar; skripta ZEMELJSKA DELA).

Poleg vseh teh večjih preizkusov poznamo še več manjših, kjer določujemo samo po eno karakteristiko temeljnih tal in se jih ponavadi izvaja v laboratorijih. Tako v laboratorijih lahko določamo osnovne fizikalne značilnosti (krivulja zrnivosti, klasifikacija zemljin, njihova teža), preverjamo deformabilnost zemljin ( $K, G, E, \nu, E_{oed}$ ), preiskave propustnosti ( $k$ ) ter preiskave trdnosti ( $c', \phi', c_u$ ) (vir: Logar; skripta ZEMELJSKA DELA; Majes; skripta MEHANIKA TAL). Vse to so parametri, ki nam povedo, kako se bodo temeljna tla odzvala na obremenitev nasipa, ali bodo sploh prenesla tako obremenitev ter povedo za koliko in v kolikšnem času se bodo izvršili posedki pod nasipom.

### 1.3.2. POTREBNE KONTROLE PRI NASIPU

Pri izbiri temeljnih tal, smo lahko izbrali le lokacijo, vrste materialov v tleh pa ne. Pri izbiri nasipov imamo več prostih rok. Tako si lahko izberemo obliko nasipa, da le ta najbolj ustreza njenemu namenu, izbiramo katere materiale bomo vgradili v nasip ter njihovo količino. Torej lahko za nasipe uporabljamo le najboljše materiale. V praksi pa ni tako, saj se zaradi ekonomičnih vzrokov čim več uporablja material iz okolice. Težimo k čim cenejši izgradnji nasipa, vendar pa mora imeti svojo funkcionalnost. Da pa jo lahko doseže, morajo vgrajeni materiali imeti zadovoljive karakteristike.

Najpomembnejša parametra, za račun same stabilnosti nasipa, sta  $c'$  ter  $\phi'$ . To sta parametra strižne trdnosti materiala, ki je definirana kot največja upornost strižnim napetostim, ki ga material lahko mobilizira. Ta dva parametra pa predstavljata:

- kohezija  $c$  nastane zaradi električnih sil, ki vežejo glinene delce
- kot strižne odpornosti  $\phi$ , ki nastane zaradi trenjskega upora in medsebojnega zagozdenja delcev

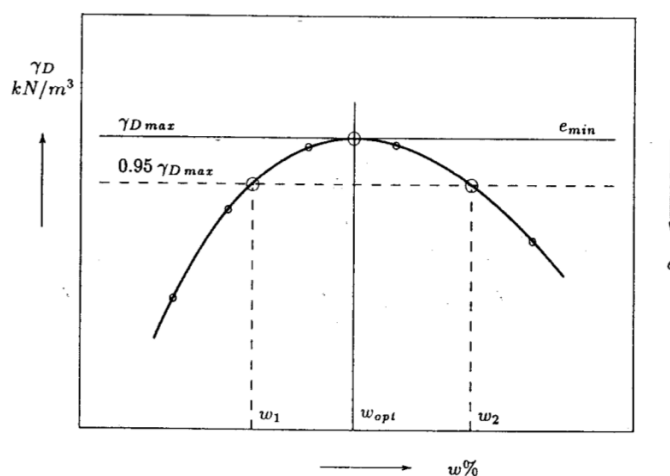
S tema parametroma, lahko s pomočjo Mohr – Coulombovim zakonom, izračunamo kolikšna je strižna odpornost materiala. Enačba se glasi:

Enačba 5) **Mohr – Coulombov zakon**

$$\tau = c' + \sigma' * \tan \varphi'$$

Ta enačba je zelo pomembna pri računu stabilnosti nasipa, saj nam pove kolikšni morajo biti nakloni brežin, pove pa nam tudi ali je material dovolj dober za vgradnjo. S pomočjo triosnega aparata lahko izračunamo parametra  $c$  in  $\varphi$  (parametra totalnih napetosti), nato pa jih pretvorimo v  $c'$  ter  $\varphi'$ , ki pa sta parametra efektivnih napetosti, kateri nas tudi zanimajo (Majes; skripta MEHANIKA TAL).

Pri gradnji nasipa uporabljamo tudi Proctorjev preizkus, s katerim določujemo optimalno vlažnost zemljine pri določeni energiji zgoščevanja. Namen zgoščevanja je dosega čim večje strižne trdnosti, zmanjšanje poroznosti in s tem tudi prepustnosti ter doseči manjšo deformabilnost ter posedke. Proctorjev preizkus se izvaja na najmanj 5 vzorcih, pri različni vlažnosti. Vzorce nato, s pomočjo bata teže 25 N, 25 x nabijemo iz višine 30,5 cm, nato pa izmerimo gostoto vzorca. Rezultate prikažemo na diagramu gostota - vlažnost, ki tvori krivuljo. Pri maksimalni gostoti odčitamo optimalno vlažnost  $w$ . Pri tej vlažnosti dobimo pri določeni energiji zgoščevanja največjo zgoščenost. Glej sliko 3. Ta preizkus se uporablja za zgoščevanje temeljnih tal, vendar pa je bol pogost pri nasipih, saj so temeljna tla že naravno konsolidirana. V praksi nam je dovoljeno, da dosežemo vsaj 92 do 98 % maksimalne suhe prostorninske teže (imamo lahko odstopanja od optimalne vlažnosti).



Slika 3: Prikaz rezultata Proctorjevega preizkusa določevanja optimalne vlažnosti pri določeni energiji zgoščevanja (vir: Logar; skripta ZEMELJSKA DELA).

Omejevanje deformabilnosti in posledično tudi posedkov je nujno za hitro izgradnjo nasipov ter za njihovo pravilno delovanje. Tako se lahko pojavijo prečne razpoke, ki so posledica neenakomernih posedkov različnih materialov v nasipu ali temeljnih tleh, do pojavov vzdolžnih razpok zaradi različno komprimiranega materiala ter do pojav razpok v jedru nasipa zaradi razlik v stisljivosti jedra nasipa in njenega nosilnega dela.

Med najpomembnejše preizkuse pri nasipih pa sodi preizkus vodonepropustnosti. Ta je zajet v naslednjem poglavju (1.3.3.).

### 1.3.3. PRONICANJE

Pronicanje vode je proces, kjer voda prehaja skozi material. Tako poznamo horizontalno in vertikalno pronicanje. Najpogostejše je vertikalno, saj velike količine padavinske vode pronicajo v zemljino vse do vodonosnega sloja. Tako s pomočjo gravitacijske sile nastaja podtalna voda (talna voda + podtalnica). Poznamo pa tudi horizontalno pronicanje, kjer voda pronica zaradi sprememb vodnega tlaka. Tako se lahko reka pri nizkih vodostajih napaja iz podtalnice, saj ima takrat podtalnica višji nivo vode kot reka (višji vodni tlak). Ker se želijo tlaki medsebojno izenačiti, se voda začne pomikati iz območja z višjim tlakom v območje z nižjim (prehajanje vode iz podtalnice v reko). Ko pa je rečni vodostaj višji od vodostaja podtalnice, pa se proces obrne ter se podtalnica napaja z rečno vodo.

#### 1.3.3.1. OPIS PRONICANJA

Količina pronicajoče vode je odvisna od prepustnosti. »Prepustnost je sposobnost poroznega prostora, da prepušča fluide.« (vir; Brilly; PODZEMNE VODE). Poroznost nekega vzorca pa se določa glede na razmerje prostornin praznin v vzorcu proti prostornini trdnega materiala. Večje kot je to razmerje, bolj je naš vzorec porozen ter prepusten. Poroznost se pogosto opisuje z Darcyjevim zakonom.

### Enačba 6) **Darcyjev zakon**

$$Q = K * A * \Delta h / l$$

kjer je:

Q - pretok

K - Darcyjev koeficient filtracije

A - površina vzorca

$\Delta h$  - razlika v tlaku vode

l - dolžina vzorca

Poznamo tudi Darcyjevo hitrost.

### Enačba 7) **Darcyjeva hitrost**

$$v = Q / A = K * \Delta h / l$$

Darcyjev koeficient filtracije pa dobimo:

### Enačba 8) **Darcyjev koeficient filtracije**

$$K = v / i \quad \text{pri čemer je} \quad i = \Delta h / l$$

i - gradient ali padec tlaka

Enačba, ki povezuje poroznost in prepustnost pa se glasi:

### Enačba 9) **prepustnost**

$$K_i = K * \mu / (\rho * g)$$

kjer so:

$K_i$  - prepustnost

$\mu$  - dinamična viskoznost

$\rho$  - gostota fluida

g - gravitacijski pospešek ( $g = 9,806 \text{ m/s}^2$ )

Če pa namesto dinamične viskoznosti pišemo kinematično ( $v = \mu / \rho$ ) ter izrazimo Darcyjev koeficient filtracije, dobimo:



#### Enačba 10) **Darcyjev koeficient filtracije**

$$K = K_i \cdot g / v$$

S pomočjo te enačbe lahko za različne fluide določimo Darcyjev koeficient filtracije (tabela; Brilly; PODZEMNE VODE). Darcyjev zakon pa ne velja povsod. Njegova veljavnost je omejena z Reynoldsovim številom ter velja v mejah laminarnega toka. Običajno je temu pogoju izpolnjeno, saj voda pronica mirno in počasi.

Kolikšna je poroznost, prepustnost ter pronicanje nekega materiala, je v veliki meri odvisno od zrnastne sestave materiala. Določimo jo s pomočjo krivulje zrnastosti ali granulometrične krivulje, ki jo dobimo s sejanjem vzorca. Tako dobimo za Darcyjev koeficient zrnastosti enačbo, ki zajema tudi zrnastost materiala.

#### Enačba 11) **osnovna oblika**

$$K = \frac{g}{v} \cdot C \cdot f(n) \cdot d_e^2$$

kjer so:

C - brezdimenzijski koeficient;

f(n) - funkcija poroznosti vzorca in

d<sub>e</sub> - efektivni premer zrna (ponavadi je to d<sub>10</sub>).

Različni avtorji so to enačbo malce preuredili na osnovi njihovih eksperimentalnih analiz. Nastalo je več različnih enačb, ki so podane v knjigi: Brilly; PODZEMNE VODE. Vse te enačbe se uporabljajo le takrat, kadar ni na voljo rezultatov laboratorijsko izmerjenih koeficientov filtracije (vir; Brilly; PODZEMNE VODE).

Ker imajo materiali različne vrednosti koeficientov, so le ti podani v preglednici za nekatere, pogosteje uporabljene materiale.

Preglednica 3; Prikaz koeficientov poroznosti, Darcyjevih koeficientov K ter koeficientov prepustnosti Ki, za različne vrste materialov (vir; Brilly; PODZEMNE VODE).

Vrsta materiala	Poroznost	Darcyjev koef. K [m/s]	Prepustnost Ki [m <sup>2</sup> ]
gline	0,40-0,60	$10^{-12}$ - $10^{-8}$	$10^{-19}$ - $10^{-15}$
melji	0,35-0,50	$10^{-9}$ - $10^{-5}$	$10^{-16}$ - $10^{-12}$
droben pesek	0,20-0,45	$10^{-7}$ - $10^{-2}$	$10^{-14}$ - $10^{-9}$
gramoz	0,15-0,35	$10^{-3}$ - $10^0$	$10^{-10}$ - $10^{-7}$
prepereli skrilavci	0,30-0,50	$10^{-9}$ - $10^{-5}$	$10^{-16}$ - $10^{-12}$
kompaktni skrilavci	0,01-0,10	$10^{-13}$ - $10^{-9}$	$10^{-20}$ - $10^{-16}$
peščenjaki	0,05-0,35	$10^{-10}$ - $10^{-7}$	$10^{-17}$ - $10^{-14}$
apnenci	0,001-0,70	$10^{-9}$ - $10^2$	$10^{-16}$ - $10^{-5}$
kamnita sol	0,001-0,005	$10^{-15}$ - $10^{-13}$	$10^{-22}$ - $10^{-20}$
vulkanske nerazpokane kamenine	0,0001-0,01	$10^{-14}$ - $10^{-10}$	$10^{-21}$ - $10^{-17}$
vulkanske razpokane kamenine	0,01-0,10	$10^{-10}$ - $10^{-6}$	$10^{-17}$ - $10^{-13}$
Bazalt	0,01-0,25	$10^{-11}$ - $10^{-5}$	

### 1.3.3.2. MERITVE VODOPREPUSTNOSTI

Enačba 11 se nanaša na račun Darcyjevega koeficienta s pomočjo zrnivosti zemljine. Ta enačba nam pride v pomoč, kadar nimamo laboratorijskih ali terenskih meritev. Med te meritve sodijo: nalivalni preizkus, črpalni test ter packer test.

#### - nalivalni preizkus:

Namen nalivalnega preizkusa je določitev vodoprepustnosti srednje do slabo prepustnih zemljin. Tako najprej v zemljino izvrtamo vrtno, v katero postavimo perforirano cev in jo okoli zasujemo s peskom. V cev nalijemo vodo in jo z avtomatskim nalivanjem ves čas držimo na enaki višini. Ves čas preizkusa beležimo spremembe višine podtalnice. Meritve

narišemo na graf v logaritmičnem merilu, ter odčitamo vrednost pri času, ki ustreza 37% začetne spremembe zaradi nalivanja. S pomočjo enačbe 13. lahko izračunamo Darcyjev koeficient.

Enačba 12) **enačba prepustnosti za nalivalni preizkus**

$$k = r^2 * \ln ( L / R ) / ( 2 * L * T_o )$$

kjer je;

k - prepustnost

r - radij vodnjaka (cevi)

R - radij vodnjaka z nasutjem peska

L - višina nasutja peska

T<sub>o</sub> – čas potreben, da nivo vode doseže 37% začetne spremembe (T)

Na izračun koeficienta vodoprepustnosti vplivajo: nivo podtalnice (najbolje je če je ni), tip vodonosnika, vrsta cevi, število vodnjakov. Ta test je poceni, če se izvajajo meritve na majhnem območju (ena vrtina), je pa zato toliko manj natančen.

#### **- packerjev test:**

Ta test se uporablja za meritve vodoprepustnosti v hribinah oziroma za določitev pronicanja vode skozi hribino v jezu. Tako vrtino na nekem območju zatesnimo s pnevmatičnema gumijastima packerjema (razdalja med packerjema mora biti vsaj 5\*debeline vrtine), ter nato vodo pod pritiskom vtiskujemo v stene vrtine. Merimo tlak ob stene ter pretoke, vse toliko, dokler ni zadnjih 5 odčitkov enakih (odčitke beležimo vsakih 5 minut). S pomočjo rezultatov lahko izračunamo prepustnostni koeficient:

Enačba 13) **enačba prepustnosti za packerjev test**

$$k = Q / (c_u * r * H)$$

kjer je:

Q - pretok

c<sub>u</sub> - koeficient prevodnosti nezasičene hribine, podanim grafično v odvisnosti od razmerja med dolžino testnega območja in polmerom vrtine

r - polmer vrtine

H - efektivna globina testa

(vir: Logar; skripta ZEMELJSKA DELA).

Vsi ti testi so možni za določevanje vodoprepustnosti, vendar se jih običajno ne poslužujemo zaradi težavnih, dolgotrajnih in dragih priprav (še največkrat se uporabi črpalni test, saj se ponavadi v globinah nahaja voda). Najpogosteje na terenu odvezujemo vzorce ter jih laboratorijsko analiziramo. Taka metoda je ekonomična in enostavna, dobimo pa le točkovne rezultate, vendar je za nas to dovolj.

### 1.3.3.3. PRONICANJE PRI NASIPIH

Vodne nasipe se gradi zaradi varovanja nekega območja pred poplavami ali za povečanje velikosti akumulacijskega jezera. Z njimi zadržujemo vodo na njenem, za to določenem območju, zato si ne želimo pronicajoče vode na zaledni strani. Zato, poleg stabilnosti nasipa, tudi pronicanju posvečamo največ pozornosti.

Pri nasipih nam ponavadi največ težav povzroča horizontalno precejanje vode, medtem ko vertikalno ni kritično. Pri horizontalnem precejanju vode gre za izenačevanje vodnih pritiskov, ki nastanejo zaradi obtežbe vode na vodni strani nasipa. Kolikšno je to pronicanje pa je odvisno od lastnosti materiala.

Tako poznamo pri nasipih dve vrsti precejanja. To sta: precejanje skozi nasip ter precejanje pod nasipom.

#### **- precejanje skozi nasip:**

Ko je nasip zgrajen, in ko začne voda pritiskati na njega, se začnejo pojavljati pritiski, ki povzročajo pronicanje. Ker je nasip umetno narejen, smo lahko vanj vgradili materiale, ki imajo nizko prepustnost, ter smo z njim omejili prepustnost. Glede na to kako smo postavili te nepropustne materiale ločimo več vrst nasipov, ki so opisani v poglavju 1.4. Naša pozornost pa je namenjena lokaciji posamezne vrste materialov. Vodni pritiski, ki se pojavljajo so lahko dovolj veliki, da lahko manj stabilne delce materialov odnese. Taki materiali imajo ponavadi manjšo propustnost ter se ji uporablja za neprepustni del nasipa. Če pa nam pronicajoča voda odnaša take delce, povzroča notranjo erozijo nasipa, ter nam s časoma lahko popolnoma erodira nepropustni del nasipa. Tak nasip je lahko stabilnostno še uporaben, vendar pa ni funkcionalen. S pravilnostno postavitvijo materialov, lahko preprečimo ali vsaj občutno zmanjšamo notranjo erozijo. Primer takih nasipov so zonirani nasipi, ki so tudi najpogostejši. Pri homogenih nasipih se notranja erozija ne pojavlja, lahko pa se pojavi erozija na zaledni strani nasipa, kjer pa imamo lahek dostop, za morebitno popravilo nasipa. Prav tako niso problematični nasipi s nepropustnim ekranom, saj je ekran narejen iz trdnega materiala, ki ga

voda ne more spirati. Tudi pri betonskih nasipih ni tolikšne nevarnosti za pojav notranje erozije, ima pa zato toliko večji problem z zmrzlinško odpornostjo, zaradi same pozornosti cementnega kamna.

Za preprečevanje pronicanja, pri zoniranih nasipih, moramo biti pozorni na postavitve materialov, da ne pride do notranjega erodiranja. Tako lahko imamo pri zemeljskih nasipih v notranjosti nepropustno jedro, ki ga sestavljajo slabo prepustni materiali, na zunanji strani nasipa pa so prepustni, vendar bolj stabilni materiali, ki skrbijo za stabilnost nasipa. Pri bolj zahtevnih delih, se vgradita še vmesni plasti. To sta drenažna (horizontalna in vertikalna), ki zmanjšuje vodne pritiske, ter prehodna plast, ki služi k blažjemu prehodu materiala iz najfinejših delcev k grobejšim. Pri vseh nasipih, kjer se uporablja neprepustni sloj (jedro) je zaželeno, da je tak sloj čim bližje vodni strani. Razlog je v čim hitrejšemu znižanju vodnih tlakov ter s tem zmanjšanju verjetnosti pojava vodnega izvira na zračni strani nasipa. S tem tudi preprečujemo nastajanje notranje erozije, saj se lahko izpran delec jedra ujame v to plast, ter tam opravlja svojo funkcijo.

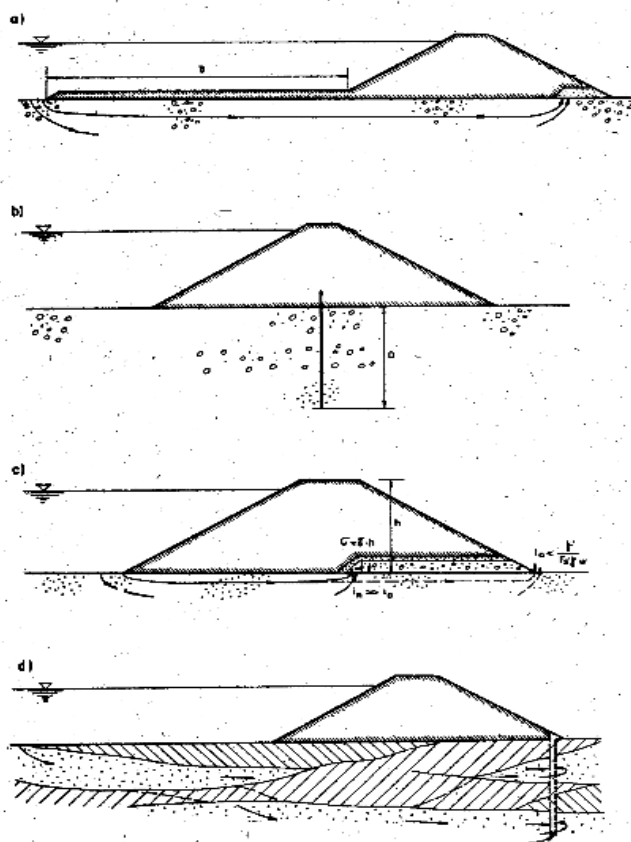
Sile vodnega pritiska deluje na nasip vse toliko, dokler se ne vzpostavi ravnovesna lega. Ko je ta lega izpolnjena in je pronicanje konstantno, ni nevarnosti pojava notranje erozije. Pri nasipih, katerih namen je povečanje akumulacije, s konstantno gladino, je problem le pri polnjenju akumulacije, vse dokler se ne vzpostavi stacionarno stanje. Večji problem pa nam predstavljajo nasipi kot protipoplavni ukrep ter nasipi pri spremenljivi akumulaciji, saj nam nivo vode ves čas niha, s tem pa se nam vodni tlaki ves čas spreminjajo. Tu se stacionarno stanje zelo težko pojavi, pa še to za kratek čas. Zato je na teh nasipih izrednega pomena pravilna vgradnja, saj so zelo izpostavljeni notranji eroziji. Zavedati pa se moramo, da so nasipi, kot protipoplavni ukrep, zelo redko pod vplivom vode (nekajkrat v njeni življenjski dobi pa še to kratkotrajno), zato je potrebno premisliti ali je smiselno (ekonomsko) graditi zelo dobre nasipe. V takih primerih se raje odločimo za homogene nasipe iz malce manj prepustnega materiala, ki je cenejši a prav tako funkcionalen za naše razmere.

Preprečevanje precejanja skozi nasip, predvsem pri betonskih nasipih, ni zaželeno tudi zaradi zmrzovanja. Večje kot so količine vode v samem nasipu, večjo škodo lahko zmrzal naredi. Pronicajoča voda v mrazu zmrzuje, medtem pa se ji poveča površina. Ker pa je ta voda ujeta v porah, ki jo omejujejo, povečanje prostornine povzroči velike napetosti, ki pripeljejo do pojava razpok. Pri ponavljajočih procesih zmrzovanja in tajanja se poškodbe vedno hitreje

širijo, saj imajo vedno več prostora, kamor lahko voda vdre. Temu se lahko v dobri meri izognemo z uporabo kvalitetnih betonov ter z pravilno vgradnjo.

#### - precejanje pod nasipom:

Precejanje pod nasipom se pojavlja pri podlagah, ki so vodoprepustne, medtem ko pri nepropustnih temeljnih tleh teh težav nimamo. Precejanje pod nasipom je prav tako nezaželeno, saj lahko spodjeda temeljna tla nasipa, pri akumulacijah pa povzroča še nezaželeno izgubljanje vode. To pronicanje poteka pri vseh vrstah nasipov. Za preprečevanje precejanja vode pod nasipom poznamo več metod: uporaba neprepustne preproge v vodno stran, uporaba vertikalnih drenaž, podaljšanje jedra nasipa vse do nepropustne podlage, uporaba tesnilne zavese, uporaba razbremenilnih vodnjakov,... Običajno je končni ukrep sestavljen iz večjih metod, ki se med seboj dopolnjujejo. Vse te metode močno zmanjšajo pronicanje pod nasipom, popolnoma pa je ne ustavi. Tako so na sliki 5 prikazane nekateri ukrepi. Katere ukrepe pa bomo naredili pri določenih nasipih, pa je odvisno od tipa nasipa, velikosti nasipa, namena nasipa ter od sestave temeljnih tal.



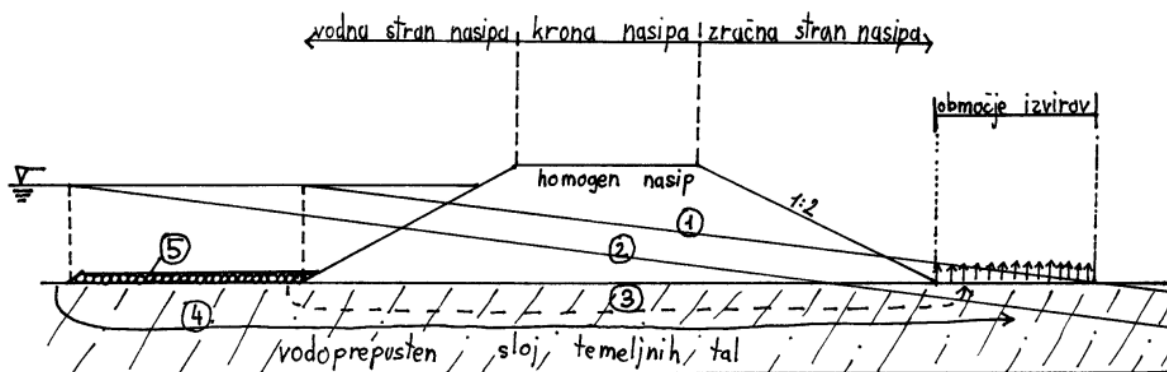
Slika 4: Prikaz omejevanja pronicajoče vode pod nasipom pri vodoprepustni podlagi;

a) uporaba neprepustne preproge skupaj s kratko horizontalno drenažo; b) uporaba

injekcijske zavese vse do nepropustne podlage; c) horizontalna drenaža kot samostojen ukrep s filtrsko zaščito; d) uporaba razbremenilnega vodnjaka pri različnih slojih temeljnih tal (vir: Ervin Nonveiller; NASUTE BRANE)

Pri izbiri ukrepa za zmanjševanje pronicanja pod nasipom, je pomembna tudi namembnost nasipa (nasip kot protipoplavni ukrep ali nasip za povečanje akumulacije).

Pri nasipih, kot protipoplavni ukrep, se moramo zavedati, da so nasipi redkokdaj v uporabi, pa še to kratkotrajno. Zato v takih primerih ne izvajamo velikih ukrepov proti pronicanju. Še najpogosteje se izvede neprepustna preproga (slika 4, primer a) v vodno stran nasipa, ki povzroči prejšnji začetek padanje vodnega tlaka (slika 5), ter nam s tem zmanjša verjetnost pojava vodnega izvira na zračni strani. Tak ukrep tudi minimalno vpliva na okolje, pa še enostavno se lahko odstrani.



Slika 5: Prikaz primerjave začetka padanja vodnih tlakov pri neprepustni vodni preprogi in brez nje; 1) črta velikosti vodnih tlakov brez neprepustne preproge; 2) črta velikosti vodnih tlakov z neprepustno preprogo; 3) tokovnica pronicanja pod nasipom brez neprepustne preproge ; 4) tokovnica pronicanja pod pregrado pri neprepustni preprogi; 5) neprepustna preproga na vodni strani nasipa

Pri akumulacijskih nasipih pa je situacija drugačna. Tu na nasipe ves čas deluje voda, ki pa je zelo mirna ali pa stoječa. Tu so vodni pritiski v večini enakomerni (precej manjša nihanja kot pri poplavah) zato se tu ustvari stacionarno stanje pronicanja. Ker pa so hitrosti v akumulacijah močno zmanjšajo, se zmanjša tudi transportnost reke. Zato se v akumulacijah odlagajo tudi najfinejši delci, ki zablajo dno in rob akumulacije, ter s tem sam preprečuje pronicanje skozi ali pod nasipom. To je tudi razlog, da se gladine podtalnice pri akumulacijah najprej dvignejo nad predhodno stanje, kasneje pa s časom pada ter pade pod nivo, ki je bil pred postavitvijo akumulacije. Vseeno je priporočljivo, da se nekakšen ukrep proti pronicanju

izvede a z možnostmi, da se ga da kasneje enostavno odstraniti (uporaba neprepustne preproge, ustvarjanje drenaž,...).

Kadar pa se, že po zgrajenem nasipu, na zračni strani pojavijo vodni izviri, pa lahko kot sanacijski ukrep naredimo nasutje. To nasutje nam služi kot protiutež vzgonu ter nam preprečuje nadaljnje izviranje vode.

Vsako preprečevanje pronicanja v temeljnih tleh spreminja prejšnjo vzpostavljeno stanje ter pomeni grob poseg v naravo. Zavedati se moramo, da z vsakim posegom v naravi spreminjamo njeno delovanje s tem pa uničujemo naravo našim zanamcem. Tako, na primer, injekcijska zavesa močno vpliva na podtalnico. Z ustvarjanjem neprepustne podlage vse do temeljnih tal, preprečuje pretakanje vode tako iz podtalnice v jezero ali reko, pa tudi obratno. Tako reka (jezero) v sušnih obdobjih ne dobiva vode iz podtalnice ter lahko zaradi tega tudi presahne, tako kot tudi vse življenje v njej, v drugih mesecih, pa se tudi podtalnica ne more napajati iz takšnega vira (lahko imamo problem s količinami pitne vode). Vse skupaj vpliva na okolje, ga spreminja, s tem pa uničujemo naravo našim zanamcem.

Vsi objekti, ki jih gradimo imajo svojo življenjsko dobo, po tej dobi pa nam ne služi več. Objekte na površini sicer lahko odstranimo, podzemne, kot so tesnilne zavesa pa zelo težko. Ponavadi so prepuščene svojemu propadu, ki pa je zelo dolgotrajen. Tako lahko posledice našega današnjega posega v okolje, občutijo tudi generacije za nami. Zato je iz naravnega vidika bolje, da se proti precejanju borimo z ukrepi, ki omejujejo prepustnost le deloma, ter deloma omogočajo izmenjavo vode. Pri takih ukrepih je zato nujno, da gradbeni inženirji sodelujejo z naravovarstveno stroko, ter s tem čim bolj omilijo poseg v naravo.



## 1.4. VRSTE NASIPOV

Tako kot pregrade, lahko tudi nasipe delimo na zemeljske in betonske, lahko pa je nasip tudi kombinacija teh dveh.

### 1.4.1. ZEMELJSKI NASIPI

Vodni nasipi se za zaščito pred visokimi vodami gradijo v neposredni bližini rek, na njihovih aluvialinih nanosih. Taka podlaga ne prenaša velikih pritiskov, temeljna tla pa so ponavadi precej globoko. Za taka območja so primerni zemeljski nasipi, saj so široki in zavzemajo precej površine, kar omogoča lažji prenos sile v temeljna tla ter zaradi svoje površine povzroča manjše pritiske kot pri betonskih nasipih.

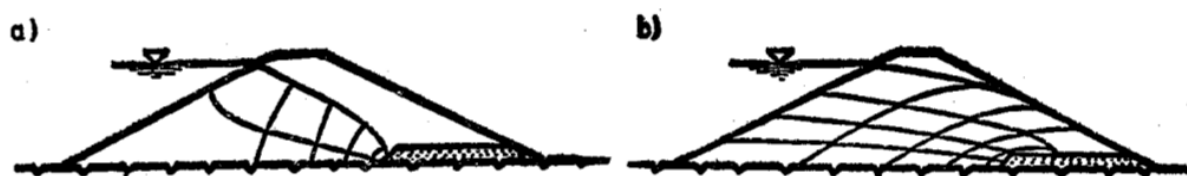
Še ena dobra lastnost zemeljskih nasipov je podajnost oz. sposobnost nasipa da se prilagaja posedkom brez večjih poškodb. Kot je bilo že povedano, temeljna tla ponavadi niso dobre kvalitete, ter imajo precej velike posedke. Tako lahko na teh mestih pride do precejšnjih neenakomernih deformacij, ki močno vplivajo na funkcionalnost pri togih nasipih, pri podajnih, pa zaradi zmožnosti prilagajanja, pa funkcionalnost nasipov ostane.

Prednost zemeljskih nasipov pred ostalimi, pa je tudi izgled, saj lahko take nasipe ozelenimo ter delujejo zelo naravno. To je čedalje pomembnejši faktor, saj družba teži k čim pristnejši in neokrnjeni naravi, z čim manjšimi posegi vanjo. Tako dajo zemeljski nasipi vtis naravnosti, ter so vizuelno lepši kot betonski nasipi.

Glavni namen vodnih nasipov je v preprečevanju razlivanja visokih voda po poplavnem območju oziroma v zadrževanju vode v vodnem koritu reke. Da pa to lahko naredimo, moramo ustvariti neprepusten nasip, ki preprečuje pronicanje vode skozenj. To je pomembno tako zaradi stabilnosti nasipa (preprečevanje notranje erozije – spiranja delcev) ter varovanja zaledja nasipa pred pronicajočo vodo (poglavje 1.3.3.3. – pronicanje pri nasipih). V odvisnosti, kako je nasip sestavljen, da preprečuje pronicanje vode, delimo nasipe na homogene, conirane nasipe ter nasipe z nepropustnim ekranom.

#### 1.4.1.1. HOMOGENI ZEMELJSKI NASIPI

Homogeni zemeljski nasipi so narejeni iz samo ene vrste materiala. Tak material mora biti manj prepusten, tako da je količina vode, ki pronica čez nasip v mejah dovoljenega. Pogosto se takim nasipom dodajo še drenaže, ki zmanjšujejo vodne pritiske v nasipu ter s tem posledično tudi povečajo stabilnost nasipa. Drenažo se postavlja na spodnji del zračnega nasipa v horizontalni smeri, lahko pa so postavljene še na sredini nasipa v vertikalni smeri. Voda iz drenaž se zbira v jarku za nasipom ter se jo kasneje vrača v rečno strugo. Vodoravne drenaže se lažje vgrajujejo kot vodoravne vendar je lahko njihova učinkovitost precej slabša, če telo nasipa ni izotropno prepusten. Problem nastane, če se homogen nasip gradi v plasteh, saj postane anizotropno prepusten. To se zgodi, ker so mejne površine med plastmi bolj prepustne in je tu pronicanje znatno večje. Ker so te plasti enako usmerjene kot vodoravna drenaža je njihova učinkovitost precej manjša. V takih primerih je vertikalna drenaža zelo zaželena, saj so tokovnice skoraj pravokotne (Slika 6, primer b) na tako drenažo.



Slika 6: Prikaz tokovnic precejajočih se voda skozi homogen nasip z vodoravnim drenom:  
(a) homogen izotropno prepustni material; (b) homogen, vodoravno bolj prepusten material (vir: Ervin Nonveiller; NASUTE BRANE)

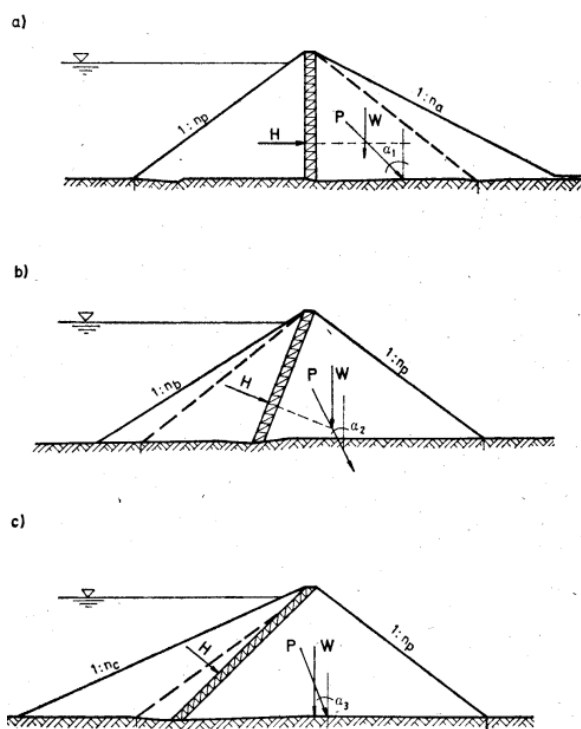
Te vrste nasipov se pogosto uporablja, predvsem kot protipoplavni nasipi, če je le okoliški material ustrezen za vgradnjo. Njihova izgradnja je enostavna in hitra, pa tudi funkcionalnost je zadovoljiva za naše razmere. Take nasipe se da tudi enostavno obnoviti ter nadvišati, zato je iz ekonomskega vidika najprimernejša.

#### 1.4.1.2. ZONIRANI ZEMELJSKI NASIPI

Zonirani zemeljski nasipi so nasipi, ki so zgrajeni iz več vrst materialov. Njihova porazdelitev po nasipu je takšna, da so njihove posamezne lastnosti čim bolj izkoriščene pri zagotavljanju

stabilnosti nasipa ter ekonomično najbolj izkoriščene. Vsaka cona v preseku nasipa posebno funkcijo, odvisno od njihovih karakteristik. Tako tvorijo manj propustni materiali, z visoko ali srednjo mejo plastičnosti (plastičnost je pomembna za preprečevanje razpokanosti) jedro nasipa, katerega namen je preprečevanje pronicanja vode skozi nasip. Jedro je običajno sestavljeno iz gline (25-30%), lahko pa je tudi peščena glina ali melji (Steinman; HIDROTEHNIKA). Pozornost, pri glinenih jedrih, je potrebno dati na dolgotrajno vodotesnost, saj se s spiranjem le ta zmanjšuje. Ti materiali običajno tudi niso stabilni, zato se tako na vodni kot tudi na zračni strani nasipa, delajo podporne sloje, ki so grajeni iz materiala z znatno večjo propustnostjo, a zato toliko večjo stabilnostjo. Propustnost podpornega sloja na vodni strani mora biti dovolj velika, da porni tlaki ne zaostajajo veliko za nivojem vode v strugi ali akumulaciji. Če tega nebi bilo, bi lahko hipne spremembe vodostaja vode povzročile veliko spremembo tlaka, to pa bi lahko pripeljalo do nestabilnosti nasipa. Zračna stran nasipa je lahko bolj prepustna ampak le v primeru, ko se na površini nasipa izvaja drenaža precejajoče se vode. Zaradi bolj ugodnega preprečevanja pronicanja v telesu nasipa, velja pravilo, da se neprepustne materiale (jedro) vgrajuje čim bolj na vodno stran nasipa, bolj prepustne pa na zračno stran. Materiali, ki se vgrajujejo, imajo velike strižne kote, tako da je možna bolj ekonomična gradnja, uporablja pa se material iz okolice.

Razpored vrste materiala v cone prečnega prereza nasipa, njihove dimenzije ter detajli njihovega medsebojnega delovanja so odvisne od cene dostopnih materialov, od nosilnosti temeljnih tal, od načina vgrajevanja, od vrste želenih dispozicij nasipa, pa tudi od znanja in izkušenj projektanta. Dimenzije nasipa so najpogosteje pogojene s pozicijo in debelino jedra. Tako so na sliki 7 prikazani trije primeri naklona brežin v odvisnosti od naklona tankega jedra, obstajajo pa še primeri s spreminjajočo debelino jedra. Na primeru a) na sliki 7, kjer je jedro vodoravno, se vidi, da je v takem primeru potrebna večja prostornina materiala na zračni strani (položnejši naklon)zaradi delovanja sil, medtem ko je naklon na vodni strani lahko večji. Primer c), ko je jedro maksimalno nagnjeno, pa ima vodno stran nasipa položnejšo, da dovolj kvalitetno ščiti nasip, je pa zato zračna stran nasipa strmejša. Najmanjši potreben volumen nasipa dobimo v primeru b), kjer je jedro samo rahlo nagnjeno.



Slika 7: Prikaz velikosti prečnega prereza nasipa v odvisnosti od položaja jedra: (a) jedro nasipa je horizontalno, zračna stran nasipa je strmejša; (b) jedro nasipa je pod majhnim kotom na vodno stran, nasip na vodni strani je malce položnejši; (c) jedro nasipa je maksimalno nagnjen na vodno stran, nasip na vodni strani je še položnejši od nasipa v primeru b. (vir: Ervin Nonveiller; NASUTE BRANE)

Na mejah med različnimi materiali v preseku nasipa se spreminja gradient tlaka precejajoče se vode. Na teh mejah, pri prehodu iz manj prepustnega v bolj prepustni material, se nam pogosto pojavljajo problemi. Pojavlja se erozija jedra nasipa (spiranje jedra) zaradi razlik v tlaku med sloji. Če je ta erozija dolgotrajna, lahko pride do izgube samega jedra. Tak nasip nima več jedra, zate ne služi več svojemu namenu, ter ga je treba sanirati. Za preprečevanje te erozije se v nasipe vgrajujejo še filtrski sloji. Ti sloji so grajeni iz različnih vmesnih granulacij (med jedrom in nosilno plastjo), ki zmanjšajo razliko med pornimi tlaki, zraven pa še fizično otežujejo spiranje finih glinenih delcev. Tako so filtrski sloji zelo pomemben del nasipov, ki preprečuje postopno zmanjšanje učinkovitosti nasipa, skrbi pa tudi za trajnostno uporabo drenažnih plasti. Tudi te plasti se običajno vgrajuje v nasipe, njihov namen pa je zniževanje pornih tlakov v nasipu, ter odvodnjavanje precejajoče se vode. Običajno so filtrske in drenažne plasti vgrajuje kot eno plast, pozorni pa moramo biti na odvodnjavanje vode ven iz nasipa (drenaža je sestavljena iz vertikalnega in horizontalnega dela). Material, ki se ga vgrajuje za ta namen, mora biti kemično obstojen da lahko služi svojemu namenu. Tako je

primeren fin naravni prod, lomljenec ter grob do srednje velik pesek. Običajno so tudi filtrski sloji razdeljeni, tako da so manjša zrna agregata bližje jedru, večja pa so bolj pri stabiliziranih plasteh.

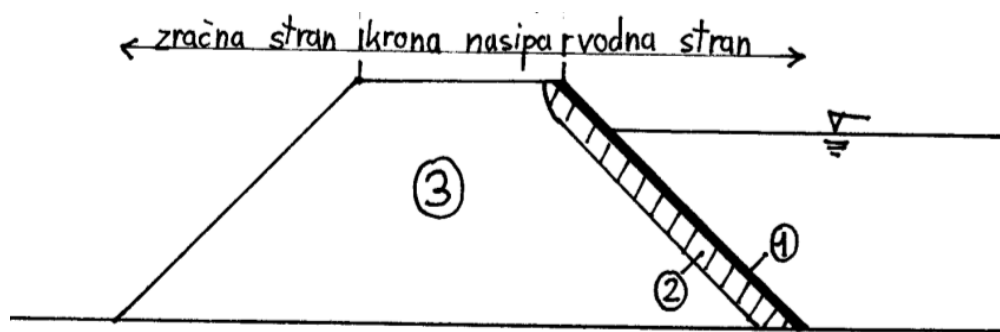
Na koncu je sama sestava zoniranih zemeljskih nasipom zelo pestra. V notranjosti ( v jedru) se nahajajo najmanjši materiali (glina,...), nato pa postopoma, preko različnih plasteh filtrskega sloja prehaja v bolj grob material, ki pa se nahaja v zunanjem delu prereza nasipa. Sama velikost jedra naj bi bila čim večja (Steinman; HIDROTEHNIKA) zaradi čim manjšega pronicanja skozi nasip, če pa želimo čim hitrejše posedke celotnega nasipa, pa naj bo velikost jedra čim manjša (Nonveiller; NASUTE BRANE), saj se material v jedru počasneje konsolidira.

#### 1.4.1.3. NASIPI Z NEPREPUSTNIM EKRANOM

Taki nasipi se gradijo povsod tam, kjer v bližini ni primerne materiala za vgradnjo jedra nasipa, oziroma kadar so klimatski pogoji neugodni za vgradnjo takih materialov. Tako se namesto jedra vgrajuje nepropustne ekrane, ki so narejeni iz armiranega betona (lahko so prefrabricirane betonske plošče, lahko pa se jih vlivajo na mestu) ali asfalt betona (valja se jih na terenu). Nepropustni ekran je zelo pomemben element za delovanje nasipa, je pa zelo ranljiv v vojni ter pri sabotajah, saj ni nič zaščiten. Ekran je tudi stalno pod atmosferskim vplivom (segrevanje, zmrzovanje, kemijski procesi,...), pa tudi zaščite pred mehanskimi poškodbami nima. Vse to slabo vpliva na trajnost takega neprepustnega ekrana, pa še zelo nenaravno deluje (neprijeten izgled). Zato se, če je le mogoče, izogibamo gradnji takih nasipov. Če pa to ni mogoče, pa damo posebno pozornost:

- izboru materiala za ekran (za čim manjše vtekanje vode v nasip)
- konstrukcijskem reševanju fleksibilnega in nepropustnega ekrana vse do temelja
- dobremu dreniranju podloge ekrana
- pravilni dilataciji in njihovi popolni izvedbi

Taki nasipi imajo lahko precej bolj strme brežine, kar pomeni manj potrebnega materiala, je pa zato potrebno več časa nameniti gradnji drenažnih plasti, pa tudi nepropustnosti dilatacijskih elementov.



Slika 8: Grafični prikaz nasipa z neprepustnim ekranom; 1) neprepustni ekran; 2) drenažni del nasipa; 3) kamniti nasip zbit v plasteh z vibratorji

#### 1.4.2. BETONSKI NASIPI

Poleg zemeljskih nasipov poznamo tudi betonske, ki pa še niso tako razširjeni kot zemeljski. Med poglavitne razloge za to, je precejšnja neraziskanost možnosti vgradnje betonov, saj klasični načini tu ne pridejo v upoštevanje, ali pa so veliko dražji kot zemeljski nasipi. Novi načini vgradnje, ki so se razvili v zadnjih letih (uporaba valjanih betonov), pa že omogočajo hitrejšo in cenovno bolj ugodno vgradnjo, zato se jih čedalje bolj uporablja (tako pri vodnih pregradah kot tudi pri nasipih). Njihova prednost je predvsem možna hitrost gradnje, zavzemanje manjših površin (niso tako široki) ter možnost uporabe takih nasipov tudi za železniške in cestne povezave. Za boljše poznavanje betonskih nasipov, je potrebno kaj več povedati še o betonih ter predvsem o valjanih betonih.

## **2. BETONI**

### **2.1. SPLOŠNO O BETONU**

Gradbeništvo je eno izmed najstarejših obrti na svetu, saj so si ljudje že v pradavnini prizadevali ustvariti okolje, kjer bi lahko bili varni tako pred sovražniki kot tudi pred samo naravo. Zato so si gradili bivališča za katera pa so uporabljali naravne materiale, ki so jim bili na voljo – kamen, les, zemlja, slama. Ker so to naravni materiali, hitro propadajo, zato jih je potrebno obnavljati. Izjema je le kamen, saj je obstojen in veliko bolj odporen proti atmosferskim vplivom. Zato lahko objekte, zgrajene iz kamna, občudujemo še sedaj, po več tisočih letih. Vsi ti naravni materiali so se uporabljali vse tja do sredine 19 stoletja, ko se začinjajo pojavljati novi gradbeni materiali, kot sta beton in kasneje še jeklo. Dandanes sta to najbolj uporabljena gradbena materiala, naravni materiali, z izjemo lesa, pa se opuščajo.

Beton je keramični kompozitni material, ki se v osnovi sestoji iz agregata, vode ter cementnega veziva, pogosto pa se jim dodajajo razne dodatke, ki spremenijo ali samo izboljšajo posamezne karakteristike betona. Končna lastnost betona je odvisna od vseh vstopnih parametrov (materialov), tako da je potrebno poznati vsak parameter posebej, če želimo določiti lastnosti otrdelega betona. Tako lahko z uporabo različnih vrst ter količin materialov, dobimo betone, ki imajo različne karakteristike. Tak primer betonov so tudi valjani betoni.

## 2.2. VALJANI BETONI

### 2.2.1. PREDSTAVITEV VALJANIH BETONOV

Kot sem že omenil, se betoni med seboj lahko precej razlikujejo. Tako poznamo več vrst betonov. Ena izmed vrst so tudi valjani betoni (v angleščini in tudi drugje se uporablja izraz RCC kot roller-compacted concrete). To so posebni betoni, ki vsebujejo majhne količine cementa, so zemeljsko vlažni ter so težje vgradljivi. Še bolj kot sama sestava betonske mešanice pa je pomembna tehnologija vgradnje, ki se razlikuje od običajne. Pri valjanih betonih ne potrebujemo opaža, proces vgradnje je hitrejši, prav tako tudi nanos naslednje plasti betona, kar pripomore k izredno hitremu končanju projekta. Take betone se najpogosteje uporablja pri betonskih težnostnih pregradah ter v nizkogradnjah (pri izdelavi raznih cest). Pri betonskih pregradah, se to tehnologijo uporablja za graditev nove pregrade, za rekonstrukcijo starih (za povečanje stabilnosti), utrditev podpor, izboljšanje nasipov za večje prevajanje,...

Ta način vgradnje in uporaba valjanega betona, pri težkih betonskih pregradah, se je razvijala postopoma. Začetki uporabe takšnega betona niso točno določeni, segajo pa tja med leta 1960 in 1970. Prva primera uporabe valjanih betonov sta pregradi Alpe Gere Dam v Italiji in pregrada Manicougan I v Kanadi leta 1960. Kasneje pa se je tehnologija še malce spremenila, in je prva prava valjano betonska pregrada nastala šele leta 1980(State of the Art on Concrete; ROLLER-COMPACTED MASS CONCRETE).

Taka izgradnja ima mnogo prednosti pred uporabo navadnih betonov, ima pa tudi nekaj slabosti, ki jih je treba upoštevati. Vse te prednosti in slabosti so precej odvisne od tipa betonske mešanice, metode dela, vremena,... Tako je potrebno pred vsakim takim projektom preveriti tehnične prednosti take uporabe ter ceno, ki jo ima. Običajno je ta način vgradnje hitrejši ter ima manjše stroške vgradnje, kar sta tudi glavni prednosti. Kot prednost take gradnje lahko štejemo tudi možnost hitre dobave strojne opreme, še posebej pri kriznih situacijah, saj se tu uporabljajo buldožerji, ki jih je dokaj lahko dostaviti. Z njimi razvaljamo pripeljani beton v enakomerne plasti, ki se jih vgrajuje. V primerjavi z ostalimi pregradami ima prednost tudi pri gradnji zaščitnega nasipa ker so tu varnostne zahteve nižje, saj ko se pregrada začne graditi, hitro preseže velikost varovalnega nasipa in je sam zmožen prenašati obtežbo. Kot sem že omenil, pa ima lahko ta način gradnje tudi slabe strani, saj nam pri



nepravih pogojih (npr. pomanjkanje pravega agregata, trdna skala je slabe kvalitete ali pa je globoko v zemlji,...) pa lahko gradnjo močno podražijo.

## 2.2.2. MATERIALI

Sestava betonske mešanice se pri valjanih betonih razlikuje od normalnih mešanic. Razlika mora biti že zaradi samega načina vgradnje, saj mora valjana betonska mešanica obdržati svojo konsistenco, ki bo podpirala težo valjarja ter težkih tovornjakov, hkrati pa mora biti primerna za vgrajevanje z vibracijskimi valjarji. Dva pomembna faktorja sta zrnavostna sestava agregata ter količina cementne paste. Pri cementni pasti je pomembno, da zalije (skoraj) vsa zrna agregata, in da tvori gosto, kompaktno betonsko mešanico.

Materiali, ki jih uporabljamo v običajnih betonskih mešanicah, so ponavadi dobri tudi pri valjanih betonih, saj so omejitve tu milejše. Zaradi tega je pri valjanih betonih večja izbira materialov, posledično pa ima lahko tak beton več različnih karakteristik. Pri uporabi materialov, ki ne dosegajo pogojev standardnega betona, dosegajo pa kriterij valjanjih betonov, pa moramo preveriti dejanske karakteristike. Te morajo nujno biti nad priporočenimi vrednostmi, v primeru da niso, pa moramo mešanico popraviti tako da bodo in jih ni treba v celoti zavreči (State of the Art on Concrete; ROLLER-COMPACTED MASS CONCRETE).

### **- cement:**

V sami osnovi se pri valjanih betonih lahko uporabljajo vsi tipični primeri portland cementa. Pri masovni uporabi, pa se ponavadi uporabljajo cementi, ki proizvajajo nizko hidratijsko toploto. Najpogosteje se uporabljajo cementi tipa I, nastopajo pa tudi cementi tipa II (proizvaja zmerno hidratijsko toploto), tip IV (pucolanski cementi), tip V (sulfatna odpornost) ter še posamezne mešanice teh tipov. Ti tipi cementov, ki poleg cementa tipa I še nastopajo, razvijajo svojo moč počasneje kot cement tipa I, je pa zato njihova končna nosilnost večja (vsi tipi cementov so predstavljeni in določeni v standardu SIST ENV 197-1). Največji problem pri valjanih betonih predstavlja hidratijska toplota. Problem je v tem, da se naslednje plasti nanašajo zelo hitro – nekaj ur po vgraditvi spodnje plasti, kjer se hidracija še ni izvedla do konca. Tako se tudi hidratijska toplota ne more v celoto oddati v okolje, zato nam lahko povzročajo notranje (zaostale) napetosti. Zato hidratijsko toploto omejujemo na več načinov. Uporabljamo cimente, ki proizvajajo manjšo toploto, uporabljamo manjše količine cementa, nadomeščamo del cementa s pucolani ali

elektrofilterskim pepelom, pomaga pa tudi, če valjane betone vgrajujemo v hladnejšem letnem času.

Pogosto se kot dodatek betonski mešanici dodajajo pucolani ali elektrofilterski pepel, ki se jih uporabljajo kot:

- delno nadomestilo za cement, s čimer se zniža hidratacijska toplota
- delno nadomestilo za cement z namenom znižanja cene
- za dodatek, ki prispeva dodaten volumen paste za oblikovanje agregata ter dodatno vgradljivost betonske mešanice
- kot fini delci agregata

Pucolani lahko v mešanici nadomeščajo cement od 0% pa do 80%, odvisno od količine cementa ki nastopa. Pri večjih količinah je procent pucolana večji, da prepreči preveliko hidratacijsko toploto, pri manjših količinah pa manjši.

(State of the Art on Concrete; ROLLER-COMPACTED MASS CONCRETE).

#### **- agregat:**

Izbira pravega agregata ter njegova kontrola kvalitete in oblike je pomemben faktor, ki vpliva na kvaliteto in enakomerno proizvodnjo valjanega betona. Vsi agregati, ki zadoščajo kriterijem navadnih betonov, so tudi primerni za uporabo pri valjanih betonih. Se pa je pri valjanih betonskih jezovnih konstrukcijah že zgodilo, da so uspešno vgradili agregate, ki niso zadoščali standardom za uporabo pri običajnih betonih, pa je bil tak valjan beton prav tako dovolj kvaliteten. Razlog za morebitno uporabo takih »neprimernih« agregatov je v dostopnosti takega agregata v bližini gradbišča, kar je bolj ekonomično. Seveda pa je uporaba takega agregata omejena. Zato se zahteva, da je objekt, kjer bomo uporabili tak agregat, zmožna prenest vse spremembe, ki jih slabši agregat prinese s seboj. Običajno se betone narejene iz slabšega agregata vstavlja v notranjost objekta, kjer je obkrožen z boljšim betonom, še posebej v območjih, kjer se pogosto pojavlja zmrzovanje in tajanje. Z uporabo slabšega agregata (manj nosilnega) pa ni nujno, da so lastnosti takega betona slabše, saj so v nekaterih primerih dobili zadovoljive vrednosti leznih meja, modula elastičnosti ter natezne trdnosti. Te vrednosti so zelo zaželene pri betonih, kjer je se nižjo nosilnost betona lahko tolerira.

Pri valjanih betonih je izbira pravega agregata še bolj pomembna, saj je količina cementa v takem betonu znižana na minimum, zato je lastnost betona v večini odvisna od lastnosti agregata. Velik problem agregata v betonski mešanici pa je v njegovi segregaciji, ker

povzroča neenakomerne lastnosti betona. Da omejimo segregacijo, pa omejimo največjo velikost agregata. Tako je maksimalno zrno, ki ga še uporabljamo, veliko 75mm, v praksi pa je ta velikost znižana na 50mm, saj je ta velikost manj podvržen segregaciji. Finejših frakcij ne omejujemo, vendar pa prevelik njihov delež ni priporočljiv, zaradi povečanja potrebe cementa in vode v betonski mešanici. Zato količino vseh finih delcev (tako fini delci agregata kot tudi dodatkov) omejimo na maksimalno vrednost 12% volumna agregata. Ti fini delci so primerni za zapolnitve prostora med agregati, kar vpliva na vgradljivost valjanih betonov, število prehodov valjarjev z vibratorji (v odvisnosti od debeline posameznega nanosa), zmanjšujejo segregacijo ter zmanjšujejo prepustnost. Paziti pa je potrebno na vnos organskih primesi, ki lahko povečajo potrebo po vodi ter zmanjšajo nosilnost in obdelovalnost valjano betonske mešanice (Žarnič; OSNOVNE LASTNOSTI GRADIV).

Uporaba agregatov ki so sploščeni in podaljšani je običajno nezaželena. So pa valjani betoni manj podvrženi njihovem vplivu, zaradi večje vgradnje energije, tako da take agregate omejimo na 25% celotnega agregata v vseh frakcijah.

Dokazano je tudi, da so drobljenci bolj primerni za uporabo kot okrogel agregat, zaradi manjše podvrženosti segregacije (State of the Art on Concrete; ROLLER-COMPACTED MASS CONCRETE).

### **- dodatki:**

Pri valjanih betonih, se v mešanico pogosto dodajajo razni dodatki. Ti dodatki so pri valjanih betonih namenjeni predvsem zmanjševanju hidrationske toplote, lahko pa izboljšujejo tudi vgradljivost takega betona. Najpogostejši so razni pocolani ter elektrofilterski pepeli. Njun namen je pri obeh dokaj podoben. Namenjena sta nadomestitvi dela portland cementa, s čimer spremenita potek hidratizacije, s tem pa tudi potek razvoja hidrationske toplote (State of the Art on Concrete; ROLLER-COMPACTED MASS CONCRETE).

#### **Elektrofilterski pepel (EFP):**

EFP je mineralni preostanek gorenja zmletega premoga v termoenergetskih objektih (temperatura je običajno višja od 900°C), ki se na poti od kotla v dimnik odlaga na elektrostatičnih filtrih. Je heterogen, drobno prašnat material, ki ga sestavljajo okrogli ali zaobljeni steklasti delci.

Ločimo navaden EFP, ki nastaja pri kurjenju antracita ter črnega premoga in vsebuje manj kalcija, pri kurjenju lignita ter rjavega premoga pa običajno nastaja visoko kalcijski pepel.

Tako delimo EFP glede na vsebnost kalcija na silicijski pepel, ki vsebuje pod 10% CaO in kalcijki pepel, ki vsebuje več kalcija. Ti dve vrsti odgovarjata F in C tipu, kot ju definira ASTM C 618-89. Prvi tip ima minimalno 70% drugi minimalno 50% oksidov ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), ki so potrebni za nadomestitev portland cementa.

Sestava pepela je določena predvsem s sestavo premoga in primešane jalovine, ponekod pa pri zgorevanju uporabljajo tudi dodatke za vezanje žvepla (npr.  $\text{CaCO}_3$ ), za vzpostavljanje režima gorenja ali pa dodajajo alternativna goriva (razne odpadke). Zato je kemijska sestava pepela zelo različna in poleg vrste premoga, nahajališča, načina pridobivanja, kurjenja in zgorevanja premoga (temperatura plamena, tip naprave, oksidacijski pogoji, način obdelave  $\text{SO}_x$  plina) zavisi od zbiralnih metod in skladiščenja EFP. Prav različnost EFP v kemijski sestavi, fizikalnih (npr. finost) in mineraloških lastnostih (npr. vsebnost steklaste faze) omejuje nenadzorovano uporabo v betonih. Učinke EFP na hidratacijo cementa in betona raziskujejo, zaenkrat pa še ni dokončnih zaključkov. Razlog je predvsem v nehomogenosti EFP, kemijska sestava se lahko razlikuje celo znotraj posamezne vrste EFP.

Hidratacija portland cementa je eksotermna reakcija, sprostitvev toplote povzroči povišano temperaturo betona. Pri delni zamenjavi cementa z EFP je delež sproščene toplote pri hidrataciji manjši, s tem tudi porast temperature svežega betona. Tako je manj napak (najpogosteje razpok), ki so posledica termičnega širjenja. Učinek je izrazitejši pri silicijskih pepelih in visokem odstotku nadomestitve cementa z EFP.

Reaktivnost EFP je odvisna od mnogih parametrov, najpomembnejši so žarozguba ali vsebnost nezgorelega ogljika, finost ali specifična površina ter mineraloška in kemijska sestava. Mnogo raziskovalcev poroča, da z mletjem finost EFP narašča, pri čemer se poveča pucolanska reaktivnost. Ta s finostjo najmočneje narašča, narašča pa tudi s sejanjem, rekalcinacijo ter raznimi kemijskimi dodatki – plastifikatorji.

Vplivi zaradi finosti mletja:

- delci EFP delujejo kot polnilni material, z gostijo cementno vezivo
- pomagajo pri rušitvi kapilarnih kanalov
- povečajo pucolansko reaktivnost
- vsebnost  $\text{Ca(OH)}_2$  je v prvih štirih dneh v cementni pasti brez in tisti z EFP enaka, zatem je v slednji manj  $\text{Ca(OH)}_2$  in pada s stopnjo mletja pepela, kasneje pride do ponovne izenačitve
- manjši delci ( $d < 10 \mu\text{m}$ ) vsebujejo nekoliko več  $\text{Al}_2\text{O}_3$  in alkalij, žarozguba se nekoliko poveča

EFP je v beton lahko uveden na različne načine:

- EFP je že vsebovan v cementu (portland cement z dodatkom EFP)
- EFP kot mineralni dodatek
- del finega agregata ali cementa se nadomesti z EFP

EFP lahko nadomesti do 60% portland cementa če le ta ugodno vpliva tako na beton v svežem kot strjenem stanju. Beton z EFP navadno zniža potrebo po vodi, ima boljše obdelovalnost, višje trdnosti, nižjo prepustnost – večjo obstojnost na kemijsko korozijo in zmrzlinško odpornost, manjše krčenje pri sušenju. Z dodanim EFP se zniža tudi cena betona, saj je odpadni material (podatki iz inštituta za raziskavo materialov IRMA).

### 2.2.3. RAZMERJA V BETONSKI MEŠANICI

Razmerja posameznih vhodnih sestavin za beton, lahko močno vpliva na posamezne karakteristike lastnosti betona. Tako lahko količinska sprememba ene sestavine vpliva na več karakteristik, tako na boljše kot tudi na slabše. Zaradi tega morajo biti vhodne količine točno odmerjene, da ne škodujemo drugim lastnostim betona. Običajno gledamo tako, da je v betonski mešanici čim večja količina surovega agregata, količina cementa pa je odmerjena na minimum, toliko da lahko cementna pasta oblepi celotna zrna agregata in nič več.

Karakteristike betona, na katere, razmerja v betonu bolj vplivajo, so:

- **obdelovalnost:** Sama obdelovalnost betonske mešanice je potrebna, če želimo doseči dovolj kompakten beton ter da lahko dobimo želeno obliko našega betonskega objekta. Na obdelovalnost najbolj vplivajo razmerja v cementni pasti med cementom, pucolanom, finih delcev agregata, vode in zraka. Vsi ti pripomorejo k oblivanju večjih agregatov ter zapolnitvi prostora med njimi, kar povzroči lažje gibanje teh delcev agregata ter tako tudi lažjo in boljše vgradljivost. Pri valjanih betonih pa se teži k čim manjši količini cementa, zato je vgradnja pogosto težavna. Zato se tu uporabljajo valjarji z vibratorji, ki dovajajo dodatno energijo in omogočijo dokončno popolno vgradnjo. Da pa vemo kakšno mešanico imamo se izvajajo testi, kot sta Vebe test (večina betonskih mešanic) ter test razmerja vlažnost-gostota (za zelo suhe mešanice).

- **trdnost:** Trdnost valjanega betona je odvisna predvsem od kvalitete in velikosti zrna agregata, razmerja v betonski mešanici ter tudi od stopnje kompaktiranja. Kvaliteta agregata

je pomembna zaradi prenosa sil, saj pri nizki količini cementa se vsa obtežba prenaša preko zrn agregata, zato nosilnost betona ne more biti dobra, če so zrna agregata slabe kvalitete. Da pa se vsa zrna agregata tvorijo v celoto, pa je potrebna cementna malta. Za to mora biti mešanica primerna, še posebej vodo cementno razmerje. Pomembna je predvsem količina vode, saj je potrebna za hidratacijo cementa. Če pa je te vode premalo, pa se celoten cement ne more hidratizirati. Tako v betonu ostanejo praznine, ki niso hidratizirane in vodijo k slabšemu kompaktiranju betonske mešanice kar povzroči izgubo gostote ter tudi izgubo nosilnosti.

- **segregacija**: Glavni namen določanja proporcionalnosti pri valjanih betonih je proizvodnja kohezivne betonske mešanice, pri čemer minimiziramo segregacijo v času transporta, odložitve in razgrnitve betona. Na segregacijo veliko vpliva tudi količina finih delcev, ki zapolnjujejo prostore med večjimi delci ter tako preprečujejo nastanek tega pojava. Kontrolo se izvaja z omejitvijo količin agregata, vode ter dodanih finih delcev pri nizkocementnih betonih. Pri betonih z višjo vsebnostjo cementa ta problem ni tako velik, saj so taki betoni bolj kohezivni.

- **prepustnost**: Tudi pri prepustnosti je količina volumna cementne paste zelo pomembna. Če je paste v betonu za okoli 20%, potem je impregnacija dovolj velika. Največji problem je med stiki posameznih plasti zaradi slabše povezave med posameznima plastema betona. Pri betonih za večjimi količinami cementa to ni tak problem, saj je tak beton ustvari boljšo vez med plastema ter posledično manjšo prepustnost. Pri betonih z nižjo količino cementa pa je rešitev v dodatni vmesni plasti zaščitne malte, ki zmanjšuje prepustnost.

- **hidratacijska toplota**: Pri valjanih betonih se vgrajujejo velike količine betona v zelo kratkem času, zato je vprašanje te toplote zelo pomembno. Problem se rešuje tudi z določanjem mešanice. V mešanico se vstavljajo razni dodatki kot so pucolani, elektrofilterski pepel,..., ki zmanjšujejo toploto zaradi manjše potrebe po cementu. Tako v betonu uporabimo minimalno količino cementa, da je le hidratacijska toplota čim nižja oz. jo je čim manj.

- **trajnost betona**: Mešanica pri valjanih betonih mora biti tudi trajne (do pričakovane dobe) ter odporne tudi v izpostavljenih pogojih (vplivi okolja). Pozorni moramo biti na morebitne alkalne agregate, ki reagirajo, lahko se betonu vpihuje zrak, kar poveča odpornost proti zmrzovanju, lahko se pojavi erozija pri prelivanju vode,... Velikokrat pa vse to ne predstavlja

problem, saj se običajno valjane betone obda z normalnim betonom (gorvodna stran, vrh, spodnja stran ter prelivno polje), ki pa so boljše kvalitete in bolj odporni na te vplive.

- **pogoji vgrajevanja:** Potrebe pri vgrajevanju betona morajo biti zavzete pri določevanju mešanice. Ker poznamo več načinov vgrajevanja valjanih betonov, so tudi potrebe različne. Največji problem so vozila, ki vozijo po še ne strjenem betonu in ustvarjajo kolesnice. To so potem mesta, kjer je za pričakovati probleme, saj se tam nabira voda, stiki med plastmi so slabši ter pogosto je potrebno ta mesta sanirati. Pogosteje se to dogaja s betonom, ki vsebuje več cementa.

Pri valjanih betonih sta pri določevanju betonskih mešanic, glede na dostopnost materiala, lokacija in oblika konstrukcije, mešalnih in vgrajevalnih naprav ter količina časa, značilna dva glavna pristopa: vodo-cementno-materialnim pristopom z mešanico določeno v trdnem stanju ter cementno-agregatni pristop, kjer je lahko mešanica določena v trdnem stanju ali pa kot razmerjem med vlago in gostoto. Količine, ki se tu določajo, nastopajo v površinsko suhem stanju, da ne pride do problemov z količino vode. Oba pristopa sta namenjena določevanju betonske mešanice za valjane betone, ki pa jih je potrebno se laboratorijsko preveriti. (State of the Art on Concrete; ROLLER-COMPACTED MASS CONCRETE).

#### 2.2.4. LASTNOSTI STRJENIH VALJANIH BETONOV

Lastnosti strjenih valjanih betonov so podobne tistim pri težkih betonih, obstajajo pa nekatere razlike v doseženi trdnosti, odzivnosti betona ter vsebnosti praznin. Tako večina valjanih betonov ne vsebuje vpihovanega zraka, vsebujejo pa lahko pucolane, ki vplivajo tako na nosilnost kot tudi na stopnjo hidratacijske toplote ter tudi agregate, ki ne nujno da ustrezajo pogojem za običajne težke betone. Zaradi možnosti uporabe takih agregatov, imajo strjeni valjani betoni večji razpon lastnosti kot strjeni običajni betoni. Zaradi raznolikosti pa lahko nastajajo večje težave pri vgradnji, saj je lahko stopnja zgojitve betona raznolika, pozorni pa moramo biti tudi na sposobnost betona da prenaša obtežbo še predno se v celoti strdi. Zato se uporabljajo testi tlačne trdnosti za določevanje optimalnega razmerja med cementnim materialom ter agregatom. Tlačna trdnost je odvisna od količine vode, lastnosti cementnega materiala, oblike agregata ter od stopnje dosežene kompaktnosti. Tudi pucolani imajo svoj vpliv na trdnost, saj zakasnjijo zgodnjo fazo trdnosti (večja kot je količina pucolana, nižja je

začetna trdnost). Na samo tlačno trdnost vplivajo še nezapolnjene praznine med zrni agregata ter fini glineni delci. Tlačna trdnost valjanih betonov se giblje med 7 MPa pa vse do 50 MPa pri 1 letu.

Pri vgradnji valjanih betonov je potrebna tudi določena velikost natezne trdnosti, predvsem zaradi dinamične obtežbe ter zaradi varnosti. Razmerje med natezno in tlačno trdnostjo je med 5 in 15 %, odvisno od kvalitete agregata, celotne trdnosti, starosti (s starostjo in večanjem tlačne trdnosti, se procent razmerja znižuje), od načina vgradnje ter od količine cementa v betonski mešanici. Ni pa odvisna samo od lastnosti betonske mešanice ampak nanj vplivajo še hitrost vgradnje, priprava površine za naslednji dvig (uporabe vezalne malte med plastema), stopnje kompaktnosti ter segregacije. Pri spremembah volumna, se pogosto dogaja, da so sile močnejše od nateznih trdnosti, zato počijo. Mejo, kjer se to zgodi imenujemo kapaciteta natezne trdnosti. Nanjo vplivajo trdnost in starost betona, količina obtežbe, karakteristika agregata ter količina cementa.

Najbolj kritična pri valjanih betonih pa je strižna trdnost, ki je sestavljena iz kohezije materiala ter notranjega trenja. Najmanjša strižna trdnost se pojavlja pri mejah med posameznim dvigi, ker so to območja, ki so pred dvigom slabo očiščena, podvržena okolju (preveč dežja, suša, zmrzovanje), ter spodnji deli dviga so bolj podvrženi segregaciji ter slabši konsolidaciji zaradi svoje debeline. Za preprečevanje nastajanja teh napak je najboljša hitra vgradnja, s čimer preprečimo možnost nastanka večine napak. Velikost strižne trdnosti se giblje med 16 in 39 % tlačne trdnosti, kar je večji razpon kot pri običajnih betonih (20-25%). Vpliv dinamičnih obtežb (potresi) je še sedaj dokaj neraziskano področje. Pokazalo se je, pri raziskavah za običajne betone, da se pri dinamičnih obtežbah tlačna in natezna trdnost poveča pod hitrimi dinamičnimi obtežbami. Ker trenutno še ni bilo objavljenih takih raziskav, se za povečanje trdnosti vzamejo karakteristike navadnih betonov, ki imajo podobne karakteristike kot valjani betoni.

Lezenje je še ena izmed lastnosti, ki je pri valjanih betonih zaželeno, saj sprošča napetosti pri vgradnji na temelje. Nanjo lahko vplivamo z lastnostmi materiala in mešanice, z velikostjo modula elastičnosti ter velikostjo tlačne trdnosti.

Pri vseh betonih se pojavljajo skrčki, ki so posledica izgube količine vode ter avtogene spremembe. Velikost skrčka pri vodnih izgubah je odvisna od količin vode v mešanici, običajno pa so ti skrčki primerljivi običajnim betonom ali celo manjši zaradi zmanjšanja količina vode. Avtogeno krčenje, pa je posledica lastnosti materiala ter razmerja v mešanici in se ga težko določi brez laboratorijskih raziskav.



Beton, tako normalni kot tudi valjani, imajo svoje toplotne lastnosti. To so specifična toplota, kondukcija, koeficient toplotnega raztezka ter adiabatni dvig toplote. Vse te lastnosti so odvisne od lastnosti mešanice. Lastnosti so ponavadi zelo podobne lastnostim navadnih betonov, vseeno pa njihovi testi niso vedno primerni, saj lahko imajo valjani betoni nižjo trdnost ali večjo vsebnost pucolanov, ki lahko skoraj za polovico zmanjša dvig adiabatne toplote.

Pri strjenih valjanih betonih je pomembna nepropustnost betona. Ta je v večini odvisna predvsem od praznin v betonski masi ter od malte v mešanici, oboje pa je odvisno od stopnje kompaktnosti. Kadar je v betonu dovolj cementne malte, ni segregacije in je dovolj kompaktirana, se prepustnost zelo zmanjša in znaša od 0,15 pa do  $15 \cdot 10^{-9}$  cm/s. Običajno pa se pojavi pronicanje čez beton, na mestih, kjer se pojavljajo stiki med posameznimi plastmi. Kljub zelo natančni izvedbi stikov, je to območje bolj prepusten, saj noben stik ni nikoli popolnoma neprepusten, saj sprijetost dveh plasti ni nikoli enaka sprijetosti v samem betonu. Zato je potrebno v nasipih izvesti tudi razne drenaže (drenažne vrtine), ki zmanjšujejo porne pritiske. Prepustnost takega betona zaradi tega močno upade, zato ga je potrebno tudi primerno zaščititi (proti mehanskim vplivom ter pronicanju). Tako zaščiten beton lahko doseže koeficient vodoprepustnosti  $10^{-7}$  m/s.

Trajnost betonske mešanice je problem, tako pri navadnih, kot tudi valjanih betonih. Nanje najbolj vplivajo erozija in abrazija, ciklično zmrzovanje in taljenje ter tudi kemične reakcije zaradi onesnaženega okolja. Abrazija in erozija najbolj prizadeneta vrhno plast, zaradi delovanja zunanjih vplivov (veter, dež, ciklično zmrzovanje,...), odpornost pa je v veliki meri odvisna predvsem od kvalitete agregata ter od tlačne trdnosti betona. Za boljšo zaščito valjanih betonov, se le te obda z zaščitno plastjo, ki pa je lahko narejena iz betona boljše kvalitete (manjša zrna agregata, večja količina cementne paste). Tako mehansko zaščitimo valjani beton pred abrazijo in erozijo, zboljšali pa smo tudi zmrzlinško odpornost valjanega betona (zaščitili pred velikimi temperaturnimi vplivi). Najboljšo zmrzlinško odpornost bi lahko dobili z vpihovanjem zraka v beton, s čimer zapremo morebitne pore. Ker pa pri valjanemu betonu težimo k čim manjši vsebnosti praznin, nam ta metoda ne pride v vpoštev. Tako je betonska obloga najboljša zaščita valjanih betonov.

Gostota valjanih in običajnih betonov se med seboj razlikujejo. Razlika se naredi zaradi manjše količine vode ter količine zraka, ki so posledica popolnega kompaktiranja. Tako imajo valjani betoni samo 0,5-2,0% zraka, s čimer se gostota poveča za 1-3% glede na običajne betone (2400 kg/m<sup>3</sup>).

(State of the Art on Concrete; ROLLER-COMPACTED MASS CONCRETE).

## 2.2.5. GRADNJA IN UPORABA VALJANIH BETONOV

Valjani betoni se najpogosteje uporabljajo pri velikih masovnih objektih kot so pregrade. Njihova prednost je hitrost in enostavnost vgradnje, saj je omejitev hitrosti vgradnje odvisna od hitrosti dovažanja betona.

Izgradnja poteka zelo podobno kot pri zemeljskih nasipih, saj je tudi sam valjani beton bolj podoben zemljinam kot pa betonom. Razlog za to so majhne količine cementa, ter zelo majhne količine vode v samem betonu. Tako pravimo takim betonom da so zemeljsko suhi. Tako se valjani beton vgrajuje v plasteh, kjer je običajna plast debela med 30 in 50cm, lahko pa je tudi tanjša ali pa debelejša, vendar pa je pri debelejših plasteh problem kompaktiranja. Material se lahko dovaža z težkimi kamioni, ki nam valjani beton dostavi na eno mesto, od koder ga z buldožerji razporedi po površini. Dostava materiala pa lahko poteka tudi po tekočemu traku iz skladišča na gradbišču, ter se ga usmerja z mehansko roko. Ta način je boljši, saj se na še ne popolnoma strjeni podlagi ne naredijo kolesnice zaradi težkih kamionov, ki nam dovaža material, s tem pa omejimo možnost nastanka napak. Ko je material enakomerno nanešen po površini, ga je potrebno še skomprimirati z težkimi valjarji. Proces valjanja mora biti točno določen, da dobimo želeno stopnjo komprimacije. Tako pogosto, za določitev prehodov valjarja, naredimo mehanski preizkus, kjer na preizkusnem nasipu pri določeni debelini posameznega dviga, štejemo prehode z valjarjem, sproti pa merimo stopnjo kompaktiranja vse do meje, ki jo želimo. Število prehodov se običajno giblje okoli 7, pri čemer se, pri zadnjem prehodu uporablja tudi vibratorje, ki še bolj zgostijo beton.

Največja prednost valjanega betona pa je v tem, da lahko že 6-10 ur po vgradnji spodnje plasti, vgrajujemo naslednjo plast. Ker pa spodnja plast še ni dokončno otrdela, se ti dve plasti povežeta med seboj, ter se tako povežeta v enovito celoto. Za boljše sprijetje obeh plasti, se lahko uporabi tudi ročne vibratorje, ki delno premešajo te plasti. Kadar pa je potreben daljši premor in ko se beton že strdi, pa je potrebno površino pred nanosom nove plasti, očistiti ter mehansko obdelati, da se znebimo umazanije ter površinsko oslabiljenega betona. Pogosto se uporabi tudi vmesna plast zelo fine malte ali raznih premazov, ki omogoča boljše sprijetje obeh slojev betona. Vseeno pa predstavljajo ti stiki oslabeitev, skozi katere lahko voda lažje pronica. Zato se običajno valjane betone tudi zavaruje, tako da jih obdamo z bolj kakovostnim običajnim betonom, ki bolje prenaša vplive okolja ter se jih tudi čim bolj vodotesno izolira. Načinov izoliranja valjanega betona je še več, zato lahko za vsak primer posebej izberemo

najboljšo rešitev (State of the Art on Concrete; ROLLER-COMPACTED MASS CONCRETE).

Ti betoni, ter njihov način vgradnje, so razmeroma mladi, se jih pa čedalje bolj uporablja. Razlog za to je možna hitrost vgradnje ter enostavnost vgrajevanja, zato jih srečujemo v različnih vejah gradbeništva. Najbolj uporabni in razširjeni so pri hitrih gradnjah težnostnih pregrad ter pri cestogradnjah za manj pomembne ceste, dele letaliških površin, podlog vozišč,... (Žarnič; OSNOVNE LASTNOSTI GRADIV). V zadnjem času pa se čedalje več pojavljajo tudi v nasipih.

Pri uporabi valjanih betonov za nasipe, pa moramo biti pozorni še na stike, saj se nasipa v celotni dolžini ne da narediti. Tako se nasipe gradi po odsekih, pri katerih pa je potrebno pozornost posvetiti tudi stikom med posameznimi deli. Tako se ponavadi posamezen odsek konča s stopničastim zaključkom, ki omogoča ob nadaljni gradnji boljši spoj. Dilatacij pa se pri teh nasipih ne izvaja, saj bi bila to potencialna kritična mesta za povečavo pronicanje. Zato je potrebno, pred začetkom gradnje poskrbeti, da se izvedejo že vsi pričakovani posedki. To lahko naredimo z predobtežbo, pogosteje pa se uporablja komprimacija z valjarji. Tako po izgradnji nasipa ne pride do večjih lokalnih posedkov, ki bi povzročile notranje napetosti ter morebitne razpoke.

## 3. PRIMER

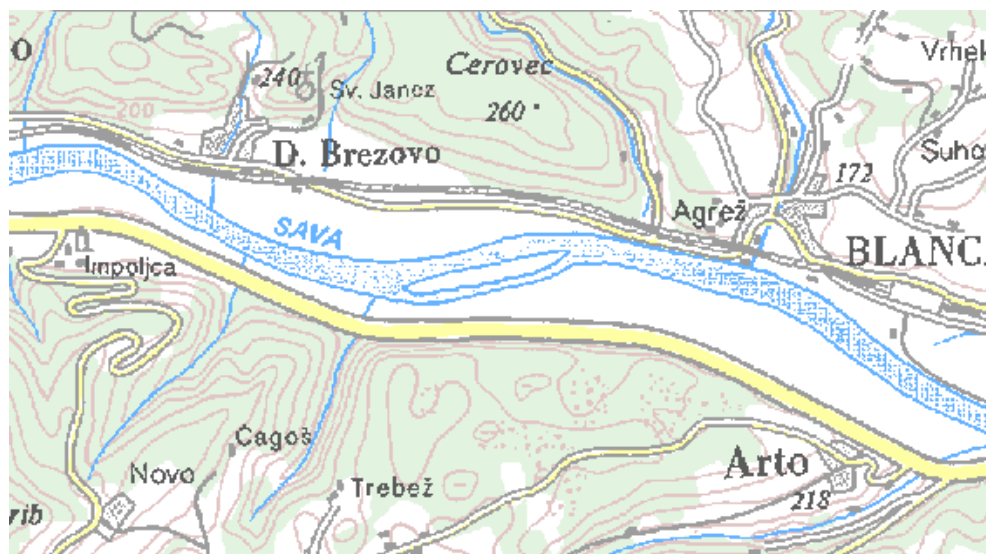
### 3.1. SPLOŠNO O PRIMERU

Za praktični del moje diplomske naloge bom primerjal dve vrsti nasipov med seboj. Tako bom primerjal najbolj pogoste zemeljske nasipe z nasipi narejeni iz valjanih betonov. Primerjava nasipov bo izvedena glede na stabilnosti nasipa, glede na prepustnost nasipa ter tudi ekonomska primerjava nasipov bo izvedena.

Za primer sem vzel nasipe pri hidroelektrani Blanca, ki je trenutno še v fazi gradnje. Podatke za nasipe sem pridobil iz idejnega projekta za HE Blanca (IBE inženiring). V projektu so za levi, ter delno tudi za desni breg Save pred elektrarno načrtovani zemeljski nasipi, katerih namen je zaščita zalednih objektov (predvsem železnice) pred umetnim zvišanjem vodne gladine v akumulaciji.

#### 3.1.1. OPIS OBMOČJA POSTAVITVE NASIPA

Hidroelektrarna je dobila svoje ime po naselju Blanca, ki leži na vzhodnem delu Slovenije, med mestom Krško in krajem Sevnica. Leži v razširjeni rečni dolini reke Save, ki jo obdaja Krško hribovje na jugu ter Kozjansko na severu (slika 9).



Slika 9: Prikaz območja in reliefa kje je načrtovana HE Blanca (slika iz NVATLASA po podatkih idejnega projekta)

Slika 9 prikazuje območje bodoče hidroelektrarne z njeno okolico. Sama pregrada HE Blance je načrtovana pri samem naselju Blanca. Na levem bregu reke so planirani vodni nasipi v dolžini 2000m (do predela, kjer se Sava čisto približa železniški progi), naprej pa je načrtovano nadvišanje terena (zaradi ekonomičnosti). Desni breg je že naravno omejen z gričevjem, pod katerim poteka cestna povezava (G1-5) med Celjem in Krškim. Ta je v večjem delu nad bodočim nivojem vode, deli ki pa niso, pa je potrebno nadvišati. Cesto dodatno še utrdimo z pilotnimi stenami (vir: Prometno-informacijski center za državne ceste).

### 3.1.2. OPIS TEMELJNIH TAL

Na območju elektrarne ter na območju nasipov so bile leta 1985 izvedene geološke vrtine. Te nam pokažejo sestavo tal na območju gradnje. Tako je v prilogi 1 podan izpis meritev vrtine BL-20 do globine 11 m. Lokacija te vrtine je približno 1600 m gorvodno od zajezivitvene pregrade, na območju nasipov. Izpis nam zvezno pokaže spreminjanje sestave tal. V splošnem lahko te plasti razdelimo v štiri skupine:

- preperele vrhnje plasti – do 1 m
- različne preperele plasti prodnih rečnih nanosov – od 1 m do 8,70 m
- preperele plasti temeljnih tal – od 8,70 m do 11 m
- temeljna tla – pri 11 m

Vrtina nam prikaže tudi gladino podtalnice. Ta je bila na dan vrtanja (4.2.1985) pri 6,80 m pod terenom, pri kasnejši meritvi (18.4.1985) pa pri 5,87 m pod terenom. Ugotovljeno je tudi bilo, da je nivo podzemne vode sledil stanju reke pred gradnjo elektrarne, po končani gradnji pa bo, zaradi postavitve tesnilne zavese, nivo podzemne vode odvisen predvsem od dotokov iz zaledja ter od nivoja spodnje vode. Kako neprepustno tesnilno zaveso postavimo, pa vpliva na gladino podtalnice.

Prepustnost temeljnih tal se lahko kar precej spreminja, v odvisnosti od lokacije. Tako imamo razpon  $k$  med  $10^{-3}$  m/s pa do  $4,7 \times 10^{-6}$  m/s (vir: IBE inženiring). V izračunih bom vzel povprečno vrednost:  $k = 3 \times 10^{-5}$  m/s.

## 3.2. ZEMELJSKI NASIP

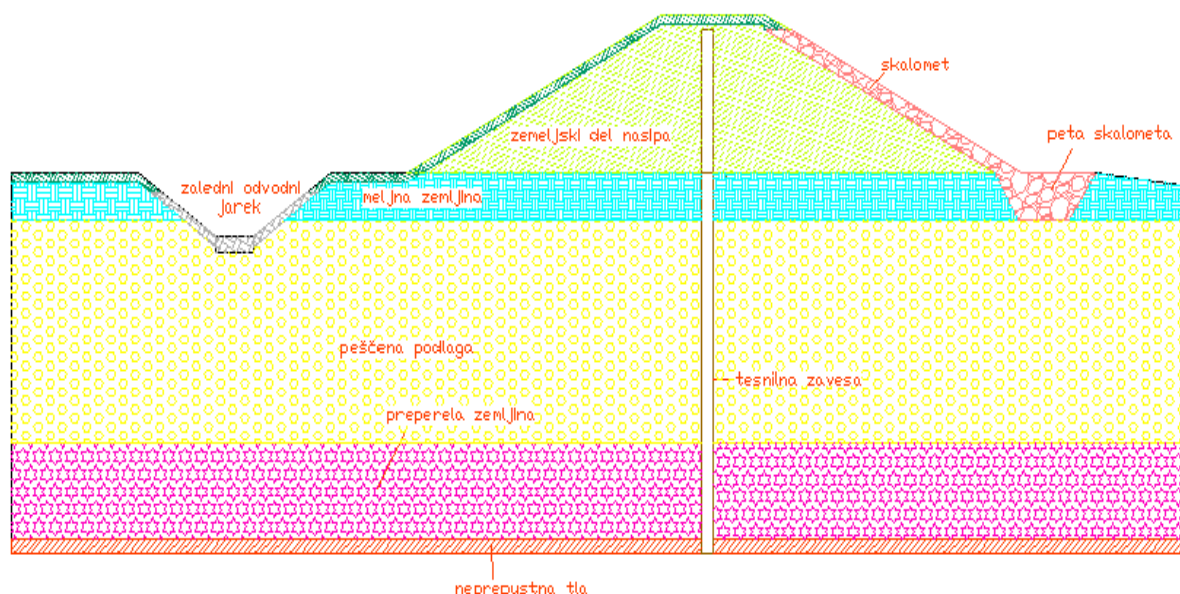
Pri elektrarni HE Blanca je načrtovan tudi bazen, s katerim se bo kota vode dvignila na 174,20 m. S tem dvigom vodne gladine, želimo pridobiti večjo hidravlično višino, ki jo lahko pretvorimo v električno energijo. S tem dvigom vodne gladine, pa ogrozimo okolico pred poplavitvijo. Za preprečitev tega, pa se ob rečni strugi postavi vodni nasip. Večina nasipov pri HE Blanca je potrebnih na levem bregu reke Save, le en del pa tudi na desnem bregu.

Na tem območju je načrtovan zemeljski nasip v dolžini 2000 m, ostalo pa je celotno nadvišanje terena. Vz dolž 2000 m se oblika in dimenzije nasipa, zaradi reliefa, malce spreminja, v osnovi pa je enak. Tako za celotni nasip velja, da mora biti krona nasipa 1,5 m nad vodno gladino (to je na koti 175,70 m). Da je temu zadoščeno, mora povprečna višina nasipa biti 5,2 m, širina krone nasipa pa je 4 m. Ker je to zemeljski nasip, morajo biti brežine bolj položne, zato so pod naklonom 1:2. Tako brežino na zračni strani tudi zatravimo, da preprečimo morebitno erozijo, na vodno stran pa na netkani geotekstil položimo kamnito oblogo v debelino 50 cm. Ta obloga ščiti telo nasipa pred spiranjem jedra, ščiti pa tudi pred udarci valov. Zato je taka obloga potrebna vse do 1 m nad koto vode. Na tej strani brežino zavarujemo še z nožico, ki nam poveča varnost proti zdrsu.

Na zračni strani nasipa je narejen tudi jarek, kateri namen je odvajanje zaledne ter odvečne padavinske vode v spodnjo vodo HE Blanca. Kanal je globok 2-3m, širina na dnu je 1,5m, naklon brežin pa je 1:1,5. Na dnu kanala je postavljena tudi mudla, za sušne pretoke, brežine kanala pa so obložene vse do 1m nad dnem kanala.

Telo nasipa je narejeno iz okoliškega materiala, ki pa ga pri gradnji tudi zgoščamo vse do  $\varphi=32^\circ$ . S tem nasip utrjujemo ter zmanjšujemo zračnih por v nasipu za manjšo prepustnost, izvedejo pa se tudi večino posedkov. Na sredini nasipa poteka tesnilna zavesa, vse do vodonepropustne podlage ter še 1m vanjo. Namen tesnilne zavesa je preprečevanje pronicanja vode skozi in pod nasipom, njena učinkovitost pa je odvisna od njene izvedbe. V našem primeru ima tesnilna zavesa koeficient prepustnosti  $k = 10^{-7}$  m/s, sam nasip pa ima  $k = 10^{-6}$  m/s.

Prečni prerez nasipa je prikazan na sliki 10.



Slika 10: Prikaz prečnega prereza zemeljskega nasipa, ki je narejen pri HE Blanca. Podani so tudi posamezni detajli ter razporeditev materialov.

V preglednici 4 so za različne vrste materialov podane uporabljene vrednosti posameznih karakteristik.

Preglednica 4: V tabeli so prikazane karakteristike posameznih materialov, ki so vgrajeni v zemeljski nasip

	nasip	meljna zemljina	peski	preperela zemljina	nasip	raščeni teren	tesnilna zavesa	hribina	skala	mudla	kamnita obloga
prostorninska teža $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	20	19	21	21	20	19	22	19	24	27	24
kohezija $c$ [MPa]	5	16	0	0	5	2	/	1	0,5	/	0,5
konstantna kohezija $c$ [MPa]	/	/	/	/	/	/	4000	/	/	4000	/
kot trenja $\varphi$ [°]	30	30	40	35	30	28	/	33	45	/	45

Pri materialih betonskega izvora se namesto navadne kohezije podaja konstantna kohezija. S tem povemo, da je tak material zelo tog. Morebitna porušitev bi se tu zgodila hipno.

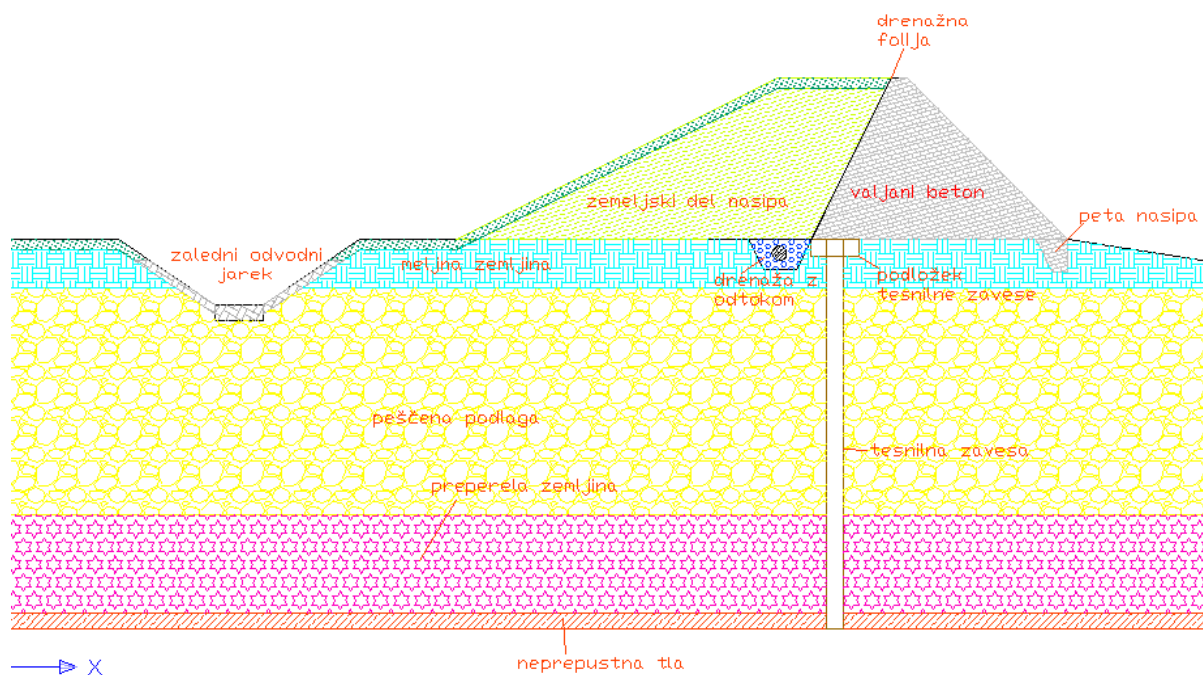
### 3.3. VALJANO BETONSKI NASIP

Ti nasipi so grajeni iz posebnega betona, ki vsebuje minimalno količino cementnega veziva ter je v primerjavi z ostalimi betoni zelo suh (je zemljiško vlažen). Ta beton vsebuje tudi elektrofilterski pepel (silicijski), ki v določeni meri zmanjšuje potrebo po cementu, s tem pa zmanjšamo negativne vplive hidratacijske toplote, poleg tega pa zmanjšuje tudi potrebo po vodi ter ima boljšo zmrzlinško odpornost. Tako nadomesti EFP v betonu 60% vsega potrebnega cementa.

Tudi ta nasip mora biti 2000 m dolg ter v povprečju 5,2 m visok ter 4 m širok. Te dimenzije so enake dimenzijam zemeljskega nasipa, saj je namembnost enaka, širina krone nasipa pa je povezana z možnostjo dostopa do katerega dela nasipa z vozili pri vzdrževanju nasipov. Tudi tu humusno plast najprej odstranimo, nato pa nosilna tla skomprimiramo do potrebne vrednosti, da se znebimo por, s tem pa zmanjšamo prepustnost ter morebitne posedke..

Kot sem že omenil, je valjano betonski nasip bolj tog, zato so lahko njegove brežine bolj strme. Sam material bi nam dopuščal skoraj pravokotne brežine, vendar jih zaradi pogojev dostopnosti ter varnosti proti prevrnitvi, določimo brežine pod naklonom 1:1. Ker pa sem omejil količino valjanega betona, bom preostali del nasipa (zaledna stran) naredil kot zemeljski nasip. Tako ima valjano betonski nasip v kroni nasipa širino le 0,5 m, na dnu pa je ta širina 8 m, saj je vodna brežina pod naklonom 1:1, zaledna valjano betonska brežina pa pod naklonom 1:0,5. Preostali del nasipa je zemeljski, z naklonom brežine 1:2. Posebno pozornost je potrebno dati tudi stiku med obema materialoma, saj je le ta ob morebitni razpoki v valjano betonskem deli najbolj na udaru. Tako je potrebno na jeni del postaviti še drenirno folijo, ki bi omogočala dreniranje precejajoče vode, hkrati pa bi dajala potrebno strižno trdnost zemljini. Precejajočo vodo tako dreniramo v odtočni jarek, ki je postavljen v zalednem koncu valjano betonskega nasipa. Tudi tu naredimo zaledni odvodni jarek, ki nam drenira zaledno vodo ter odvaja odvečno padavinsko vodo v spodnjo vodo HE Blanca (slika 11).





Slika 11: Prikaz prečnega prereza za nasip narejen tako iz valjanega betona kot tudi zemljine.

Slika prikazuje tudi vse zemeljske plasti ki nastopajo ter posamezni detajli, ki so nujno potrebni.

Tudi pri valjano betonskemu nasipu uporabimo tesnilno zaveso za preprečevanje pronicanja pod nasipom, skozi nasip pa je ne izvajamo, saj ni potrebe ker ima valjano betonski del nasipa nižji koeficient vodoprepustnosti kot zemeljski del. Sam valjani beton ima lahko precej manjši koeficient vodoprepustnosti (od 0,15 pa do  $15 \cdot 10^{-11}$  m/s), vendar pa se moramo zavedati da je ta vrednost dobljena v laboratoriju. Na terenu pa se nam pojavljajo manj prepustne mejne plasti med posameznimi dvigi. Tako pronicanje je lahko kar precejšnje, zato se delajo tudi drenažne vrtine, kjer se lahko pronicajoča voda zbira ter tako zmanjšamo pritiske v betonu ali pa vodo v zaledju z drenažo in posebnimi folijami dreniramo. V primeru bomo uporabili tudi plast boljšega navadnega betona, ki nam služi kot prevleka in zaščita valjanemu betonu, nam pa še dodatno zatisni prepustne mejne plasti. Tako bom v primeru za valjano betonski nasip vzel koeficient vodoprepustnosti  $k = 10^{-7}$  m/s.

V preglednici 5 so za različne vrste materialov podane uporabljene vrednosti posameznih karakteristik.

Preglednica 5: V tabeli so prikazane karakteristike posameznih materialov, ki so vgrajeni v valjano betonski nasip

	valjani beton	ostali nasip	tesnilna zavesa	raščen teren	meljna zemljina	peski	preperela zemljina	mudla	skala
prostorninska teža $\gamma$ [kN/m <sup>2</sup> ]	22,5	20	22	19	19	21	24	27	24
kohezija $c$ [MPa]	5	5	/	2	16	0	0	/	0,5
konstantna kohezija $c$ [MPa]	/	/	4000	/	/	/	/	4000	/
kot trenja $\varphi$ [°]	40	30	/	28	30	40	35	/	45

V obeh primerih (zemeljskem in valjano betonskem nasipu) smo v računu upoštevali dva različna načina računanja, v odvisnosti od vrste materiala. Pri zemljinah smo računali z metodo Mohr-Coulomb, pri betonih pa z metodo Undrained, kjer upoštevamo samo (konstantno) kohezijo  $c$ , strižno kot pa je enak nič. Pri tem smo predpostavili, da ima valjano betonski nasip karakteristike zemljin (karakteristike so podane s kohezija  $c$  ter s kotom trenja  $\varphi$ ).

### 3.4. PRIMERJALNI IZRAČUN STABILNOSTI

Račun stabilnosti sem računal s programom Rocscience Slide 5.0. Program se uporablja za iskanje najkritičnejše drsine, izračuna pa nam tudi varnost proti zdrsu te drsine. Račun lahko izvedemo tudi tako, da sami določimo drsino, program pa nam na tisti drsini izračuna varnost proti zdrsu. V večini primerov, pa nas vseeno najbolj zanima kritična drsina.

Varnost proti zdrsu je definirana kot razmerje med silami, ki nam zadržujejo nasip in silami, ki nam želijo nasip spodnesti. Stabilnost bomo računali s pomočjo poenostavljenega Bishopovega ter Janbujevega postopka. Bishopov postopek temelji na računu krožnih drsin, medtem ko ima Janbujev postopek poligonalne drsine (drsino razdeli na več delov in za vsako posebej izračuna sile ki v njej delujejo).

V program vnesemo naš prečni prerez (vir: IBE inženiring), ter določimo meje med posameznimi plastmi. Vsakemu materialu določimo potrebne karakteristike ( $\gamma$ ,  $\phi$ , ter  $c$ ), kasneje, pa po potrebi, dodamo še gladino vode (nivo akumulacije, precejanja ter podzemne vode).

V programu lahko sami določimo tudi stran nasipa (vodno ali zaledno), kjer naj nam program izračuna stabilnost. Običajno je potrebno preverjati obe drsini.

Stabilnost sem računal tako za zemeljski nasip, kot tudi za kombinacijo valjano betonskega in zemeljskega nasipa. Za oba primera sem računal stabilnost pri različnih obtežnih primerih. Primeri so bili 4, pri vsakem primeru pa sem računal stabilnost nasipa na vodni in zračni strani.

- 1. primer: Ta primer prikazuje prečni prerez nasipa brez vplivov vode. Taka situacija se v naravi dogodi, pri času gradnje. Voda takrat ne deluje na nobeno brežino, vsi morebitni vodni tlaki pa si že padli pod mejo, ko bi še vplivali na stabilnost nasipa. Primer takega računa sta na slikah 10 ter 11. Pri tem primeru stran nasipa nima velike vloge, saj bi morala biti varnost na obeh straneh skoraj enaka.
- 2. primer: V tem primeru nastopajo pritiski vode na nasip, prav tako pa se pojavljajo pritiski v samem nasipu zaradi precejajoče vode. Tako stanje običajno najdemo v naravi, ko ima akumulacija konstantno gladino ter konstantno pronicanje. Tu je za pričakovati, da je varnost na zračni strani manjša, saj na vodni strani teža vode pomaga stabilizirati najkritičnejšo drsino (rezultanta sile teže vode deluje v nasprotni smeri kot sile, ki povzročajo zdrs).

- 3. primer: To je primer, v kateremu nimamo pritiska vode na drsino, imamo pa polne porne tlake v nasipu. Tak primer se nam lahko zgodi, če moramo akumulacijo hipno (v zelo kratkem času) popolnoma izprazniti, da se nam porni tlaki v nasipu še niso uspeli prilagoditi novim razmeram. Ta primer je običajno, pri računu stabilnosti najbolj neugoden, saj nam porni tlaki, s svojim vzgonom, zmanjšujejo sprijemnost materiala med seboj. Kritična varnost pri tem primeru je na vodni strani nasipa, saj rezultanta teže sil vode ne deluje več na nasip, hkrati pa porna voda s svojim vzgonom še oslabi drsino.
- 4. primer: Pri tem primeru sem preverjal stabilnost nasipa, ko je voda na maksimalni možni koti, porni tlaki pa so se že prilagodili novim razmeram. Tako stanje se lahko v naravi zgodi pri povečanih pretokih reke, ko želimo s povečanjem akumulirane vode znižati konico poplavnega vala, ter tako omejiti morebitno škodo zaradi poplav. Ta primer je precej podoben 2. primeru, le da je nivo vode višji. Zato je tudi v tem primeru bolj problematična zračna stran nasipa.

Vsi ti 4 primeri, so bili s pomočjo programa Slide 5.0, izračunani za obe strani brežin (prikaz izpisov iz programa so v prilogi 2). V preglednici 6, so podani rezultati varnosti posameznih kritičnih drsin za zemeljske nasipe.

Preglednica 6: V tabeli so prikazane varnosti posameznih kritičnih drsin za zemeljski nasip. Z oznako 'vodna' je mišljena vodna stran brežine, z 'zračna' pa zračna stran brežine.

	primer 1		primer 2		primer 3		primer 4	
	vodna	zračna	vodna	zračna	vodna	zračna	vodna	zračna
varnost	1,569	1,860	1,755	1,860	1,008	1,860	1,913	1,860

V preglednici 6 je podana varnost proti zdrsu pri zemeljskih nasipih, za stacionarno stanje ter za najbolj neugodne primere. Pri pregledu rezultatov opazimo, da je na zračni strani nasipa varnost proti zdrsu pri vseh primerih enaka. Razlog za to je podtalna voda, saj nikoli ne doseže nivoja kritične drsine, zato tuni nima vpliva na stabilnost le te. Varnost proti zdrsu bi se lahko malenkostno znižala le po dolgotrajnem deževju, ko bi le ta dobro namočil zemljino vgrajeno v nasipu, nanjo vplival z hidrostatskim pritiskom ter tako zmanjšal varnost.

Ta primer v nalogi ni zajet, velja pa vedeti, da na varnost proti zdrsni ne vpliva samo precejajoča voda.

Pri varnostih na vodni strani pa so opazne precejšnje razlike med primeri, saj nanj direktno vpliva precejajoča voda. Tu se pojavljajo hidrostatski pritiski, ki nam zmanjšujejo stabilnost. Odvisno od primera pa nam lahko teža vode v sami akumulaciji povečuje varnost, saj s silo pritiska na brežino nasipa ter tako preprečuje zdrs. Tako pri vsakem primeru lahko opazimo, kje ima hidrostatski pritisk večjo veljavo kot teža akumulacijske vode (primer 3) ter kje je tako stanje obrnjeno (primer 2 ter še posebno primer 4) glede na osnovno stanje brez vpliva vode (primer 1). Kot je razvidno iz tabele, je primer 3 najbolj kritičen ter ima varnost proti zdrsni minimalno, če pa nivo vode v akumulaciji še malenkostno pade, pa lahko pričakujemo, da nasip ne bo zdržal vseh pritiskov in bo zdrsnil v akumulacijo. Da bi pa ta zdrs preprečili, pa je potrebno samo počasno praznenje akumulacije, tako da imajo porni tlaki čas da se prilagodijo novim razmeram.

Tudi za valjano betonske nasipe sem s programom Slide 5.0 izračunal stabilnost nasipa. Primer ostaja enak le da sem del zemeljskega nasipa nadomestil z valjano betonskim. Zaradi tega se spremenijo celotne dimenzije nasipa saj valjano betonski del zavzema manj prostora. Tako se v samem nasipu ne pojavlja tesnilna zavesa, ki pa se začne v temeljnih tleh pod valjano betonskim delom nasipa.

Pri računu varnosti proti zdrsni pa moram poudariti, da sem karakteristike valjano betonskega dela nasipa podal z strižnim kotom  $\phi$  ter kohezijo  $c$  (tako kot pri zemljinah) in ne kot trdno betonsko gmoto z konstantno kohezijo  $c$ . To sem naredil zaradi majhnih količin cementa v betonu ter majhne količine vode. Če pa bi se odločil računati valjani beton kot trdno betonsko gmoto, pa bi prišle varnosti proti zdrsni veliko večje (čez vrednost 200). V realnosti so te vrednosti nekje vmes, vendar sem se odločil da za valjani beton vzamem najslabši možni primer.

V tem delu računa sem vzel le prve tri primere, saj četrti primer ni kritičen za račun stabilnosti proti zdrsni ker sile teže vode prevladujejo nad hidrostatičnimi pritiski. Rezultati izračuna so podani v preglednici 7.

Preglednica 7: V tabeli so prikazane varnosti posameznih kritičnih drsin za sestavljen valjano betonski in zemeljski nasip. Z oznako 'vodna' je mišljena vodna stran brežine, z 'zračna' pa zračna stran brežine.

	primer 1		primer 2		primer 3	
	vodna	zračna	vodna	zračna	vodna	zračna
varnost	1,490	1,916	1,731	1,916	1,039	1,916

Tudi pri valjano betonskem nasipu se varnost proti zdrsni podobno spreminja, odvisno od višine zasičenja z pronicujočo vodo ter od sile teže same vode.

Pri primerjavi obeh nasipov med seboj, lahko opazimo da ni velikih razlik v varnostih, res pa je da sem za valjano betonski del nasipa vzel najslabši možni primer. V realnosti bi bila ta odstopanja večja v prid valjano betonstemu nasipu (ta bi imel večjo varnost), tako da lahko na koncu rečemo, da ima valjano betonski nasip večjo varnost proti zdrsni kot zemeljski.

Vsi izračuni iz programa Slide 5.0 so podani v slikovni podobi v prilogi 2.

### 3.5. PRIMERJALNI IZRAČUN PRONICANJA

Druga, izmed primerjav obeh vrst nasipov, je pronicanje vode skozi sam nasip ter tudi pod nasipom. Račun sem izvedel v programu Excel, podatke za obe vrsti nasipov (koeficiente prepustnost za posamezne materiale), ki sem jih uporabil, pa so podani v preglednici 8.

Preglednica 8: Tabela koeficientov vodoprepustnosti za posamezne materiale, ki se uporabijo v izračunu pronicanja vode skozi in pod nasipom

material	k [m/s]
nasip	$1 \cdot 10^{-6}$
hribina	$3 \cdot 10^{-5}$
tesnilna zavesa	$1 \cdot 10^{-7}$
vgrajen valjani beton	$1 \cdot 10^{-7}$

Ker so nasipi sestavljeni iz več vrst materialov, ki imajo različne koeficiente prepustnosti, moramo takemu nasipu najprej določiti enotni koeficient prepustnosti. Zato si najprej izberemo enotni koeficient, temu pa na novo prilagodimo dimenzije nasipa. Tako velja, da nam 1 m nasipa, z koeficientom prepustnosti  $k = 10^{-7}$ , da enake rezultate, kot če vzamemo 100 m nasipa z koeficientom prepustnosti  $k = 10^{-5}$ . Zato sem v obeh primerih, določil svoj enotni koeficient prepustnosti kar z koeficientom hribinskega materiala. Za ta koeficient sem se odločil, ker je najmanjši ter nastopa pri obeh primerjalnih nasipih.

Osnovna enačba, po kateri računamo pronicanje, je Darcyjeva enačba, ki je pri poglavju 1.3.3 zapisana kot enačba 6 ( $Q = k \cdot A \cdot \Delta h / l$ ). Sam izračun pa bom izvedel z spremenjeno Darcyjevo enačbo, namenjeno pronicanju za enodimenzijski tok s prosto gladino. Enačba se glasi:

Enačba 14): **Darcyjeva enačba za enodimenzijski tok s prosto gladino**

$$q = k \cdot (h_1^2 - h_2^2) / (2 \cdot L)$$

kjer so:

q – pretok na tekoči meter nasipa

k – koeficient prepustnosti

$h_1$  – zgornji nivo gladine vode

$h_2$  – spodnji nivo gladine vode

L – razdalja med opazovanima točkama v horizontalni smeri

To enačbo sem izbral zaradi dejstva, ker pri nasipu računamo pronicanje le prečno na nasip (v eni dimenziji), pa tudi v realnosti se največkrat pojavlja ta oblika pronicanja.

Pronicanje sem računal za 3 primere (2 primera za zemeljski nasip ter 1 primer za valjano betonski nasip).

- Primer 1 predstavlja pronicanje vode skozi zemeljski nasip, kjer sta  $h_1$  in  $h_2$  zgornji in spodnji koti vode,  $L$  pa je razdalja med opazovanima točkama v horizontalni smeri kjer je koeficient prepustnosti v vseh materialih že enak. Predpostavljeno je, da leži nasip na nepropustnih temeljnih tleh ter da pronicanje poteka samo skozi nasip.
- V primeru 2 računamo pronicanje pod zemeljskim nasipom. Tu se je dolžina  $L$  spremenila, saj imajo boljši materiali manjši vpliv na koeficient, pa tudi začetek računanja pronicanja se je premaknil. Tu je potrebno predpostaviti, da je sam nasip neprepusten, ter da se celotno pronicanje izvaja pod nasipom.
- Zadnji primer je primer pronicanja pod valjano betonskim nasipom. Način računa je enak kot pri primeru 2 le da je spremenjena dolžina  $L$ .

Pri tem pregledu bi lahko rekli, da obstaja še 4. primer, kjer voda pronica skozi valjano betonski nasip. Ker pa ima valjani beton koeficient prepustnosti enak tesnilni zavesi, njegove dimenzije pa so nekajkrat večje, se celotno pronicanje dogaja pod nasipom, kjer je pretok lažji.

Količine, ki sem jih uporabil, so podane v preglednici 9.

Preglednica 9: Tabela prikazuje vse uporabljene vrednosti v računu pronicanja

	primer 1	primer2	primer 3
$k$ [m/s]	$3 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$
$h_1$ [m]	14,5	14,5	14,5
$h_2$ [m]	9	9	9
$L$ [m]	77	46	41

Iz preglednice 9 lahko vidimo, da so pogoji pri vseh enaki, le razdalje med opazovanimi točkami so različne. Razlog za to je določitev enakega koeficienta prepustnosti za vse plasti v posameznem primeru. Zaradi boljše predstave koliko vpliva ta sprememba na oddaljenost opazovanih točk, sem tudi med primeri obdržal enaki koeficient. Pozicija teh dveh točk pa ni naključno izbrana ampak ju določim v odvisnosti od načina pronicanja. Tako je začetna točka za prvi primer dana na stičišče vodne gladine ter nasipa (na začetek pronicanja), za druga dva



primera pa jo določim na skrajni spodnji rob vodnega dela nasipa. Druga točka je v vseh primerih podana na isto mesto – na desni spodnji rob zalednega jarka, kamor se ta voda drenira. V preglednici 10 so podani pretoki za posamezne primere.

Preglednica 10: Tabelarni prikaz pretokov skozi ali pod nasipom za vse 3 primere

	primer 1	primer2	primer 3
pretok q [m <sup>3</sup> /s]	2,52*10 <sup>-5</sup>	4,21*10 <sup>-5</sup>	4,73*10 <sup>-5</sup>

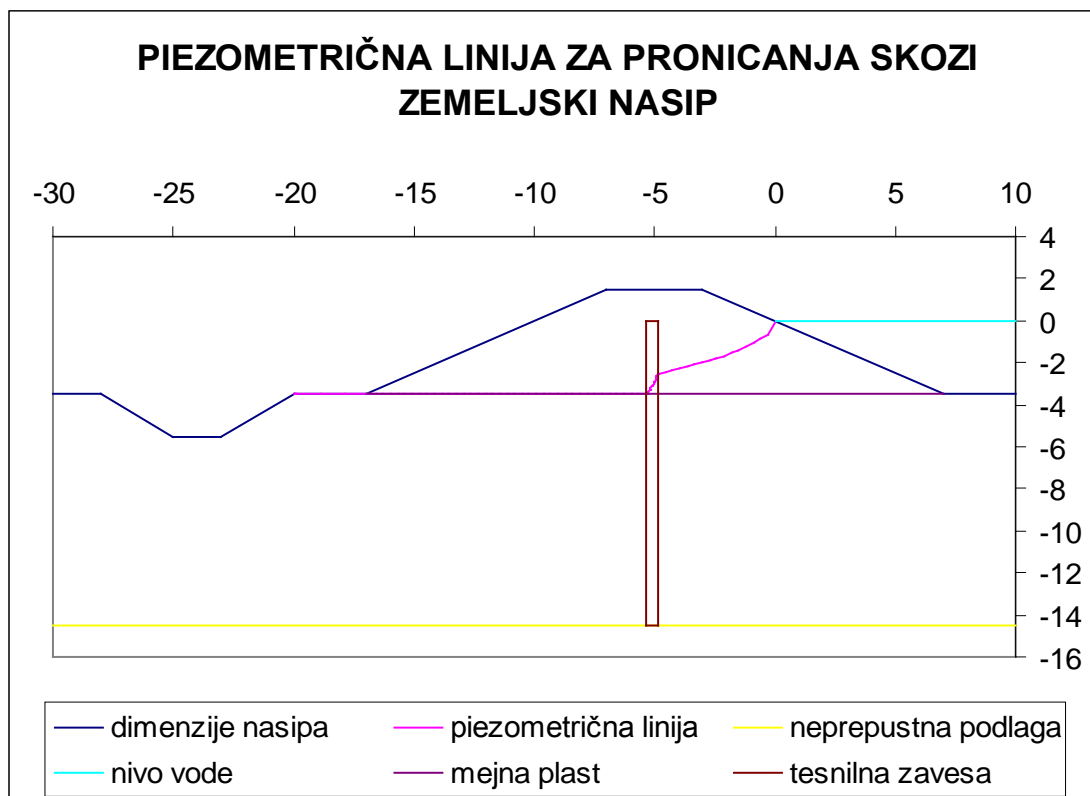
Izračunane vrednosti nam povedo, koliko vode lahko vsako sekundo pronica skozi ali pod nasipom. Zavedati pa se moramo, da so izračunani pretoki podani na tekoči meter nasipa. Če želimo celotno količino pronicane vode, pa je potrebno upoštevati še dolžino celotnega nasipa.

Če želim primerjati prepustnost obeh nasipov med seboj, moram vrednosti primera 1 in 2 med seboj sešteti, saj je končni rezultat celotno pronicanje, ki ga posamezni nasip dovoljuje. Pri valjano betonskemu nasipu pa zaradi samih karakteristik valjanega betona vsota pronicanja kar enaka pronicanju pod nasipom, ker smo rekli da skozi nasip voda ne teče. Tako lahko opazim, da je pronicanje pri valjano betonskemu nasipu za približno tretjino manjši kot pri zemeljskem nasipu.

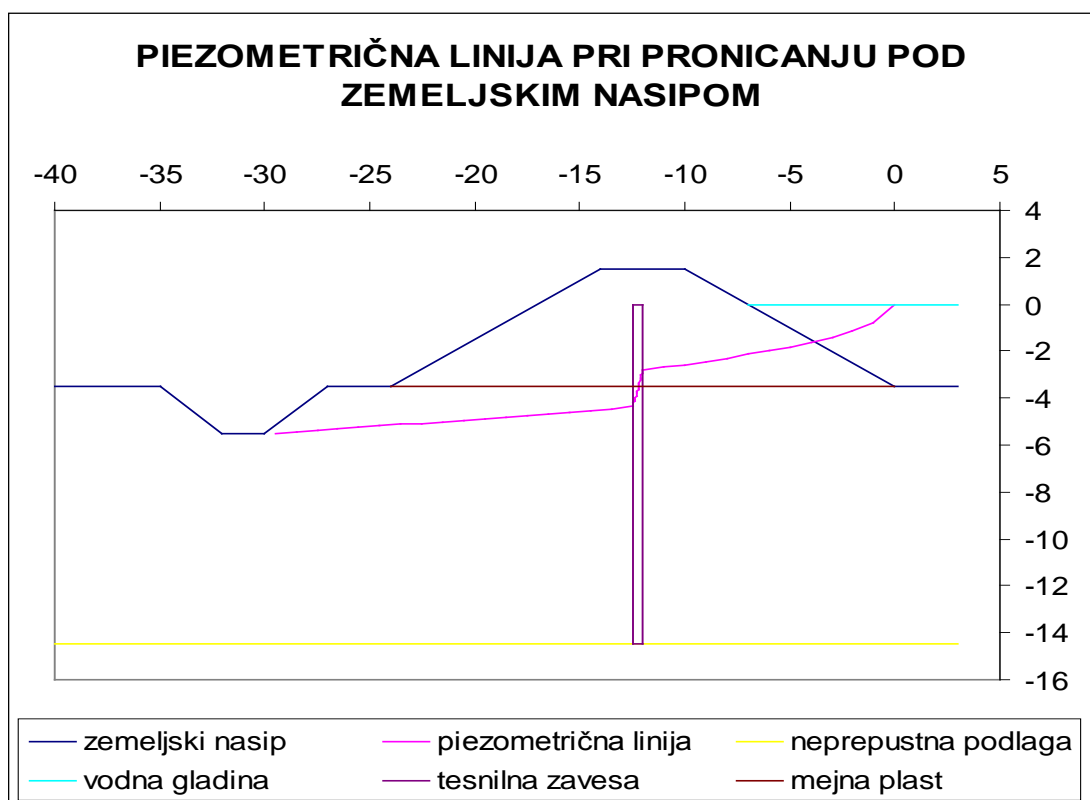
Iz vidika pridobivanja energije želimo pronicanje zmanjšati na minimum, saj nam predstavlja izgubo vode. Iz naravovarstvenega vidika pa ne želimo popolne tesnitve, saj bi radi obdržali čim bolj naravo gibanje vode. Tako želimo, da se voda iz akumulacije lahko vsaj delno izmenjuje z zalednimi vodami, ter tako še vedno dopuščamo možnost vpliva na nivo podzemne vode (podtalnice) v sušnih obdobjih.

Malce slabši koeficienti prepustnosti so včasih dovoljeni še zaradi časovnega faktorja. Vsa ta območja, so v akumulaciji, kjer se odlaga rečni material, še posebej fini delci kot so mulj in glina. Ti delci zaprejo še nezaprta pore, skozi katere je prej tekla voda, in jih zamaši. Zaradi tega se čez čas koeficienti pronicanja ter s tem tudi njihovi pretoki še zmanjšujejo.

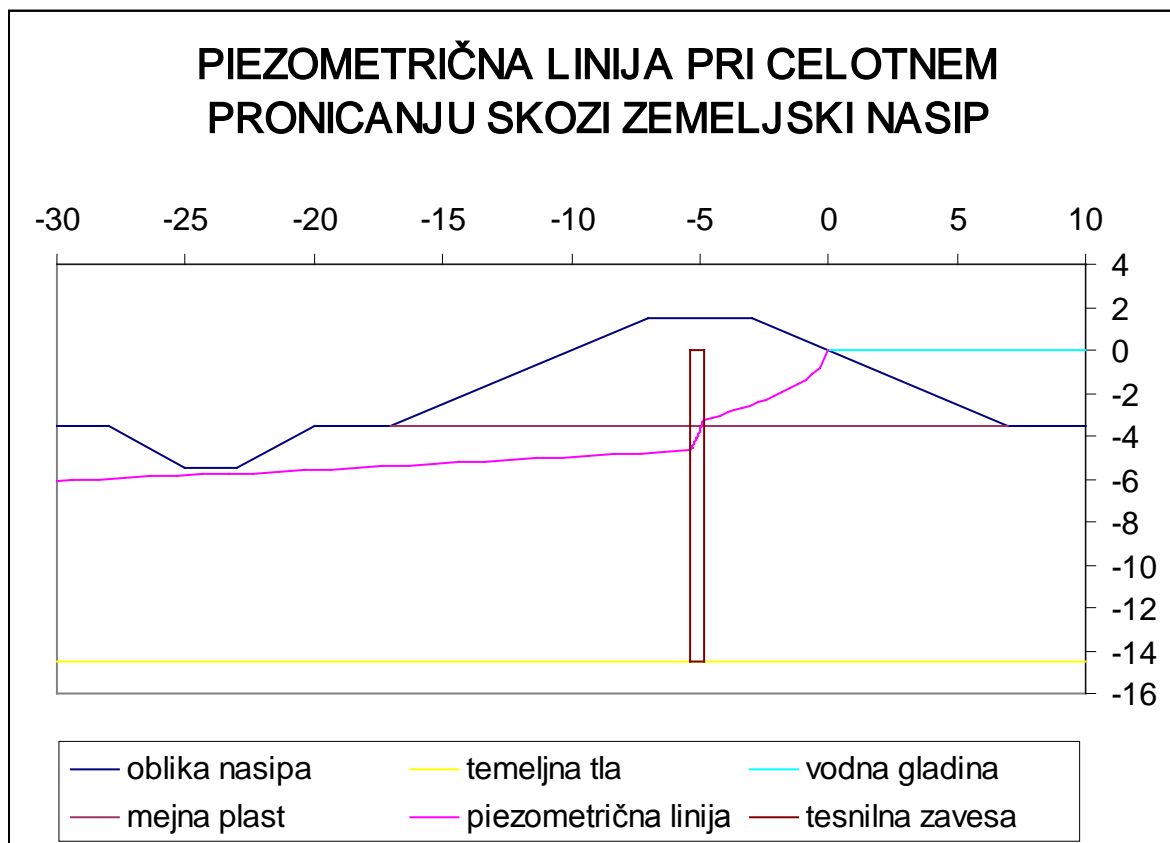
Ko sem izračunal naše kritične pretoke, sem v programu Excel izrisal tudi tokovnico pronicajoče vode (piezometrično linijo), za realne dimenzije nasipov. Tako lahko vidimo, na katerem območju je padec vodnega pritiska največji in kje manjši. Podal pa sem tudi piezometrično linijo za celoten zemeljski nasip (pronicanje pod in skozi nasip na enotni sliki). Vse štiri izrise sem podal kot slike od 12 pa do 15.



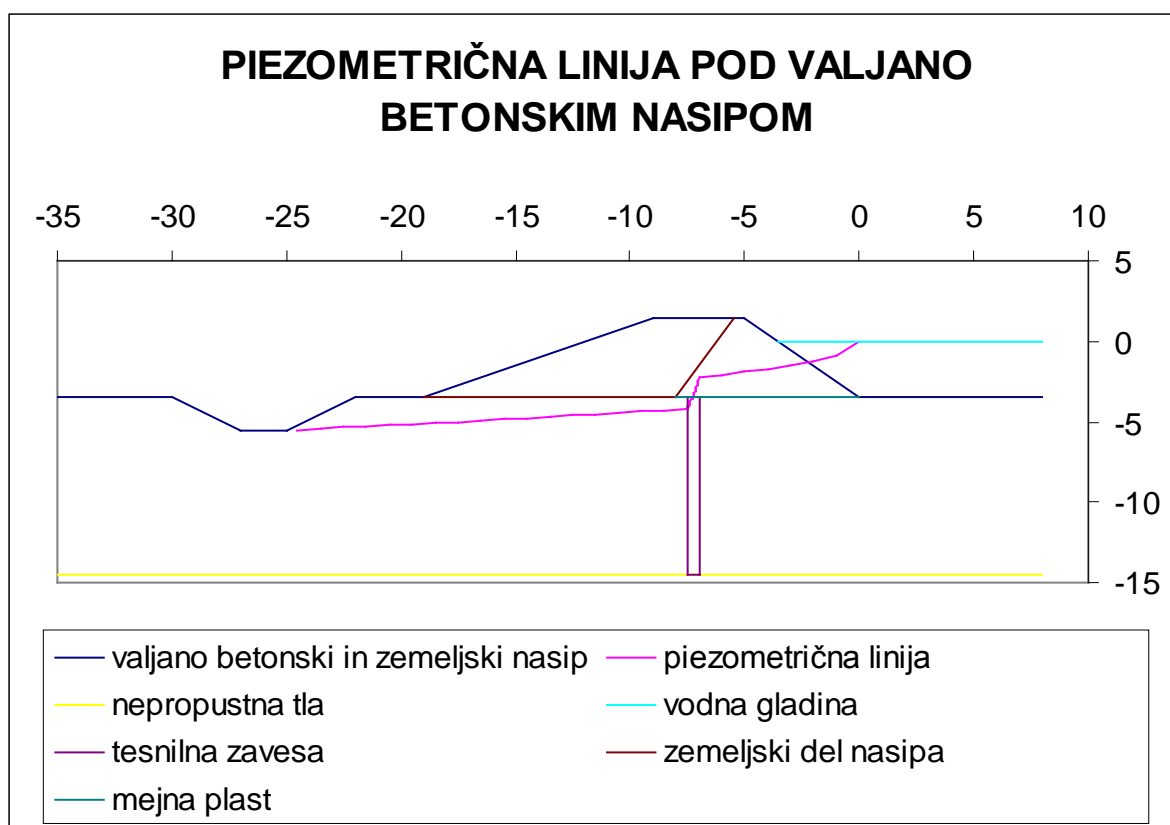
Slika 12: Prikaz tokovnice za pronicajočo vodo skozi zemeljski nasip (primer 1) na nepropustnih temeljnih tleh



Slika 13: Prikaz tokovnice za pronicajočo vodo pod zemeljskim nasipom (primer 2)



Slika 14: Prikaz tokovnice za pronicajočo vodo za celotni zemeljski nasip (primer 1 in 2 skupaj), pri vrednosti pretoka  $q = 4,21 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$



Slika 14: Prikaz tokovnice za pronicajočo vodo pod valjano betonskim nasipom (primer 3)

Na slikah od 12 pa do 15 je prikazana piezometrična linija. Ta linija nam pove, do kam bi segala gladina, če nebi bila omejena. Tako je pri primeri 15, kjer voda pronica pod nasipom ta linija poteka skozi valjani beton, čeprav sem rekel da skozenj ni pronicanja. Prav tako je pokazan padec linije izven tesnilne zavesi, ki pa se zgodi v sami zavesi. Prikazan je samo shematski prikaz, kje se piezometrična linija spremeni ter kaj je razlog za to.

### 3.6. EKONOMSKI PRIMERJALNI IZRAČUN

Ekonomska primerjava obeh nasipov je velikega pomena, saj želimo izgraditi varen in uporaben objekt po čim cenejši ceni. Zato je pri projektih, kjer imamo na izbiro več vrst rešitev, cena običajno tista, ki bo določila katera rešitev se bo izvedla.

Pri računu bom upošteval vsa dela, ki so povezana z gradnjo nasipov ter tudi nabavo potrebnih in deponiranje odvečnih materialov za celotno dolžino nasipa (2000 m), kjer je postavljen klasični nasip. Popis potrebnih del, pri gradnji zemeljskih nasipov, sem z dovoljenjem HSE-ja, dobil iz idejnega načrta gradnje HE Blanca (IBE inženiring). Ker pa za valjano betonski nasip ni narejenega takega popisa del, sem moral sam določiti potrebna dela, ki pa je precej podoben popisu zemeljskega dela. Večina del je pri obeh primerih enakih (odstranitev ter odvoz humusa v deponijo, način vgradnje,...), druga dela je treba prilagoditi, tretja pa so pri valjanih betonih na novo.

Tako so v tabeli 11 prikazana potrebna dela za gradnjo zemeljskega nasipa, glede na popis del. Tabela je razdeljena na dva dela, kjer so v prvem delu prikazana zemeljska dela, v drugem pa betonska dela (injekcijska in betonarska dela). Poleg posameznih del, so podane tudi količine s svojimi enotami, njihove cene ter celotna vrednost posameznega dela. Cene sem določil s pomočjo knjige s cenikom (inženirig biro Marinko d.o.o.; CENING – GRADBENA DELA), ter s pomočjo opisa del, kjer so cene za določena dela že določena. Količine, ki jih potrebujemo bom podajal na tekoči meter nasipa, zato je tudi vrednost nasipa podana na tekoči meter (pri prevozi in pripravi potrebne opreme za injeciranje, sem celotno ceno delil z dolžino 2000 m, ostale vrednosti pa niso odvisne od dolžine nasipa).

Preglednica 11: Tabela prikazuje potrebni obseg del za gradnjo zemeljskega nasipa, poleg pa so podane tudi količine na tekoči meter nasipa, njihova cena ter vrednost

<b>ZEMELJSKI NASIP</b>					
		količina	enota	cena	vrednost
1.	ZEMELJSKA DELA				
1.1.	nabava + čiščenje terena	33	m2/m	2000	66000
1.2.	izkop+odvoz na deponijo (90% III. kat., 10% IV. kat.)	35	m3/m	900	31500
1.3.	humusni (0,4 m) odriv na deponijo + zakoličitev	9,6	m3/m	800	7680
1.4.	nabava potrebnega dodatnega materiala (50%)	35	m3/m	3600	126000
1.5.	izdelava nasipa:				0
	zemeljski nasip - izdelava	70	m3/m	850	59500
	skalometna peta	7	m3/m	6500	45500
	skalometna obloga	11	m2/m	5800	63800
	zatravitev	17	m2/m	1200	20400
2.	INJEKCIJSKA DELA				0
2.1.	injekcijska zavesa	15	m2	20000	300000
2.2.	prevozi in priprava potrebna opreme za 1 komplet	2	kom/m	375	750
	<b>CELOTNA CENA ZA TEKOČI METER NASIPA</b>		SIT		<b>721130</b>

V preglednici 12 pa so prikazana vsa dela ki so potrebna za izdelavo valjano betonskega nasipa.

Preglednica 12: Tabela prikazuje celotni potrebni obseg del za gradnjo valjano betonskega nasipa, zraven pa so podane tudi količine, njihova cena ter vrednost ki nanese.

<b>VALJANO BETONSKI NASIP</b>					
		količina	enota	cena	vrednost
1.	ZEMELJSKA DELA				
1.1.	nabava + čiščenje terena	25	m2/m	2000	50000
1.2.	izkop+odvoz na deponijo (90% III. kat., 10% IV. kat.)	35	m3/m	900	31500
1.3.	humusni (0,4 m) odriv na deponijo + zakoličitev	7,2	m3/m	800	5760
1.4.	izdelava nasipa:				0
1.5.	zemeljski nasip - izdelava	36,3	m3/m	850	30855
1.6.	zatravitev	15	m2/m	1200	18000
2.	INJEKCIJSKA DELA				0
2.1.	injekcijska zavesa v temeljna tla 10 m globoko	10	m2	20000	200000
2.2.	prevozi in priprava potrebna opreme za 1 komplet	2	kom	375	750
3.	BETONSKA DELA				0
3.1.	nabava in vgradnja betona	21,25	m3/m	18000	382500
	<b>CELOTNA CENA ZA TEKOČI METER NASIPA</b>		SIT		<b>719365</b>

Pri primerjavi obeh rezultatov (iz preglednice 11 in 12) lahko opazimo, da sta nasipa tudi po finančni plati precej podobni. Tako je glavna značilnost primerjave v tem, da se pri zemeljskem nasipu uporabi več materiala, ki je cenejši, pri valjano betonskem nasipu pa je vgrajenega manj materiala, ki pa je cenovno dražji. Sam način vgradnje je zelo podoben, zato

tu ni velikih cenovnih razlik, je pa potrebno upoštevati dejstvo, da se mora pri zemeljskemu nasipu izvajati tesnilna zavesa tako skozi nasip kot temeljna tla, pri valjano betonskem nasipu pa imamo injeciranje tesnilne zavesa samo v tleh.

Vse te cene so prilagojene za moj primer. Pri različnih razmerah gradnje se lahko cena tako enega kot tudi drugega nasipa močno spremenijo, saj se cene močno spreminjajo v odvisnosti od dostopnosti posameznega materiala, od lokacije gradnje nasipa, od zahtevnosti, od sestave temeljnih tal, od namembnosti zemljine ki jo z nasipom zasedemo, ... Zato je potrebno za vsak primer posebej izračunati kateri nasip se nam bolj splača, sem pa s tem primerom prikazal, da so tudi valjano betonski nasipi cenovno primerljivi ali celo boljši od zemeljskih nasipov.

## 4. ZAKLJUČEK

V moji diplomski nalogi, sem se odločil predstaviti možnost uporabe valjanih betonov v nasipih. Naredil sem tudi primerjavo med klasičnim zemeljskim nasipom ter nasipom narejenim iz valjanega betona. V primeru sem med seboj primerjal stabilnost nasipa proti zdrsni, količino precejajoče vode pod in skozi nasip ter v ceni. Iz rezultatov se lahko opazi, da je gradnja z valjanim betonom v vseh primerih čisto primerljiva z običajnim načinom gradnje, pa čeprav sem v izračunih vzel slabše predpostavke za valjani beton. Tako sem pri računu stabilnosti za valjani beton vzel podobne karakteristike kot jih ima zemljina in ne kot navadni beton. S tem sem močno zmanjšal njegovo stabilnost, ki pa je bila še vedno nad dovoljeno mejo ter primerljiva s stabilnostjo zemeljskega nasipa kljub strmejšemu naklonu brežine. Tudi pri pronicanju sem dobil podatke, da ima valjani beton koeficient prepustnosti  $k = 1 \cdot 10^{-9}$ . Ker pa so te podatki dobljeni v laboratoriju, sem ta koeficient zmanjšal na  $k = 1 \cdot 10^{-7}$  pri vodotesni zaščiti narejeni iz boljšega betona. Razlog za to je predvsem v slabi izvedbi mejnih plasti pri višanju, ko se obe plasti popolnoma ne sprimetata med seboj, zato tu nastane bolj prepustna plast. Vsa ta dejstva dajejo valjanemu betonu še večjo vrednost, saj bi se v realnosti lahko izkazal še za boljšega, kot je bil prikazan tu v primeru. Potrebo pa se je zavedati, da pa pri slabem vgrajevanju valjanega betona v nasip lahko njegove karakteristike močno pokvarimo, s čimer pa bi lahko ogrozili uporabnost takega nasipa. Zato je pri valjanemu betonu pomembno, da se ga gradi točno po pravilih, še posebej pri njenih časovnih omejitvah. Tako se lahko zaradi zamujanja časovnih omejitev lastnosti kvaliteta betona zelo poslabša (povečanje prepustnosti betona zaradi slabe sprijenosti dveh plasti), če pa želimo ta stik kvalitetno narediti pa nam gradnjo precej podraži. Prav tako pa na karakteristike valjanega betona močno vplivajo količine in kvaliteta posameznih osnovnih elementov sestave valjanega betona. Tako so za take betone najbolj značilne majhne (minimalne) potrebne količine cementa (okoli 100 kg na  $m^3$  betona), ki ga v določenem odstotku lahko nadomeščamo tudi z pucolani ali pa z elektrofilterskim pepelom. Če je tega preveč v valjano betonski mešanici se proizvede večja hidratacijska toplota, ki pa nam z povečanimi notranjimi silami negativno vpliva na lastnost nasipa. Z manjšimi količinami cementa pa vplivamo tudi na potrebno količino vode v takem betonu. Tako nam lahko majhno odstopanje v količinah vode precej spremeni karakteristike valjanega betona, zato je potrebno pri sestavi betonske mešanice upoštevati tudi trenutne vremenske razmere, saj pri vročem dnevu imamo veliko izhlapevanje (pojavi se primanjkljaj vode potrebne za hidratacijo), v deževnih dneh pa je te



vode preveliko. Tako prilagajanje vremenskim vplivom pa je lahko precej naporno in težavno. Če pa je pogojem pri izdelavi betona izpolnjeno pa lahko gradnja poteka zelo hitro. V takih primerih smo potem omejeni le z možno dostavitvijo valjanega betona ga gradbišče, ter pride sama izvedba precej rutinska in enostavna. Tako v primerjavi z zemeljskim nasipom nimamo problemov z določevanjem lokacije posameznega materiala, saj je tu material povsod enak in dobre kvaliteta. Pri tem lahko prihranimo precej časa pa tudi do napak, lociranja položaja posameznega zemljinskega materiala, v nasipu nimamo. Prav tako ni potrebna zaščita brežine zaradi mehanskega vpliva valovanja vode, kot je to pri zemeljskih nasipih s skalometom. Se pa pri valjano betonskem nasipu vseeno uporabi beton boljše kvalitete za zgladitev površin in njihovo zaščito, saj s tem bolj zatesnimo morebitne precejajoče poti, povečamo pa tudi odpornost na atmosferske vplive. Tako skalomet, kot tudi betonska obloga pa sta vsak pri svoji vrsti nasipa pomembna člena pri zagotavljanju dolgotrajne uporabe. S tem, ko smo valjano betonski nasip obdali z betonsko prevleko, smo mu zmanjšali tudi koeficient pronicanja, ki je sedaj kar podobna koeficientu tesnilne zavese. Ob taki vrednosti koeficienta ter debelini nasipa, pa nam ni potrebno skrbeti za pronicanje skozi valjano betonski nasip, s tem pa se ognemo tudi možnosti pojava notranje erozije v nasipu, zato v takem nasipu ne potrebujemo tesnilne zavese. Ta pa je potrebna v temeljnih tleh tako kot pri zemeljskemu nasipu.

Pri primerjavi obeh nasipov pa je potrebno pogledati tudi ekološki vidik. Tudi tu se pri obeh nasipih pojavljajo tako prednosti in slabosti. Tako predstavlja za valjane betone največja slabost uporaba umetnega materiala, ki je nerazgradljiv ter se ga po uporabi težko odstrani. Tudi vizuelno ni najbolj prijeten, vendar pa se lahko z različnimi prevlekami, ki omogočajo zasaditev rastlin, prekrije ter saj delno odpravi to neprijetnost. Ravno nerazgradljivost valjano betonskih nasipov, pa je tudi njihova dobra stran, saj je tak nasip bolj odporen na staranje, pa tudi živali in rastline ga težje uničujejo. Te so velik sovražnik zemeljskih nasipov, saj s svojim kopanjem brlogov ter z rastjo korenin, uničujejo notranjost jedra ter tako tudi stabilnost nasipa. Zato je potrebno pri zemeljskih nasipih pogostejše obnavljanje ter vzdrževanje. Pri valjanih betonih pa je potrebno obnavljanje redkejše, je pa zato tudi bolj zahtevno. Tako je največji problem valjanih betonov pojav razpok, skozi katere lahko ne le pronica ampak kar teče voda. Sanacija takšnih poškodb pa je precej zahtevno (injeciranje razpok, nižanje gladine akumulacijske vode). Tudi pri zemeljskih nasipih se pojavijo take poškodbe, ki pa so po navadi lažje rešljive, pa tudi sama podajnost nasipa je večja, tako da se vsaj delno že sam popravi. Take poškodbe se najpogosteje pojavijo zaradi slabe komprimacije temeljnih tal ter diferencialnih posedkov. Ker posedki po celi dolžini nasipa niso enakomerni, se v notranjosti

pojavijo notranje sile, ki so lahko tako velike, da povzročijo razpoke v samem nasipu. Ta pojav je manj pogost pri zemeljskih nasipih prav zaradi večje podajnosti, saj se pod notranjimi silami enostavno prestavi v novo lego, ne da bi pri tem nastale razpoke. Valjano betonski nasip pa je bolj tog, ter se težje prilagaja novim razmeram, zato pri večjih posedkih počí. Vsem tem napakam se rešujemo s pravilnim in učinkovitim komprimiranjem da preprečimo nezaželene posedke. Ta problem bi se dalo rešiti tudi z uporabi diletacij v samem nasipu, kjer pa nastane problem zagotavljanja dovolj dobre vodotesnosti, nosilnosti ter predvsem trajnosti takega stika. Z ustreznimi raziskavami pa bi lahko tako dilatacijo, ki bi zahtevala vsem tem pogojem, tudi našli in bi s tem bolj učinkovito preprečili nastanek razpok.

Ob pregledu vseh primerjav, ugotovim, da sta si oba nasipa precej podobna, lahko pa se precej tudi razlikujeta, v odvisnosti od položaja postavitve nasipa. Tako ima valjano betonski nasip omejeno možnost uporabe. Tak nasip lahko gradimo le na takih temeljnih tleh, ki ne povzročajo velikih posedkov, ter so bolj stabilna, saj so pritiski pod takim nasipom večji (manjša površina). Zato je pred izbiro valjano betonskega nasipa potrebnih večje število geotehničnih raziskav, ki nam povedo na kakšnih tleh bi mi radi gradili ter bi s tem zmanjšali možnost pojava slabih temeljnih tal v času gradnje.

Manjša površina valjano betonskega nasipa pa nam poveča možnost uporabe, saj znajo biti zemeljski nasipi precej široki, kar je neprijetno če nimamo dovolj prostora oziroma če želimo uničiti čim manj prostora. Tako sem pri primeru, samo z delno nadomestitvijo zemeljskega nasipa z valjano betonskim, prihranil skoraj 10 m širine, ki je ni bilo potrebno odkupiti ter uničiti njenega habitata.

Pri gradnji nasipov se v prihodnosti vsekakor splača, poleg klasičnih zemeljskih nasipov, upoštevati tudi nasipe narejene iz valjanega betona. Smiselnost uporabe tako enih kot tudi drugih nasipov je potrebno za vsak primer posebej preračunati, saj ni možno pri vseh primerih samo en nasip. Tako že v mojem primeru se lahko brez slabe vesti odločimo tako za enega kot drugega, v odvisnosti od posameznih lastnosti ki jih pri nasipu želimo.

## 5. PRILOGE

### PRILOGA A: PRIKAZ SESTAVE TEMELJNIH TAL

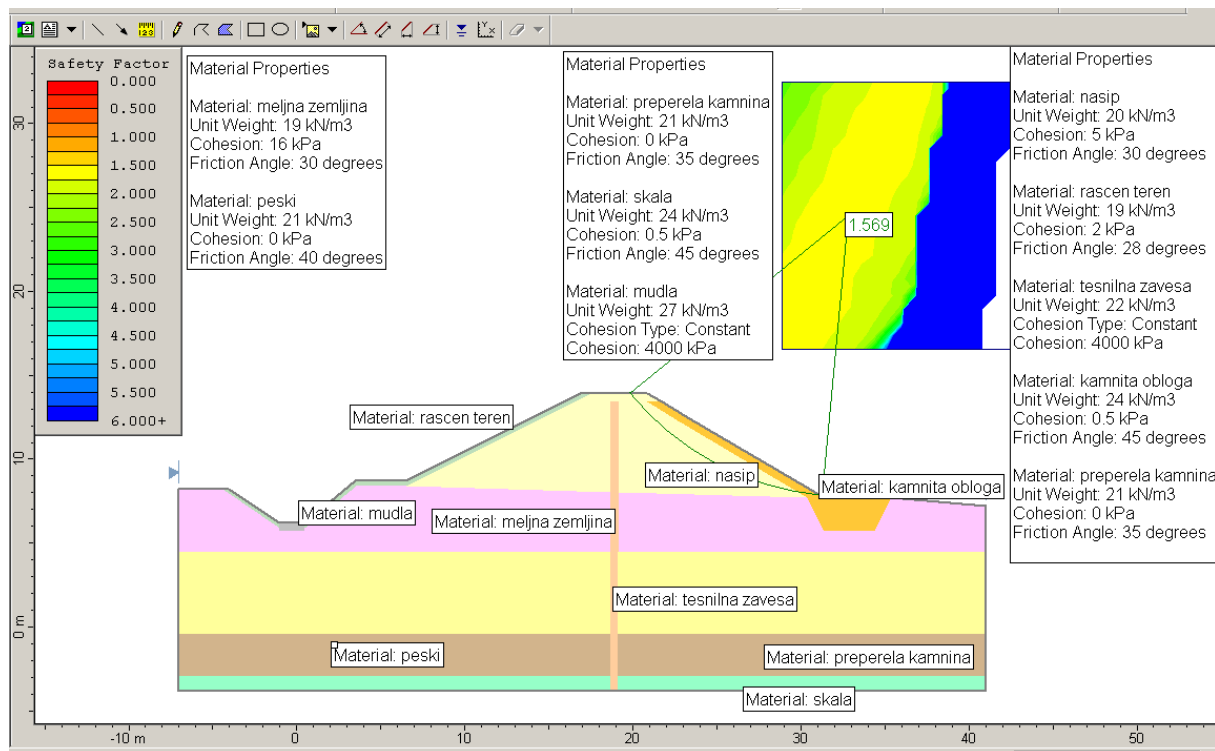
GEOLOSKI ZAVOD LJUBLJANA TOZD I – GEOTEHNIKA		SONDA: BL-20 List št.: 1 Globina: 11,0 Št. listov: 2 Vrsta:		INVESTITOR: EGS-/druž.el.gosp.SRS						
Oznaka preizkave:		Situacijska skica:		OBJEKT: HEp Blanca						
Namen:				OBDELAL: J.Štepec, kem.tehn.						
Objekt:				PREGLEDAL: B.Rijavec, dipl.inq.gr.						
Oznaka situacije:				D.N. 1353/84 DATUM:						
Merilo: 1:50										
Kota vrha: 171,81		y = 5528465								
Datum: 4.-5.2.85		x = 5094485								
Vodja: Pečnik										
NAČIN VRTANJA	GLOBINA E	KLASIFIKACIJA graf AC	GEOLOŠKA NAST.	OPIS	OZNAKA VZORCA	REZULTATI TERENSKIH IN LABORATORIJSKIH PREIZKAV				
						W	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	N	OPOMBE
	0,20			humus						
	0,50	ML		melj,rjav z redkimi prodniki						
	1,00	ML		melj, svetlorjave barve						
	1,50	SFs		slabo granulirana peščeno meljna zemljina, rjave barve						
	3,40		SUdr	enakomerno granulirani drobni pesek, rjave barve						
	5,00	GP GFs		slabo granulirana prodno peščena do slabo granulirana prodno peščeno meljna zemljina, sivorjave barve						
	8,70		GP	slabo granulirana prodno peščena zemljina			18.4.85			- 5,87
	9,30			olivno rjav preperel labor.skrilavec s kosi temnosivega apnenca						
				sivoplav preperel glinovec s kosi temnosivega apnenca (mestoma drobna laminacija)			4.2.85			- 6,80
PODTALNICA	DATUM	4.2.85	18.4.85			PODATKE POTRJUJE:			PRILOGA:	2,55
	NIVO	165,01	166,18							

GEOLOŠKI ZAVOD LJUBLJANA TOZD I – GEOTEHNIKA		SONDA: BL-20 List št.: 2 Št. listov: 2 Globina: 11,0 Vrsta:		INVESTITOR: EGS-Zdruz.el.gosp.SRS						
Oznaka preizkave:		Situacijska skica:		OBJEKT: HEp Blanca						
Namen:				OBDELAL: J.Štepec, kem.tehn.						
Objekt:				PREGLEDAL: B.Rijavec, dipl.ing.gr.						
Oznaka situacije:				D.N. 1353/84 DATUM:						
Merilo: 1:50										
Kota vrha: 171,81		y = 5528465								
Datum: 4.-5.2.85		x = 5094485								
Vodja: Pečnik										
NACIN VRTANJA	GLLOBINA	KLASIFIKACIJA	GEOLOŠKI NAST.	OPIS	OZNAKA VZORCA	REZULTATI TERENSKIH IN LABORATORIJSKIH PREIZKAV				
						W	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	N	OPOMBE
	11,0	AC		sivoplav preperel glinovec s kosi temnosivega apnenca (mestoma drobna laminacija)						
PODTALNICA	DATUM	4. 2. 85	18.4.85		PODATKE POTRIBNI					PRILOGA: 2,55a
	NIVO	165,01	166,18							

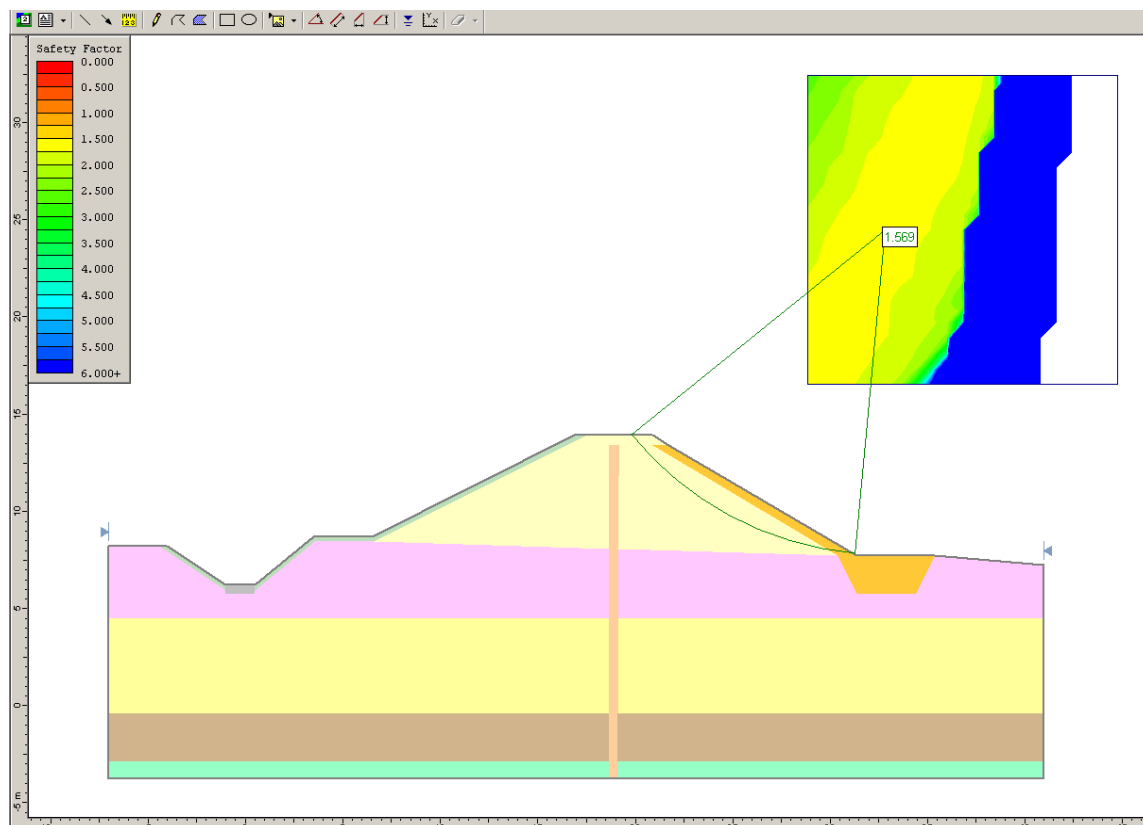


## PRILOGA B: PRIKAZ VARVOSTI PROTI ZDRSU

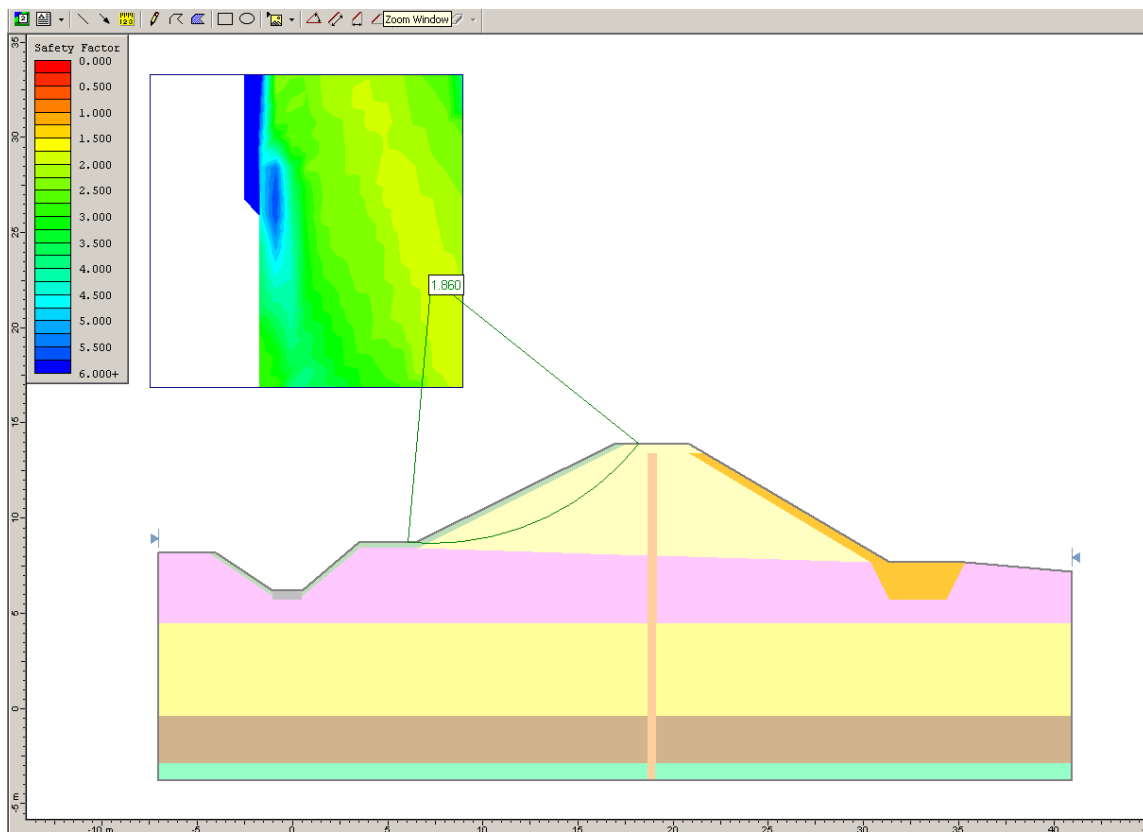
### - prikaz postavitve materialov za zemeljski nasip



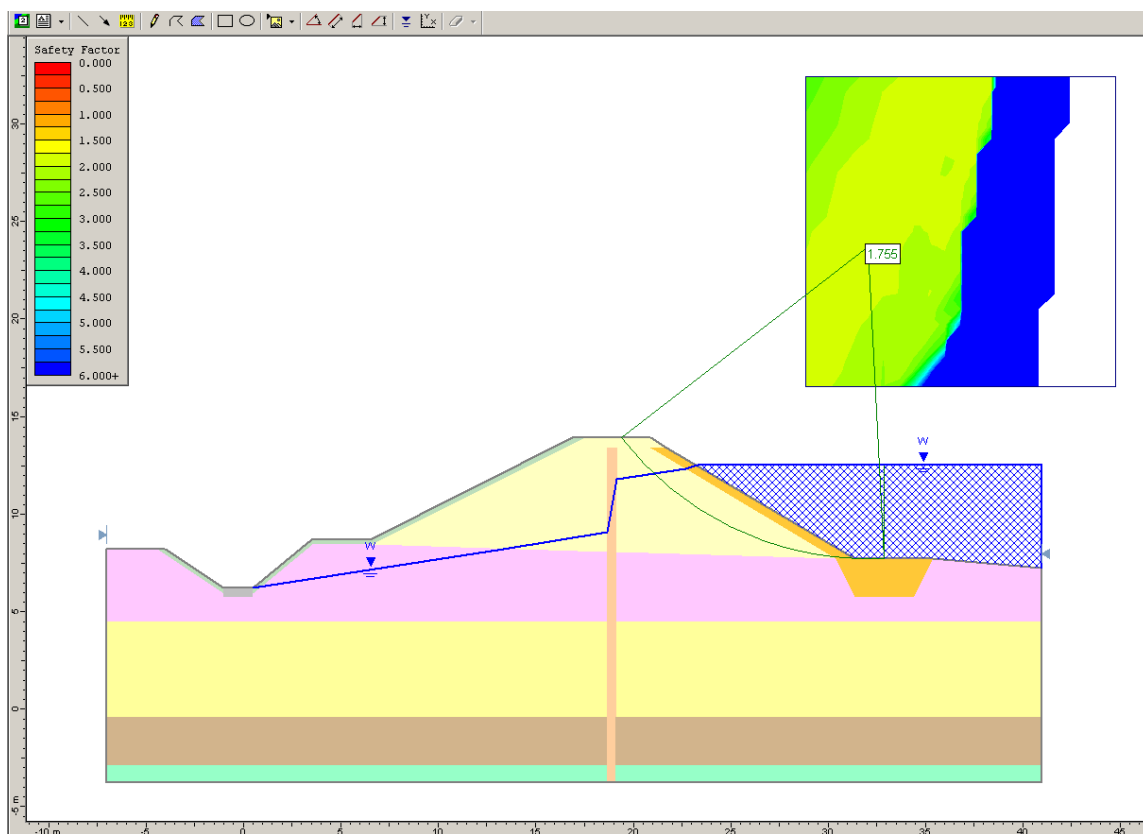
### - grafični prikaz varnosti proti zdrsni za primer 1 za vodno stran



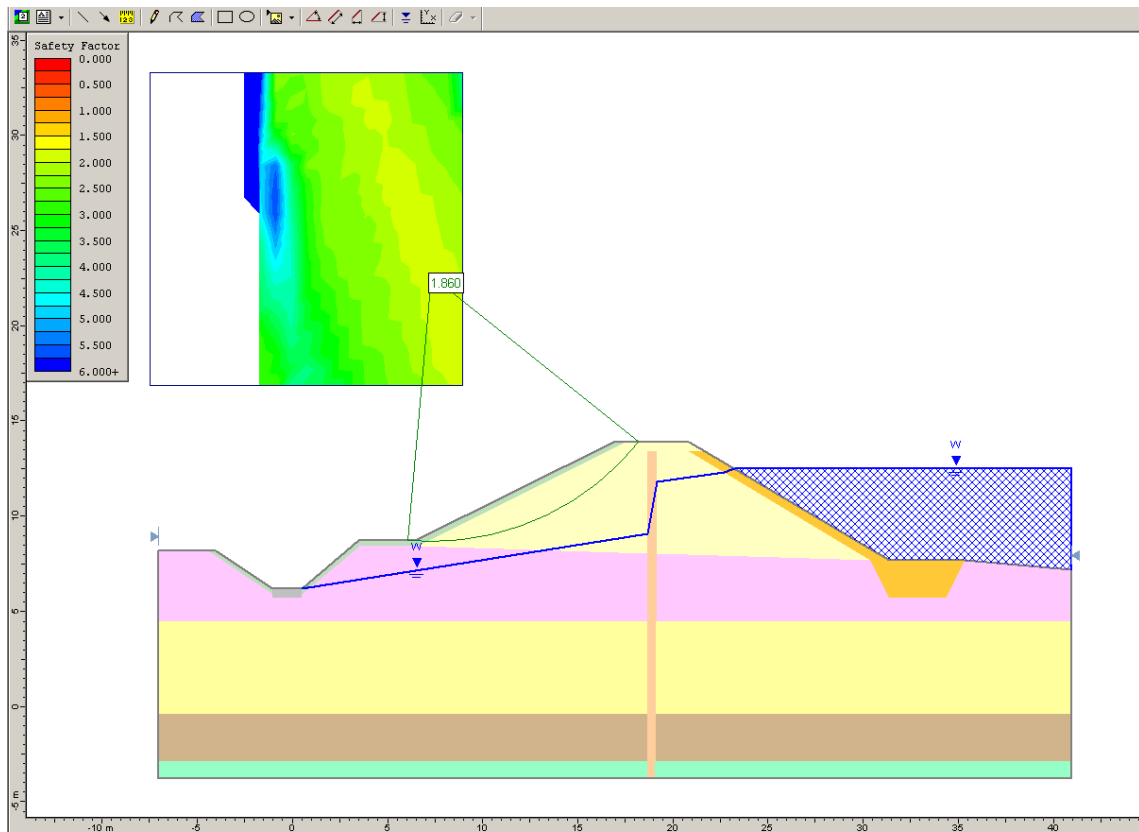
-grafični prikaz varnosti proti zdrsni za primer 1 za zračno stran



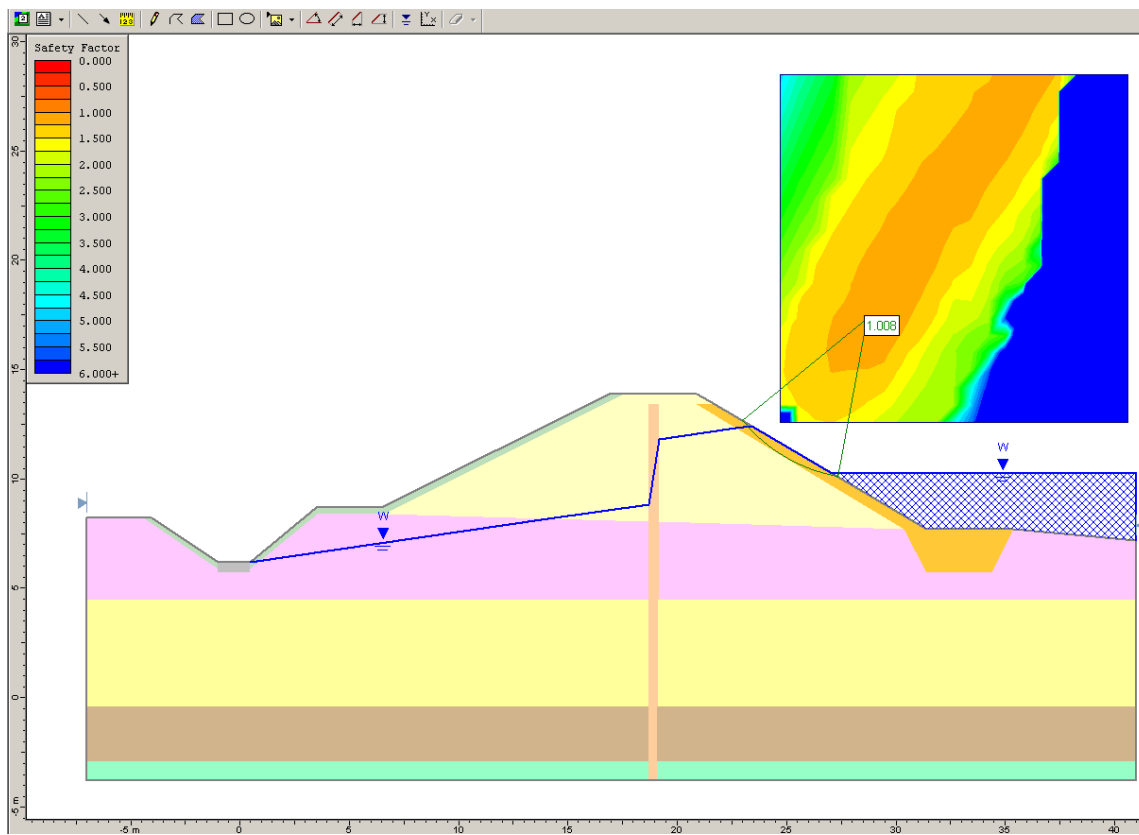
-grafični prikaz varnosti proti zdrsni za primer 2 za vodno stran



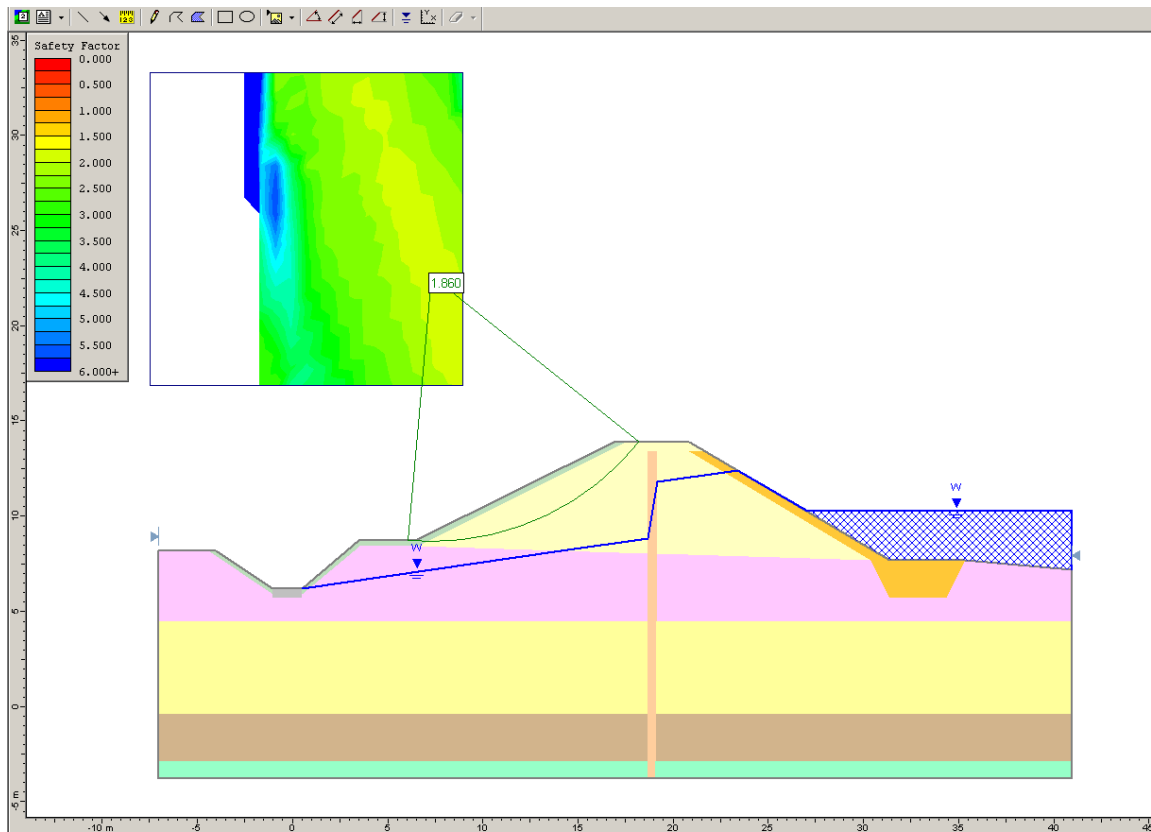
-grafični prikaz varnosti proti zdrsni za primer 2 za zračno stran



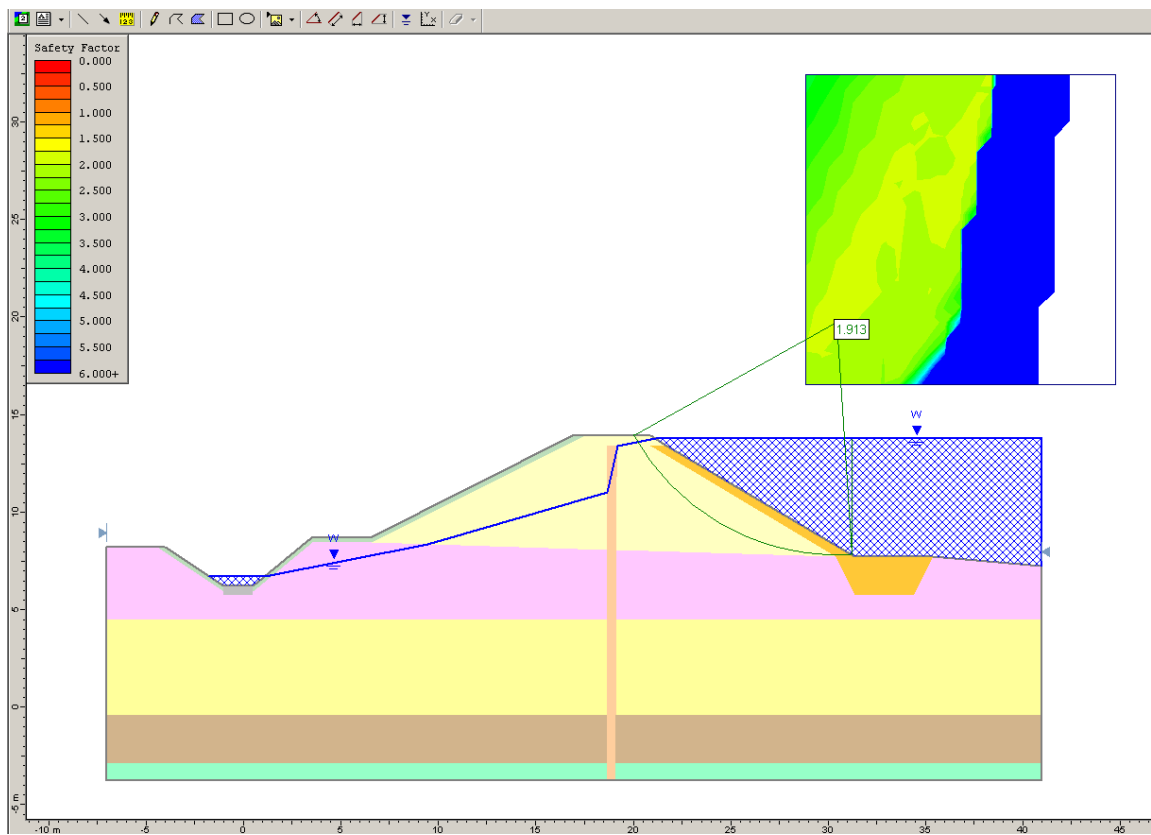
-grafični prikaz varnosti proti zdrsni za primer 3 za vodno stran



-grafični prikaz varnosti proti zdrsni za primer 3 za zračno stran

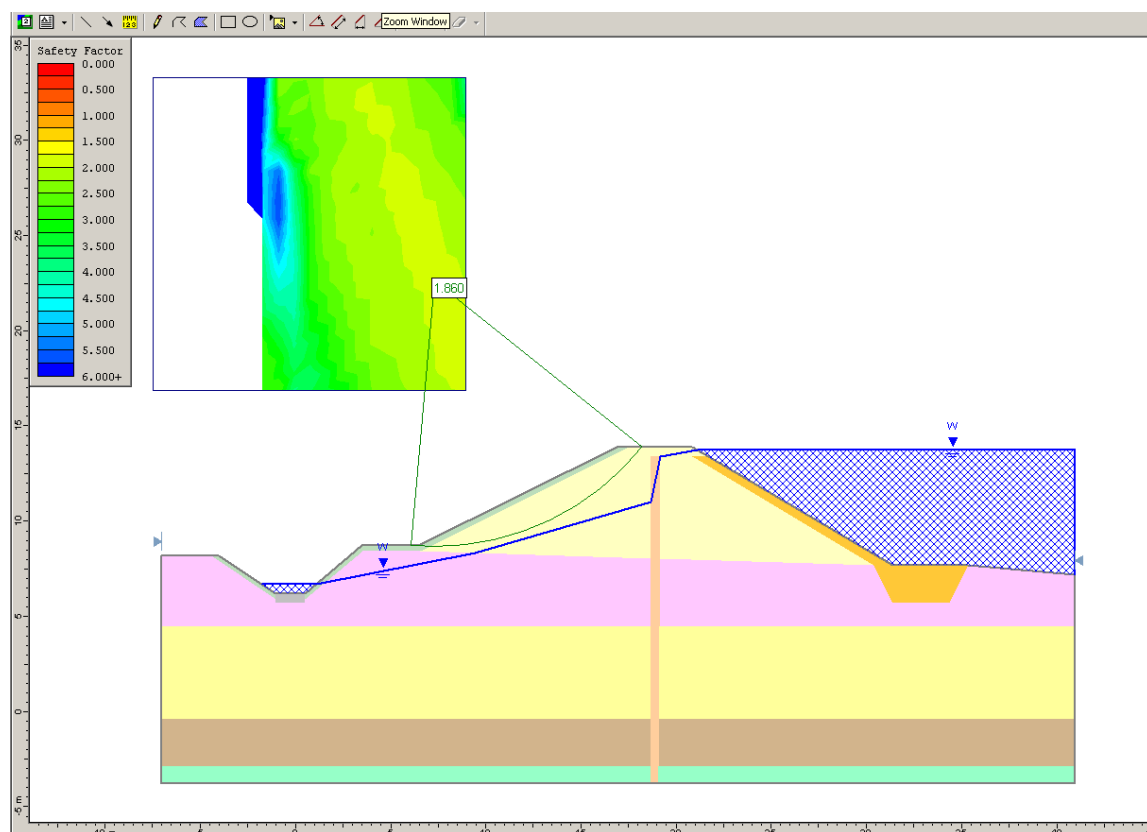


-grafični prikaz varnosti proti zdrsni za primer 4 za vodno stran

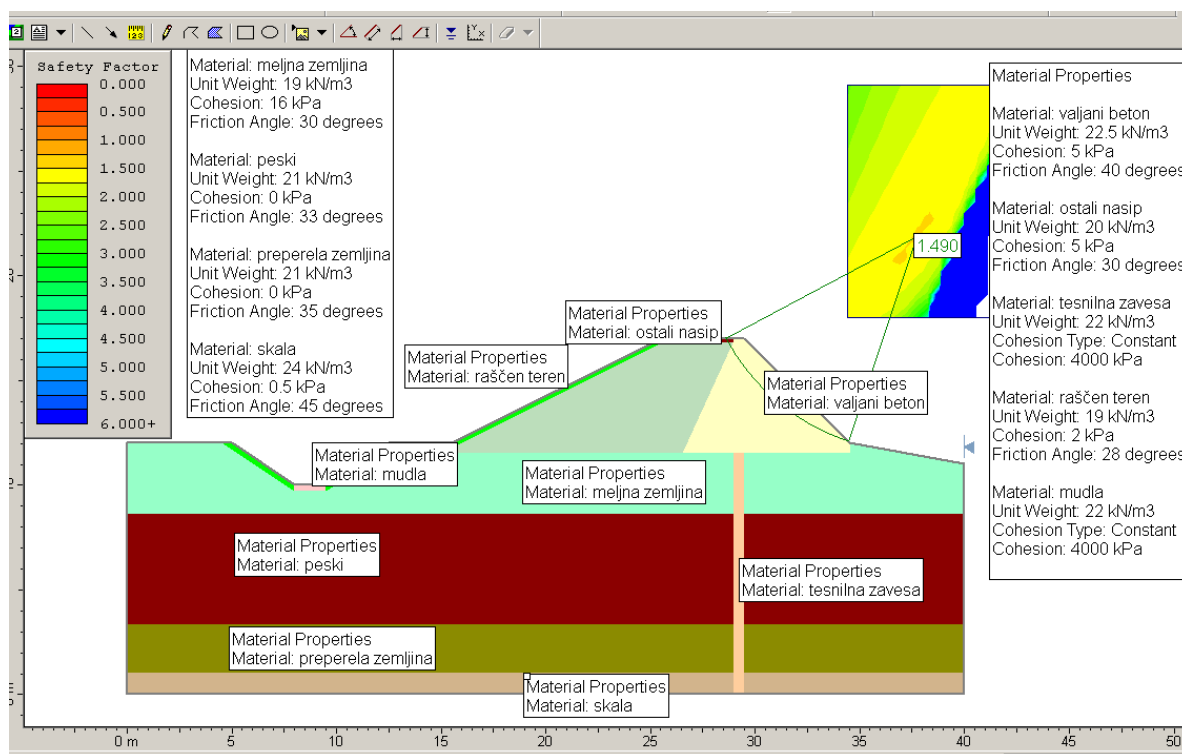




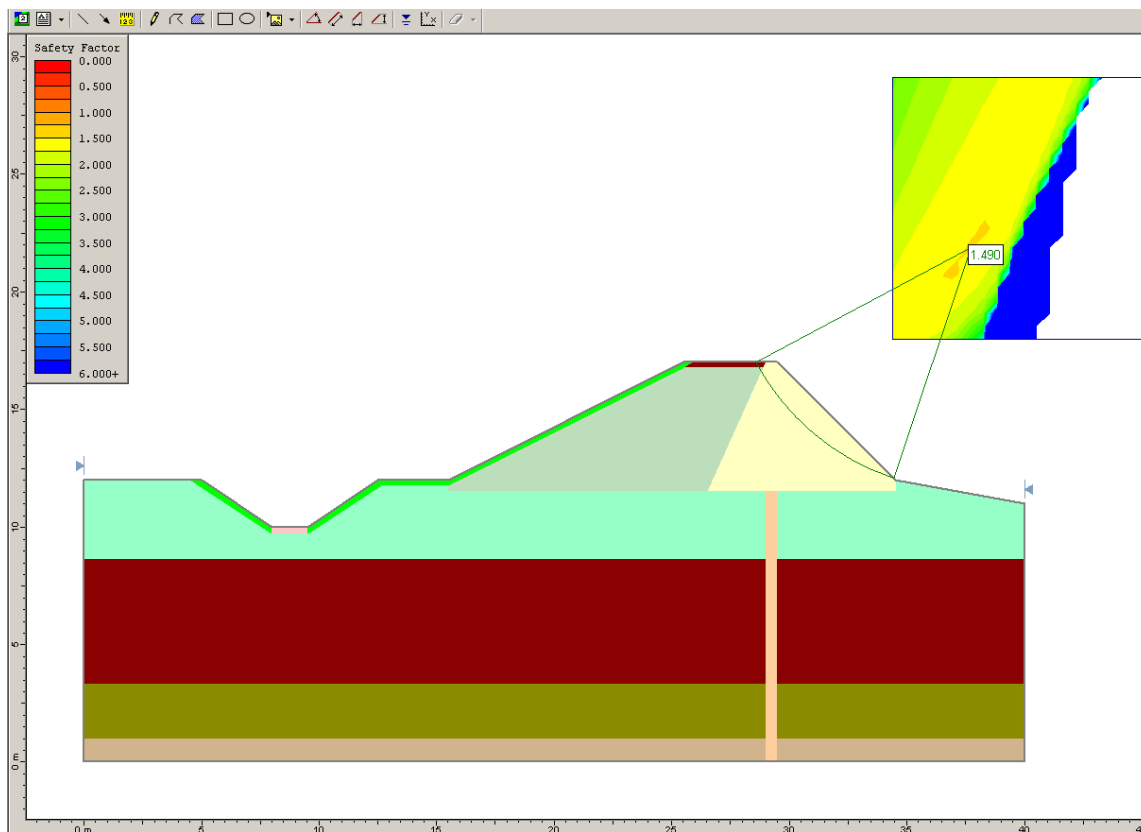
- grafični prikaz varnosti proti zdrsni za primer 4 za zračno stran



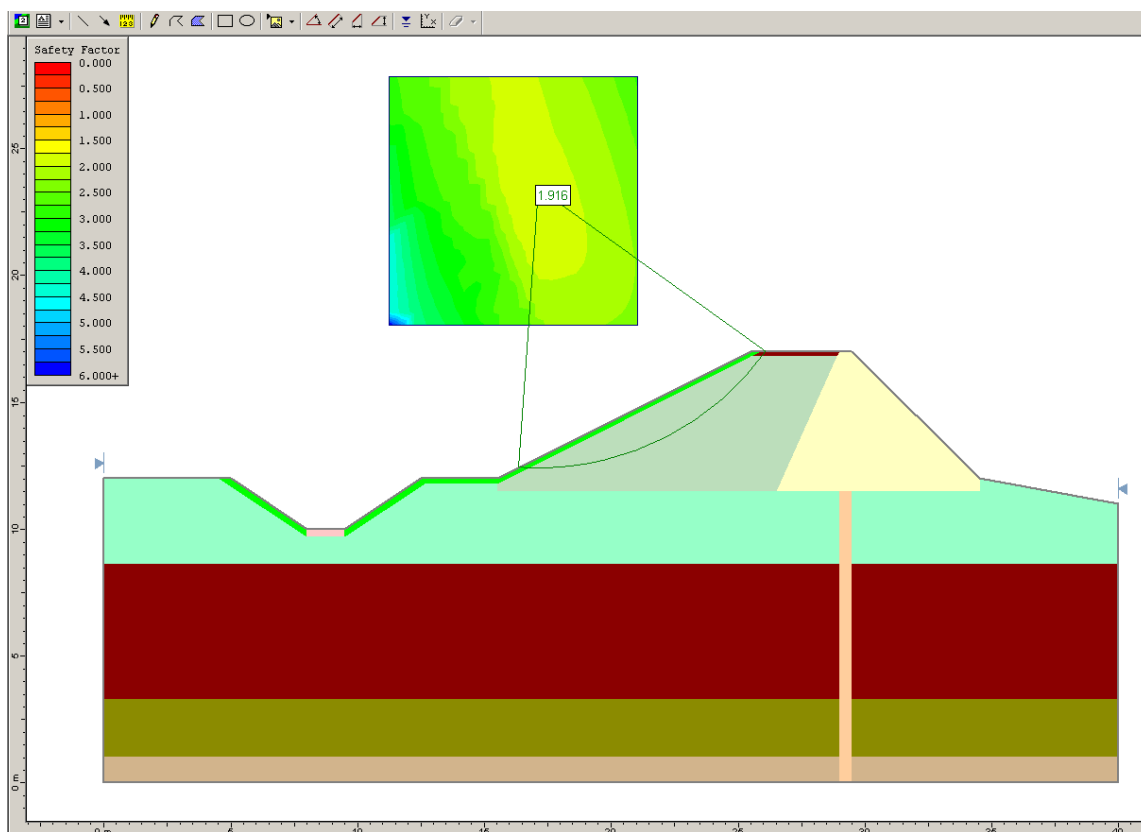
- prikaz postavitve materialov za delno valjano betonski, delno zemeljski nasip



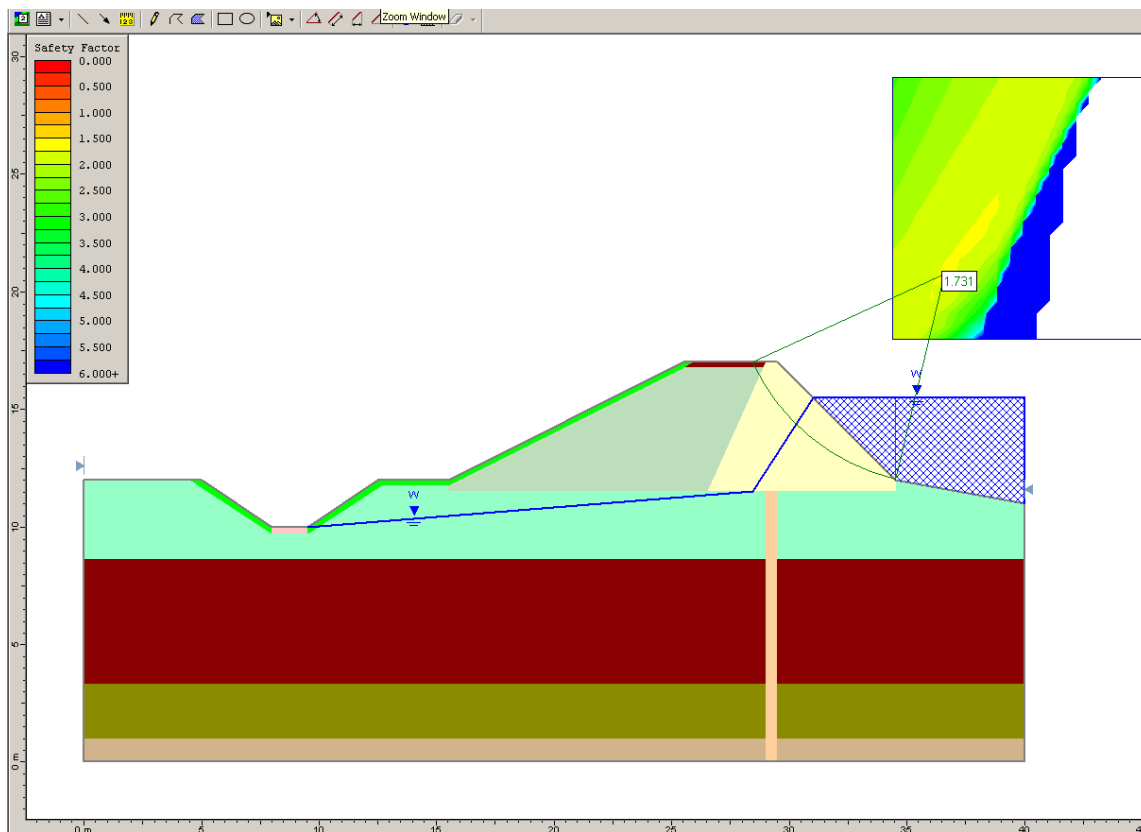
-grafični prikaz varnosti proti zdrsni za primer 1 za vodno stran



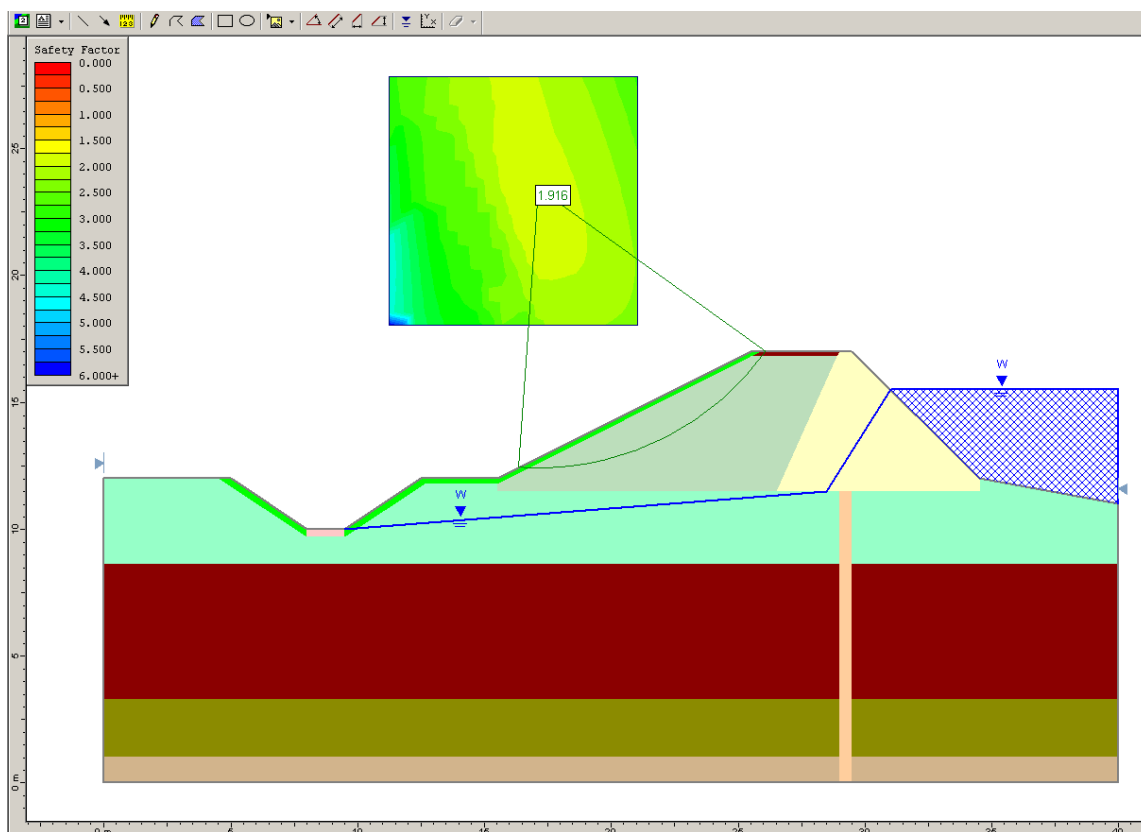
-grafični prikaz varnosti proti zdrsni za primer 1 za zračno stran



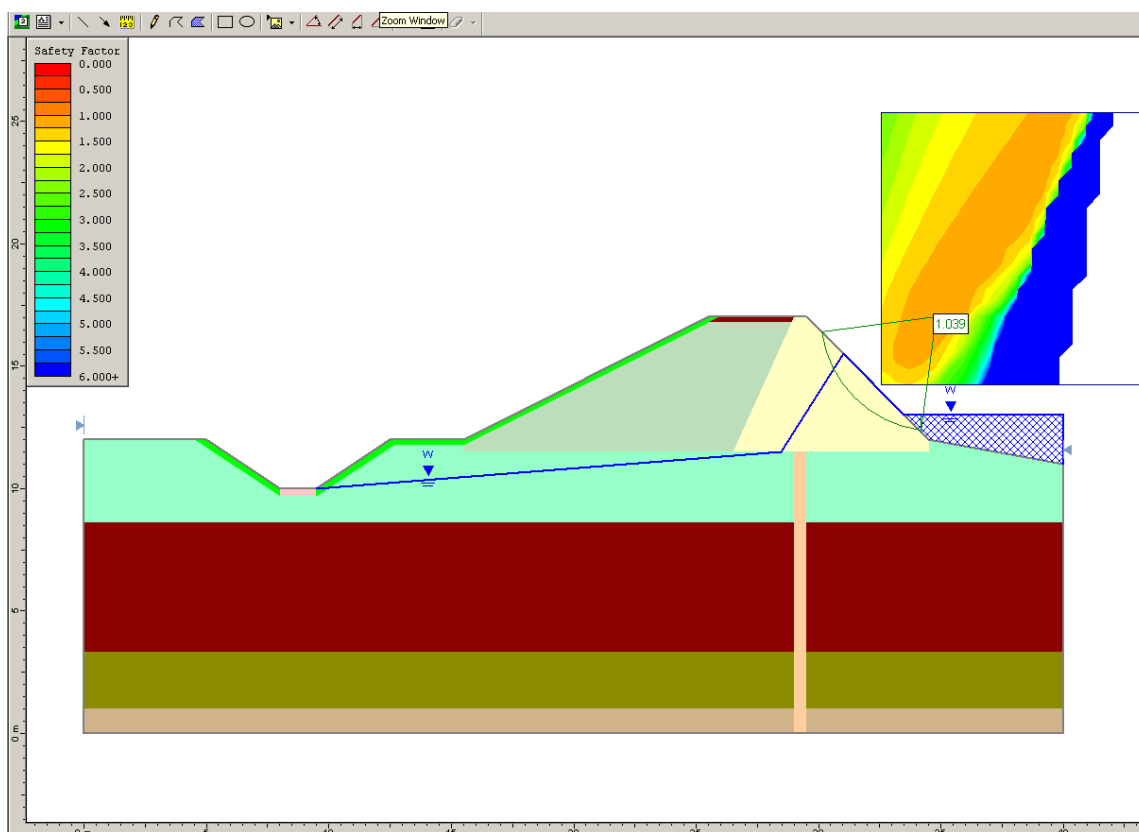
-grafični prikaz varnosti proti zdrsni za primer 2 za vodno stran



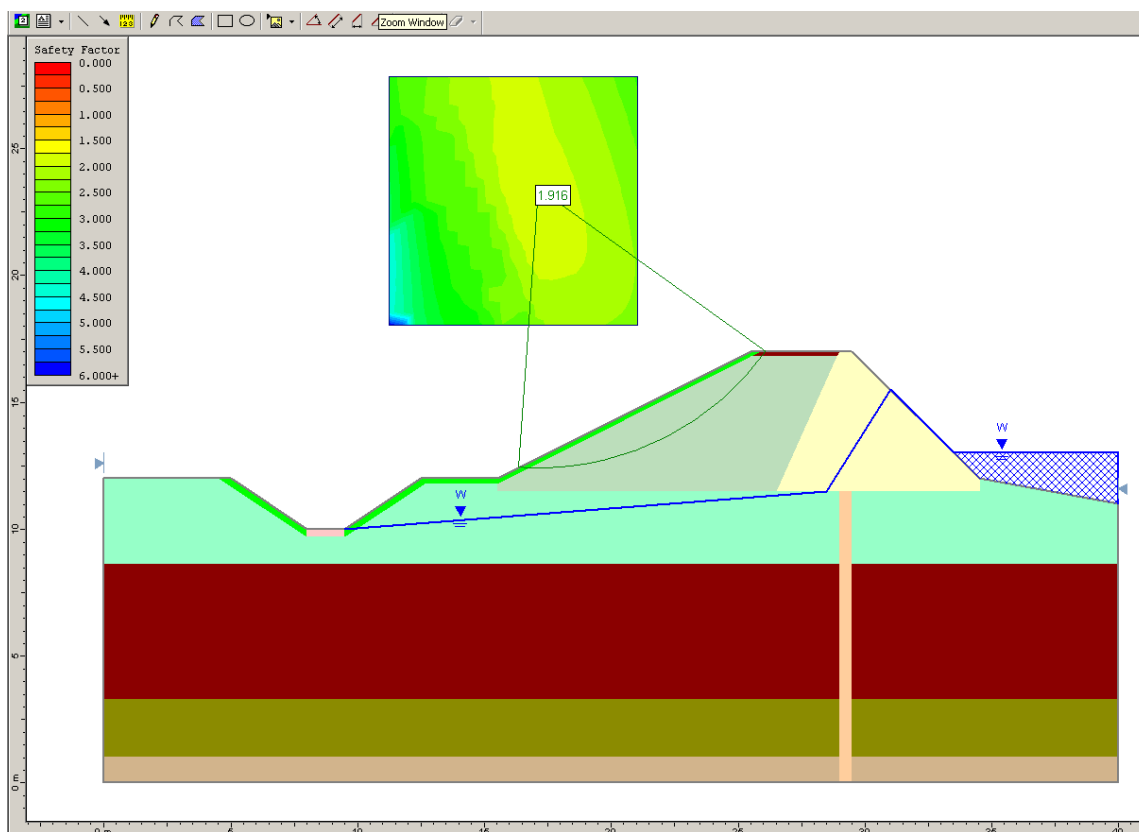
-grafični prikaz varnosti proti zdrsni za primer 2 za zračno stran



-grafični prikaz varnosti proti zdrsni za primer 3 za vodno stran



-grafični prikaz varnosti proti zdrsni za primer 3 za zračno stran



## 6. LITERATURA

Nonveiller, E., 1983. Nasute brane; Projektiranje i građenje. Zagreb, Udžbenici sveučilišta u Zagrebu, Fakulteta građevinskih znanosti: 359 str.

Brilly, M., Mikoš, M., Šraj, M., 1999. Vodne ujme; Varstvo pred poplavami, plazovi in erozijo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 186 str.

Brilly, M., Šraj, M., 2005. Podzemne vode. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 109 str.

Steinman, F., Banovec, P., 2004. Hidrotehnika: vodne zgradbe 1. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 117 str.

Logar, J., 2006. Zemeljska dela. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 56 str.

Majes, B., 2006. Mehanika tal. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 248 str.

Hansen, K.D., Schrader, E., Cope, J.L., et al. 1999. Roller – Compacted Mass Concrete. State of the Art on Concrete. ACI 207.5R-99, 47

Vnuk, T., Pešič, T., Reščič, L., Šuput, J.S. 1999. Nova spoznanja pri proizvodnji in uporabi betonskih mešanic. Gornje Radgona, 53 str

Žarnič, R., 1999. Osnovne lastnosti gradiv. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 316 str.

Framji, F.F. 1983. Manual of flood control methods and practices, New Delhi , International commission on irrigation and drainage, 250 str.

Brilly, M., Proračun stacionarnog strujanja vode kroz telo nasipa na nepropustljivoj podlozi  
Beograd, Vodoprivreda broj 48-49, 208

Brilly, M., Analiza filtracije podzemne vode kroz dvoslojevitou osnovu nasipa za odbranu od  
poplava. Beograd, Vodoprivreda broj 48-49, 214

Ljubomir, N., Brilly, M., Uticaj balastnog sloja na filtraciju vode kroz telo i osnovu nasipa za  
odbranu od poplava u uslovima dvoslojevite porozne sredine. Beograd, Vodoprivreda broj  
48-49, 221

Nonveiller, E., 1989. Injiciranje tla. Zagreb, Udžbenici sveučilišta u Zagrebu, Fakulteta  
građevinskih znanosti: 274 str.

Nonveiller, E., 1990. Mehanika tla temeljenje građevina. Zagreb, Udžbenici sveučilišta u  
Zagrebu, Fakulteta građevinskih znanosti: 823 str.

Marinko, M., 2004. Cening: gradbena dela 35. Ljubljana, Inženirski biro Marinko d.o.o., 271  
str.

IBE: Idejni projekt HE Blanca, Ljubljana 2005

IBE: HE na spodnji Savi (Prefeasibility študija), Ljubljana 1995

Pemič, A., Mikoš, M., 2005: Hidrotehnični objekti. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta  
za gradbeništvo in geodezijo: 316 str.

Pemič, A., Mikoš, M., 2005: Inženerska hidrotehnika: Vodne moči. Univerza v Ljubljani,  
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 316 str.

Winterkorn H.W., Fang H., 1975. Foundation engineering handbook, New York, Cincinnati,  
Toronto, London, Melbourne, 372 str.

Martin, A., Monzlinger, H., Rapp, R., Schmitt, P.P., Schroll, W., Seebock, W., von Soos, P., Struwe, G., 1986. Wasserwirtschaft, Zeitschrift für das gesamte Wasserwesen, 76. 12/86, 545-631

Holding slovenskih elektrarn d.d.: [www.hse.si](http://www.hse.si) (6.10.2006)

Internetna stran naravovarstvenega atlasa NVATLAS: [www.kremen.arso.gov.si/NVatlas](http://www.kremen.arso.gov.si/NVatlas)  
(29.10.2006)

Internetna stran mednarodni komite za visoke pregrade ICOLD: [www.icold-cigb.net](http://www.icold-cigb.net)  
(6.9.2006)

Internetna stran slovenskega nacionalnega komiteja za velike pregrade SLOCOLD:  
[www.slocold.ibe.si](http://www.slocold.ibe.si) (6.9.2006)

Bogataj, D., 2005. Predlog ureditve levega brega Save na območju Vrbine pri bodoči akumulaciji HE Brežice. diplomska naloga, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 107 str

Štefotič, I., 2004. Hidravlična presoja HE Tacen. diplomska naloga, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 89 str

Toftan, D., 2004. Koncept ureditve Savinje na odseku Ločica ob Savinji – Parižlje, Diplomaska naloga, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

Dora, R., 2004. Projektantski predračun in obračun izvedenih del pri gradnji vodnogospodarskih objektov. Diplomaska naloga, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

Šega, G., 2000. Pronicanje in kontaktni procesi. Magistrska naloga, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo