

დანართი N6

ნენსკრა ჰესი, საქართველო

საბაზისო პროექტი



გაჟონვის ანალიზი რიცხვითი მოდელირებით

განგარიშების ანგარიში

ავტორ	პროექტი	ფაზა	ზონა	WBS	WBE	დოკ. ტიპი	მიმდინარეობა.	კორექტ.
L	6768	B	CW	DA	NM	CR	009	000

000	2016 წლის 16 დეკემბერი	CaEm, CPG	Bal, Bre
ვერსია	თარიღი	ავტორი	შემოწმის

**Lombardi Engineering Ltd.**

Via R. Simen 19, P.O.Box 1535, CH-6648 Minusio  
Telephone +41(0)91 735 31 00, Fax +41 (0)91 743 97 37  
www.lombardi.ch, info@lombardi.ch

# სარჩევი

1	შესავალი .....	4
1.1	სამუშაოების მოცულობა .....	4
2	გაჟონვის 3D გაანგარიშება .....	4
2.1	წინასიტყვაობა .....	4
3	სადრენაჟო სისტემის აღწერა .....	12
3.1	სადირკვლის სადრენაჟო სისტემის მიზანი .....	12
3.2	სადირკვლის ძირითადი დრენაჟი .....	15
4	შიდა ეროზია.....	18
4.1	შიდა ეროზიის ფენომენის აღწერა .....	18
4.2	შიდა ეროზიის დაწყების მექანიზმები .....	19
4.2.1	კონცენტრირებული გაჟონვა.....	19
4.2.2	უკუხევითი ეროზია.....	19
4.2.3	კონტაქტური ეროზია.....	22
5	საბაზისო ფილტრის პროექტი .....	32
6	დასკვნები და რეკომენდაციები .....	36
7	გამოყენებული ლიტერატურა.....	37
7.1	საპროექტო დოკუმენტები .....	37

## დანართები

დანართი „ა“ - გაჟონვის მგრძობელობის ანალიზის შედეგები

დანართი „ბ1“ – 3D გაჟონვის შედეგები - ჩამკეტი კედლის ძირი ზღვის დონიდან 1250 მ

დანართი „ბ2“ – 3D გაჟონვის შედეგები - ჩამკეტი კედლის ძირი ზღვის დონიდან 1235 მ

დანართი „ბ3“ – 3D გაჟონვის შედეგები - ჩამკეტი კედლის ძირი ზღვის დონიდან 1225 მ

## 1 შესავალი

### 1.1 სამუშაოების მოცულობა

წინამდებარე ანგარიშის მიზანია ნენსკრას ასფალტით მოსახული ქვანაყარი კაშხლის (AFRD) გაჟონვისა და შიდა ეროზიისგან გრძელვადიანი დაცვის შეფასება ფილტრაციისა და სადრენაჟო სისტემის აღწერით, რომელიც მოცემულია 2016 წლის დეკემბრით დათარიღებული საბაზისო პროექტის შესწორებულ ვერსიაში, სადაც:

- მოცემულია გაჟონვის 3D გაანგარიშების შედეგები;
- წარმოდგენილია კაშხლის მიერ დაკავებული ტერიტორიის ქვეშ გაჟონილი წყლის შეკრებისთვის საჭირო სადრენაჟო სიმძლავრის ანალიზი;
- შეფასებულია შიდა ეროზიის რისკის დონე სხვადასხვა შესაძლო ეროზიული მექანიზმების გათვალისწინებით;
- შეჯამებულია გაჟონვის საწინააღმდეგო სისტემის ძირითადი კონცეფციები.

წინამდებარე ანგარიშში წარმოადგენს საბოლოო საბაზისო პროექტთან ერთად წარსადგენი დოკუმენტების დანართს.

## 2 გაჟონვის 3D გაანგარიშება

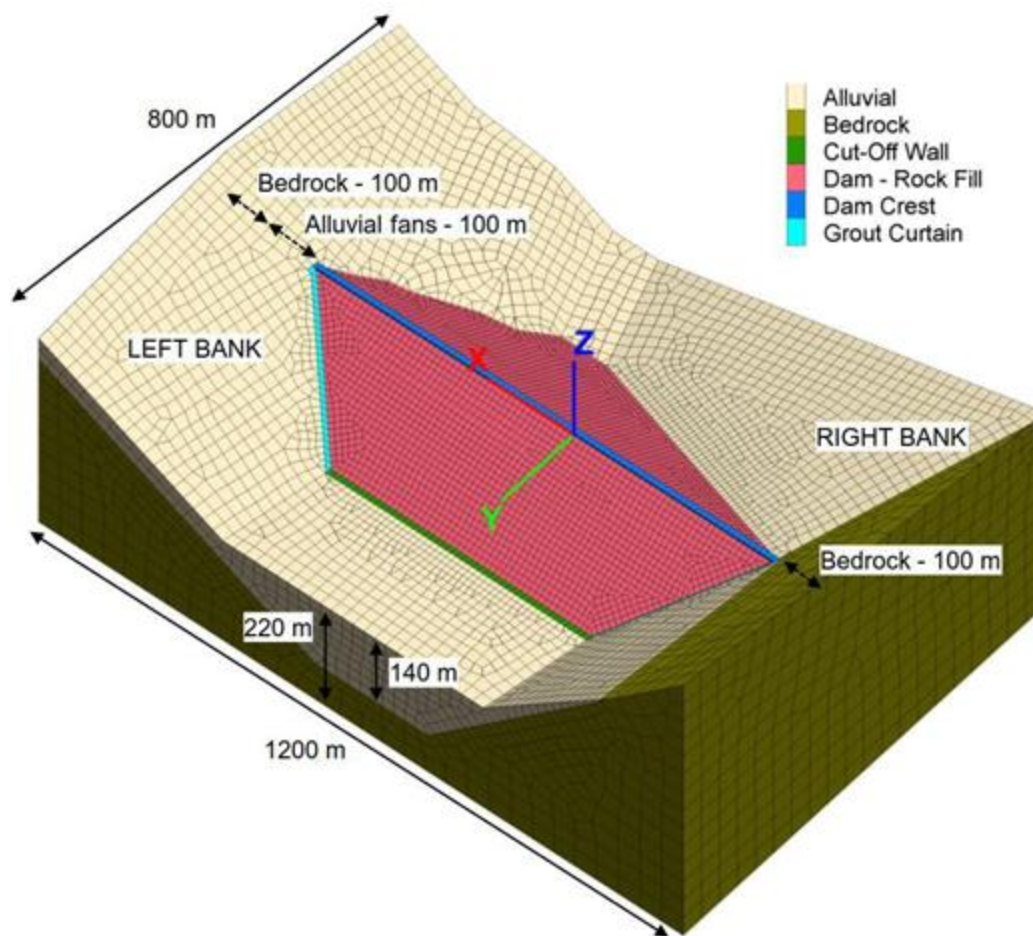
### 2.1 წინასიტყვაობა

გაჟონვის ანალიზი განხორციელდა სრული 3D მოდელის გამოყენებით, საძირკველისა და კაშხლის ჯგებრის ჩათვლით. გამოთვლები შესრულდა FLAC3D პროგრამით (Itasca Consulting Group, Inc. (2012) FLAC3D - კონტინიუმის ორგანოზომილებიანი მოდელი სამ განზომილებაში, ვერსია 5.0. მინეაპოლისი: Itasca). ეს არის ციფრული მოდელირების პროგრამული უზრუნველყოფა პროგრესული გეოტექნიკური ანალიზისთვის, რომელიც ნებისმიერი სახის ისეთი გეოტექნიკური საინჟინრო პროექტის განსახორციელებლად შეიქმნა, რომელიც კონტინიუმის ანალიზს საჭიროებს.

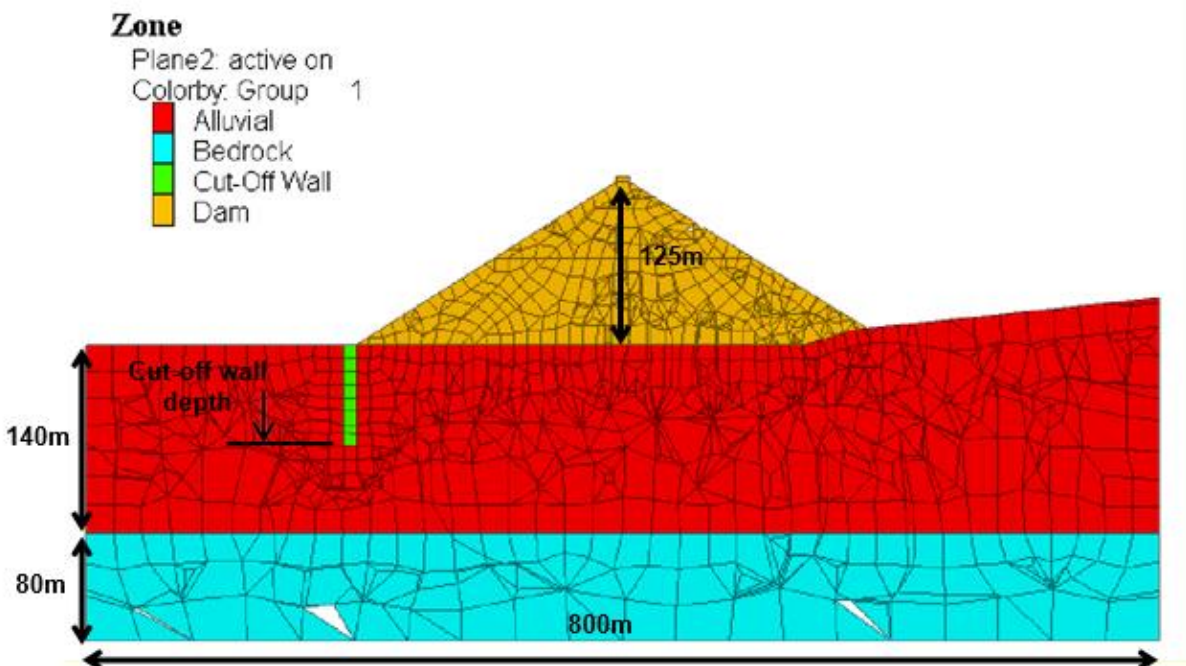
ნენსკრა კაშხლის საძირკველში გაჟონვის ციფრული ანალიზის სრული აღწერა მოცემულია დოკუმენტში L-6768-B-CW-DA-NM-CR-008 გაჟონვის ანალიზი ციფრული მოდელირების საშუალებით [2].

3D მოდელი ითვალისწინებს კაშხლის საყრდენების 3D მორფოლოგიას, ძირითადი ქანების ღრმა ხეობის 3D კონტაქტს და საძირკველის გამტარი დანალექების 3D სტრატეგრაფიულ კონფიგურაციას.

ეს კაშხლის საძირკველში 3D ჰიდროდინამიკური ბადის სრული ანალიზის საშუალებას იძლევა, რაც მოიცავს გაჟღენთვის ზონების განსაზღვრას, წყლის დაწნევის განაწილებას, მაღალი ჰიდრავლიკური გრადიენტების ლოკალიზაციას.

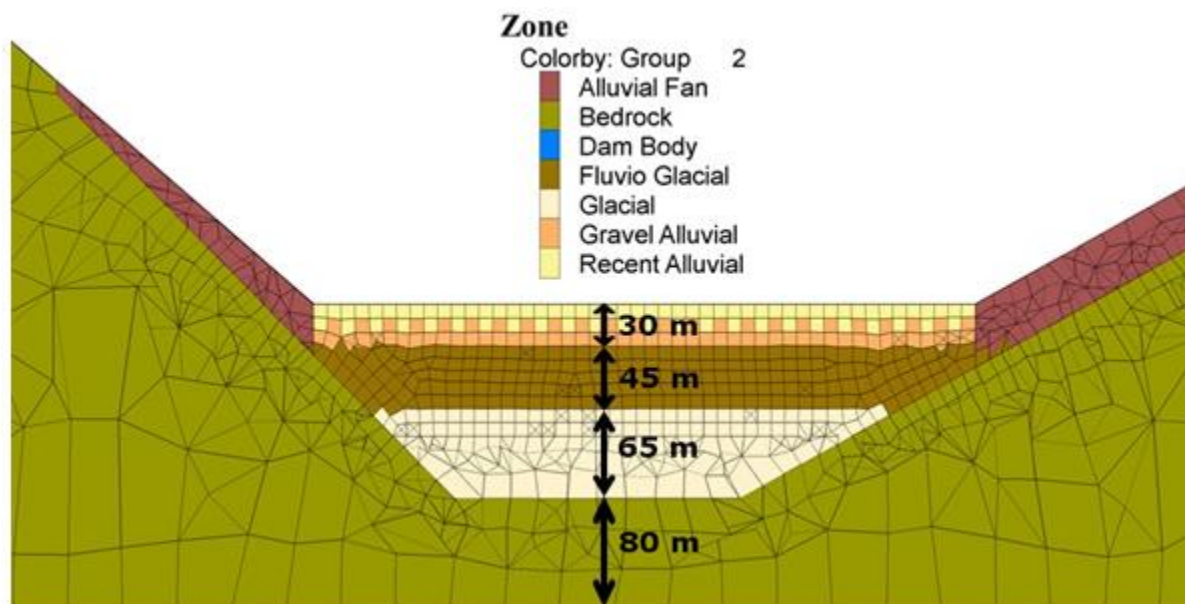


ნახაზი 2.1.1 ნესკრას კაშხლის 3D მოდელის განფენილობა (3D ხედი)

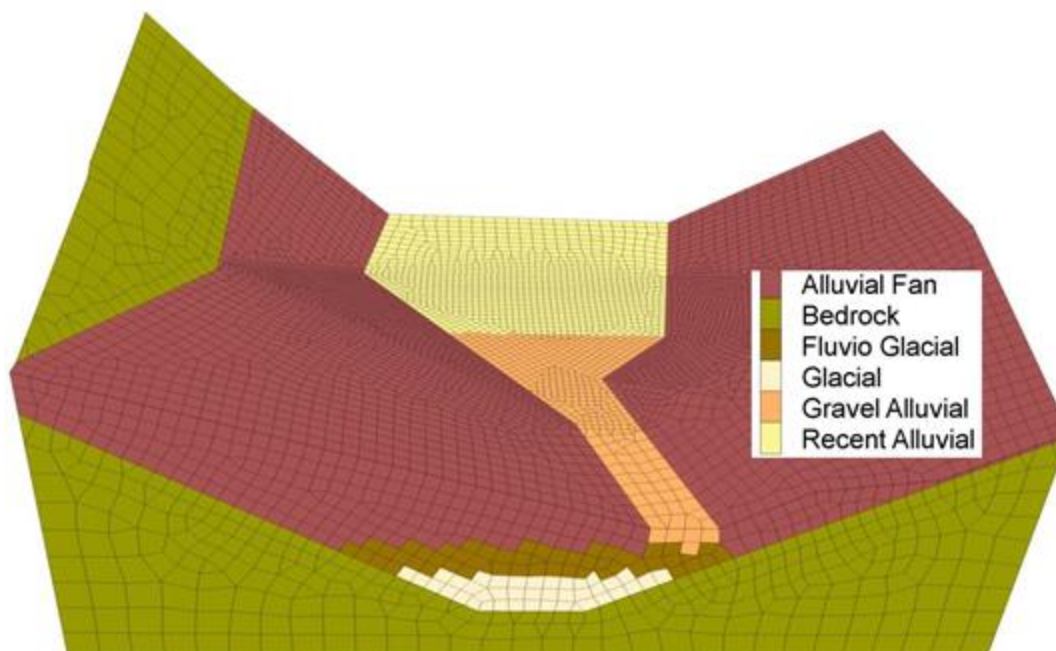


**ნახაზი 2.1.2** ნენსკრას კაშხლის 3D მოდელის განფენილობა (ხეობის ფსკერზე ზედა და ქვედა მიმართულებით განივი კვეთა)

3D მოდელში შესრულებული გეოტექნიკური მოდელი კაშხლის ტერიტორიის გეოლოგიური დემიფრირების ანგარიშს ეფუძნება [1]. ხეობის ზედაპირზე გრუნტის დანალექის მაქსიმალური სიღრმე შეადგენს 140 მეტრს (ნახაზი 2.1.3 და ნახაზი 2.1.4).



**ნახაზი 2.1.3** გრუნტის ფენა - განივი კვეთი ხეობის ზედაპირზე



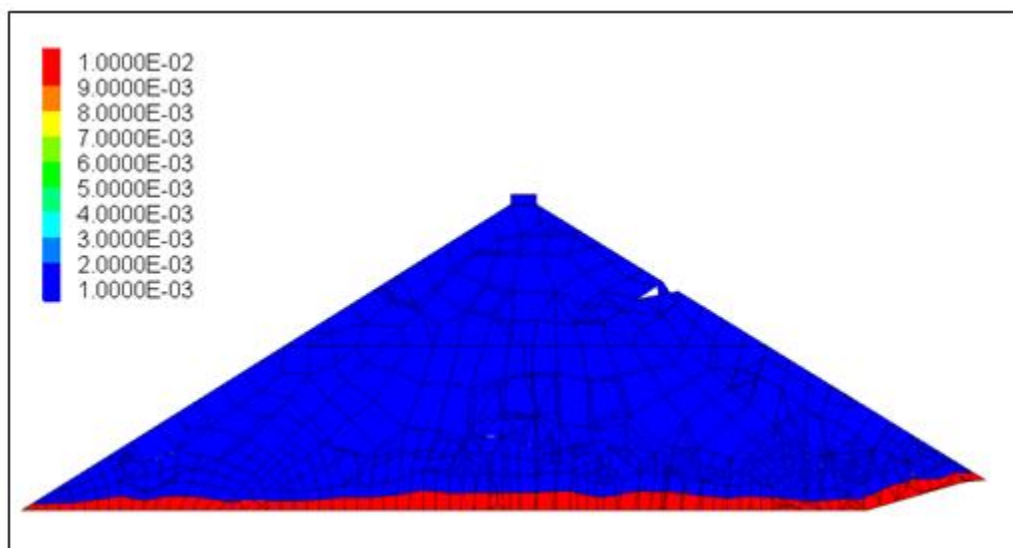
**ნახაზი 2.1.4** ნენსკრას კაშხლის საძირკვლის გრუნტის ფენა - 3D ხედი ქვედა ბიეფიდან ცხრილ 2.1.1-ში მოცემულია თითოეული ფენის, ასევე ჩამკეტი კედლის გამტარიანობის შეჯამება.

ადგილმდებარეობა	მასალა	$K_H$ (m/s)	$K_V$ (m/s)
ხეობის ზედაპირი	ალუვიური / ბოლო ალუვიური	$8 \cdot 10^{-5}$	$K_H/5$
	ფლუვიოგლაციალური	$1 \cdot 10^{-4}$	$K_H/5$
	გლაციალური	$5 \cdot 10^{-6}$	$K_H/5$
	ძირითადი ქანი	შეუღწევადი	შეუღწევადი
	ჩამკეტი კედელი	შეუღწევადი	შეუღწევადი
საყრდენები	ალუვიური კონუსი / კოლუვიური	$1 \cdot 10^{-4}$	$K_H/5$
	ძირითადი ქანი	შეუღწევადი	შეუღწევადი
	ხსნარის საფარი	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-7}$

**ცხრილი 2.1.1** გაჟონვის გეოტექნიკური მოდელის გამტარიანობის სიდიდეები

ადგილმდებარეობა	მასალა	$K_H$ [m/s]	$K_V$ [m/s]
კაშხლის ქვაყრილი	ქვაყრილი – შიდა ბირთვი	$10^{-3}$	$K_H=K_V$
	დრენაჟი	$10^{-2}$	$K_H=K_V$

**ცხრილი 2.1.2** გაჟონვის ნაკადის რიცხვითი მოდელი - კაშხლის კორპუსის მასალების გამტარუნარიანობა



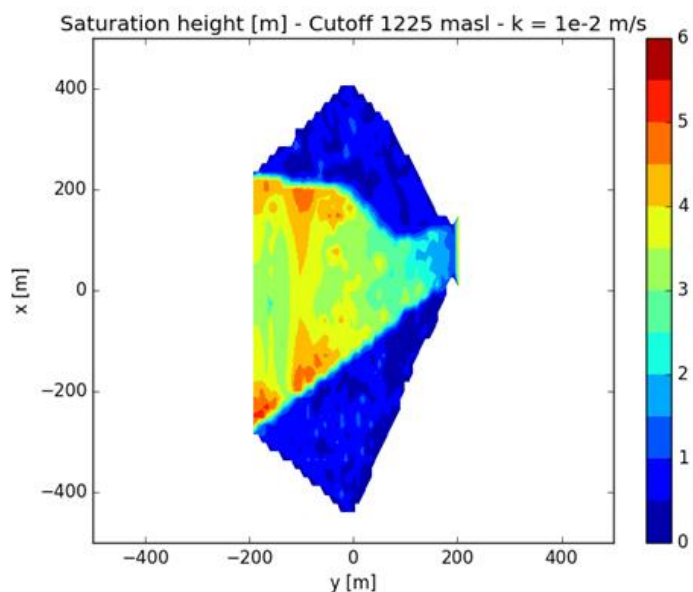
**ნახაზი 2.1.5** კაშხლის ფერდოს გამტარიანობა

ფოროვანი წნევის სასაზღვრო პირობები გამოყენებულია მოდელის ზედა და ქვედა კონტურებზე:

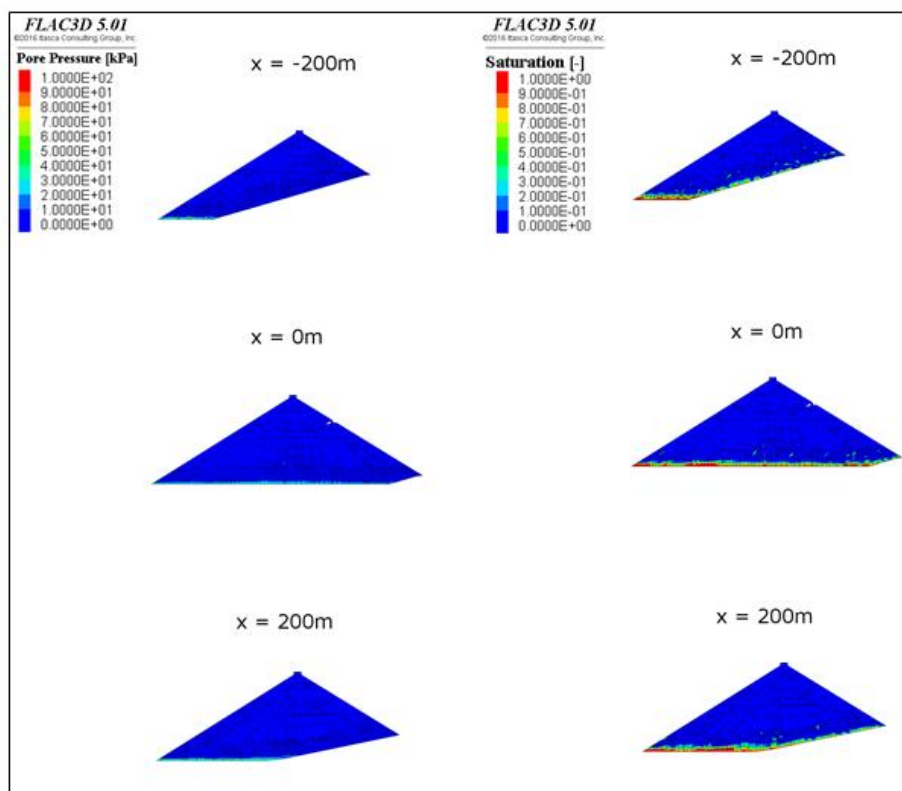
- ზედა კონტური: წყალსადენის ჰიდროსტატიკური დაწნევის ექვივალენტი ფოროვანი წნევა სრულად შევსებისას (1'430 მ ზღვის დონიდან) მოქმედებს მიწაზე. ფოროვანი წნევის განაწილებაში შეტანილია შესწორება, მოდელის შეზღუდული განფენილობის გათვალისწინებით (იხილეთ ანგარიში [2]);
- ქვედა კონტური: გამოყენებულია ხეობის ზედაპირის დონის შესაბამისი ჰიდროსტატიკური წნევა (1'310 მ ზღვის დონიდან).

ჰიდრავლიკური პირობები არ არის დაწესებული გვერდით საზღვარზე, რადგან ძირითადი ქანი გაუმტარად ითვლება.

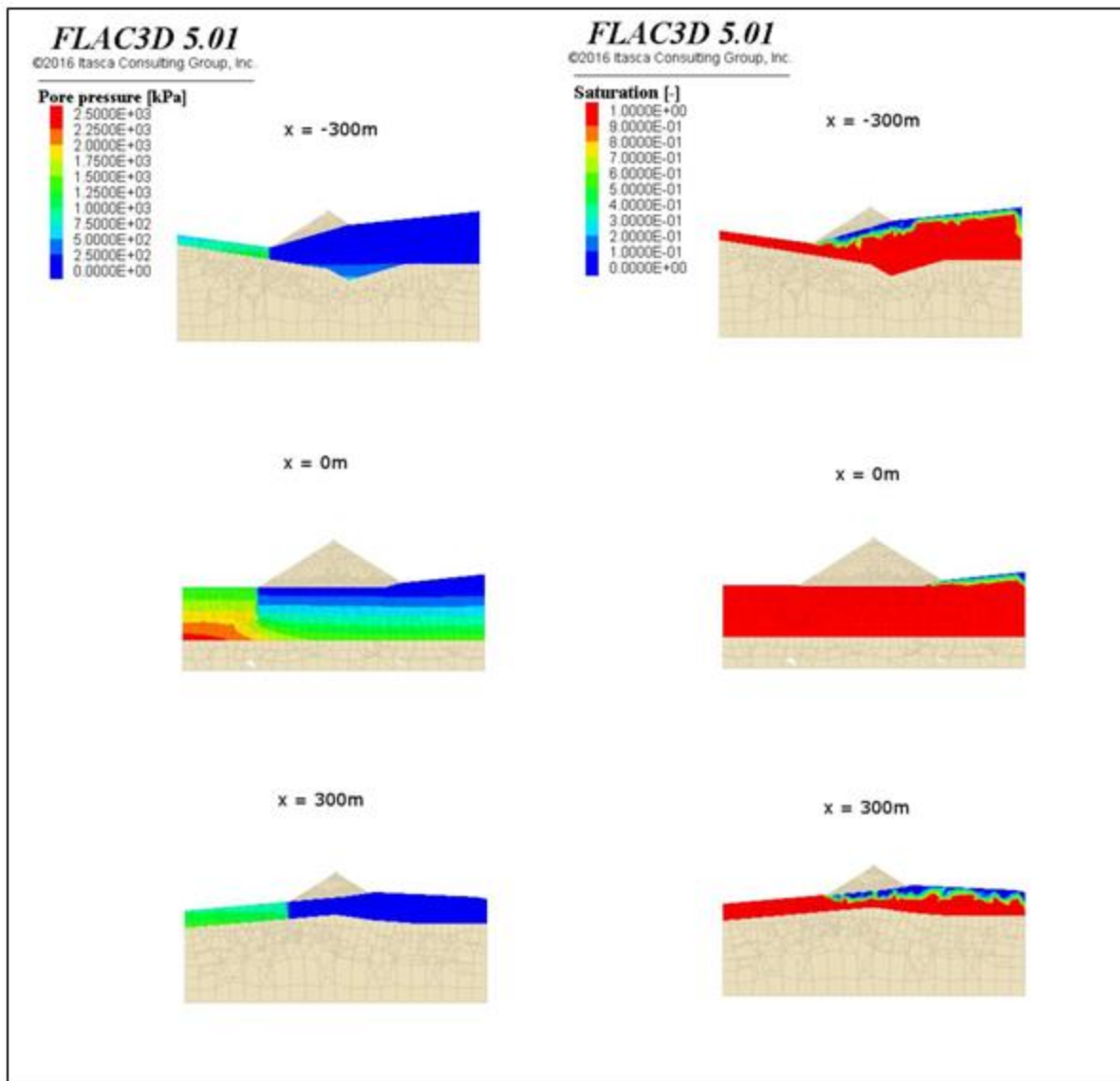




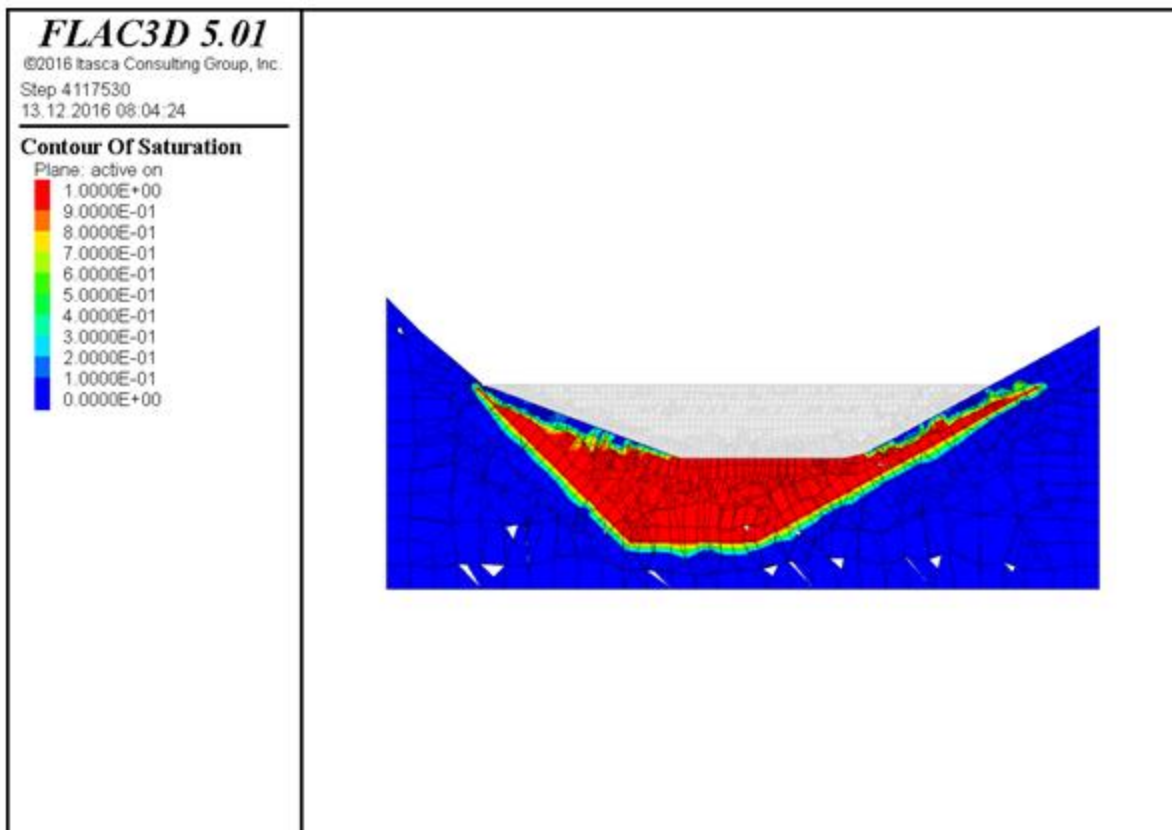
ნახაზი 2.1.6 გრუნტის წყლების სიმაღლე კაშხლის ტერიტორიაზე (ჩამკეტი კედლის სიღრმეა 1225 მ ზდ)



ნახაზი 2.1.7 ფოროვანი წნევა და გაჯერების პროფილი კაშხლის ტერიტორიაზე (ჩამკეტი კედლის სიღრმეა 1225 მ ზდ)



**ნახაზი 2.1.8** ფოროვანი წნევა და გაჯერების პროფილი კაშხლის საძირკველში (ჩამკეტი კედლის სიღრმეა 1225 მ ზღ)



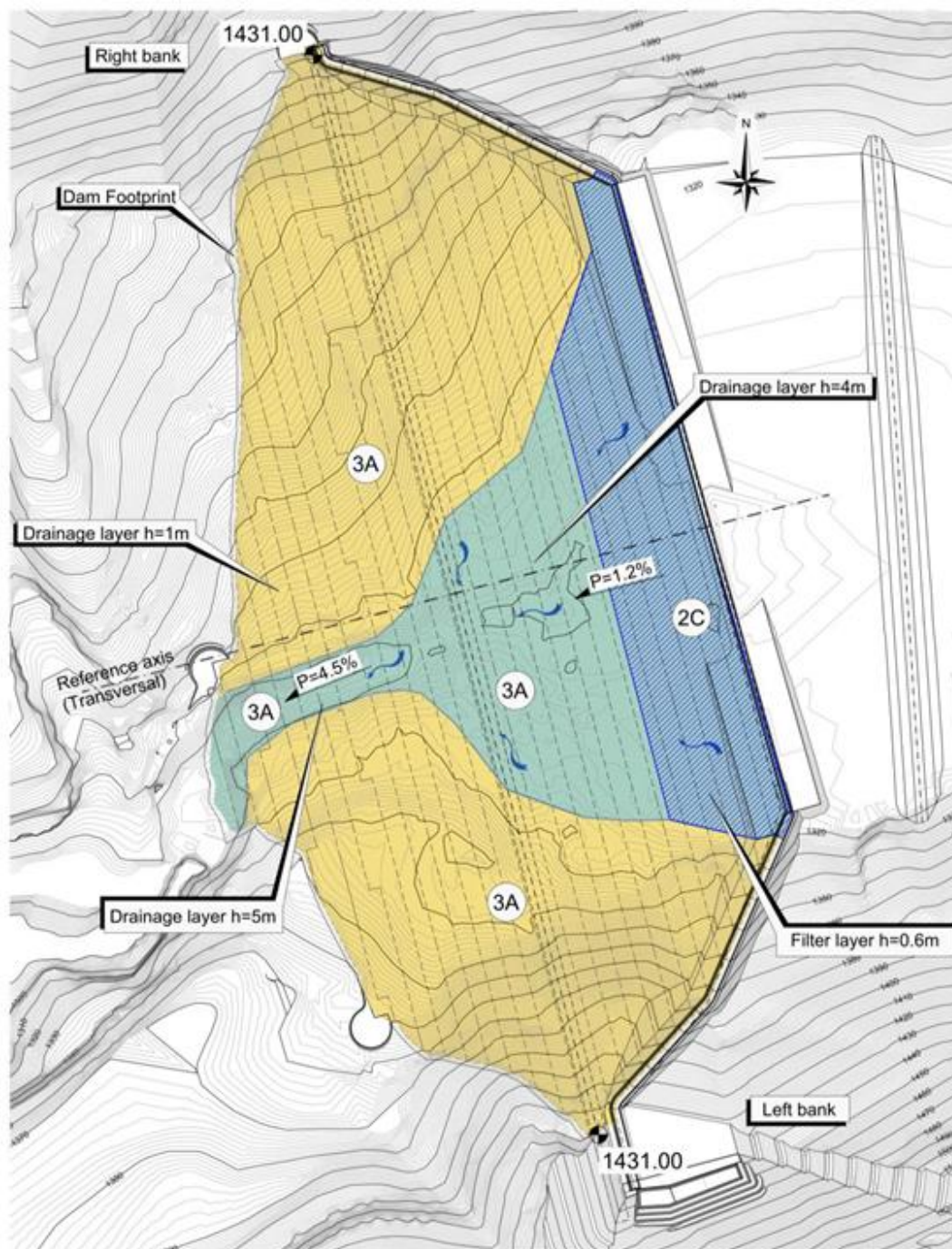
**ნახაზი 2.1.9** გაჯერების პროფილი კაშხლის საძირკველში და საყრდენებში (ჩამკეტი კედლის სიღრმეა 1225 მ ზღ, მონაკვეთი  $y=0$ )

### 3 სადრენაჟო სისტემის აღწერა

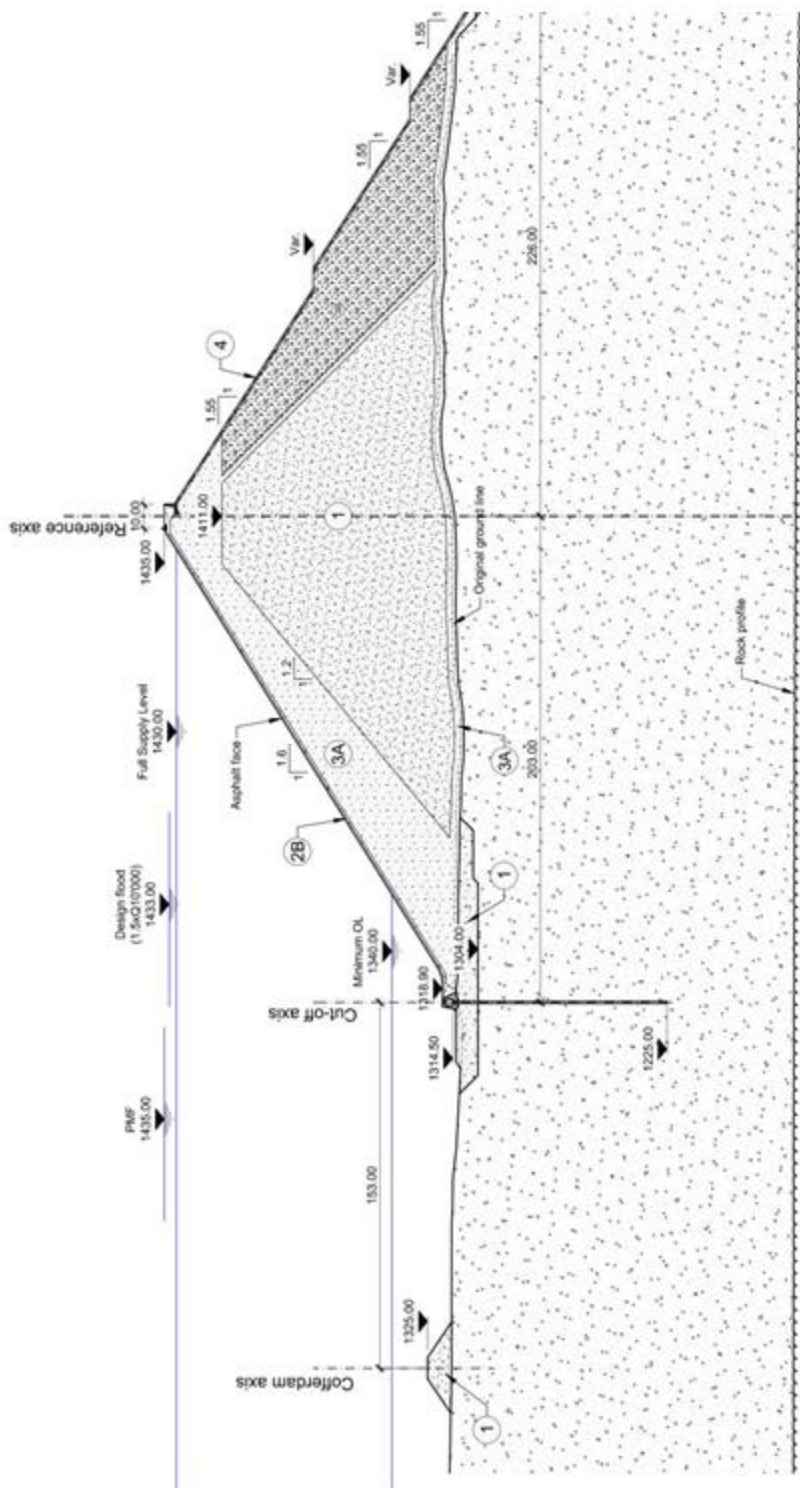
#### 3.1 საძირკვლის სადრენაჟო სისტემის მიზანი

ნენსკრა AFRD-ს საძირკვლის სადრენაჟო სისტემა შექმნილია სამი ძირითადი ფუნქციის შესასრულებლად.

- კაშხლის საძირკველში ნებისმიერი წყაროდან მომავალი გრუნტის წყლების დრენირება და წყლის იმ ჭავლების გაფრქვევის უზრუნველყოფა, რომელიც საძირკვლის დანალექებსა და კაშხლის ქვყრილს შორის წარმოიქმნება კონტაქტის დროს (დრენაჟის გამტარობის პროექტი). ასეთ გაჟონვას შეიძლება სხვადასხვა წარმომავლობა ჰქონდეს: წყალი შეიძლება ზემოდან ჟონავდეს და გაიაროს ხეობის ზედაპირი კაშხლის ჩამკეტი კედლის ქვეშ ფლუვიო-გლაციალური და გლაციალური დანალექების გავლით (ძირითადი ქანი 150 მ სიღრმეზე); წყალი ასევე შეიძლება ზემოდან ჟონავდეს გრუნტის ფენებში გვერდითი ხსნარის საფარის გავლით, რომელიც სრულად არასდროს შეიწოვება სრულყოფილი შესრულების პირობებშიც კი ( $K=10^{-7}$ მ/წმ); წვიმის ან გამდნარი თოვლის წყალი, რომელიც გვერდითი მარცხენა და მარჯვენა გრუნტის ფენებიდან მოედინება და ჟონავს საყრდენებში კოლუვიური და ალუვიური კონუსების დანალექების გავლით.



ნახაზი 3.1.1 ზემოთ: 3A ტიპის დრენაჟის ძირითადი ფენისა და 2C ფილტრის ფენის გეგმა



ნახაზი 3.1.2 ნენსკრას AFRD - ტიპური მონაკვეთი ხეობის ზედაპირზე დრენაჟის დეტალით

### 3.2 საძირკვლის ძირითადი დრენაჟი

აქამდე განხორციელებული რიცხვითი მოდელების (3.3) შედეგების მიხედვით, ნენსკრას კაშხლის საძირკველში გაჟონვის დიდი ნაწილს კაშხალზე არსებული დრენაჟი შეაგროვებს. ყველა ინფილტრატი, რომელიც ჩამკეტი კედლის ქვეშ და ხსნარის საფარშია მოქცეული, საბოლოოდ გროვდება ხეობის ზედაპირზე, რომლის სიგანეც მნიშვნელოვნად იცვლება კაშხლის ზედა ბოლოდან (დაახლოებით 500 მ) ქვედა ბოლომდე (დაახლოებით 40 მ). ეს გეომეტრია გაჟონვის ინფილტრაციის სათანადო კონტროლის საშუალებას იძლევა, მაგრამ ასევე საჭიროებს საკმარისი გამტარუნარიანობის დრენაჟს.

**ნახაზ 3.1.1-ზე** ნაჩვენებია კაშხლის ტერიტორიის გეგმა, სადაც მითითებულია ხეობის ზედაპირის სიღრმეები, ასევე დრენაჟის საშუალო დაქანება. ნახაზზე კონცეპტუალური განსხვავება ჩანს კაშხლის ღერძის დრენაჟის ზედა და ქვედა ნაწილს შორის.

დრენაჟის პროექტი განხორციელდა USACE-ის (კაშხლებში გაჟონვის ანალიზი და კონტროლი“) რეკომენდაციების გათვალისწინებით [25]. შესაბამისად, ჰორიზონტალური დრენაჟის გამტარუნარიანობა შემდეგნაირად მიიღება:

$$Q = k \cdot i \cdot A$$

სადაც:

Q არის დრენაჟიდან საერთო გამონადენი

k არის დრენაჟის გამტარობა

i არის ჰიდრავლიკური გრადიენტი

A არის დრენაჟის ზონა ( $A = B \cdot H$ , სადაც B არის დრენაჟის სიგანე და H არის დრენაჟის სიმაღლე)

ჰორიზონტალურ დრენაჟში (დაქანების გარეშე), წყლის დასაშვები მაქსიმალური წნევა არ შეიძლება იყოს მის სიმაღლეზე მაღალი, რადგან დრენაჟი ისე უნდა დაპროექტდეს, რომ გაჟონვის ხაზი არ აღემატებოდეს დრენაჟის ზონას.

აქედან გამომდინარე, გრადიენტი იქნება  $= H / L$ , H დრენაჟის სიმაღლე და L დრენაჟის სიგრძე, შესაბამისად.

თუმცა, კაშხლის საძირკველზე განთავსებულ დრენაჟს ფაქტობრივად გრძივი დაქანება აქვს, რაც ხელს უწყობს ჰიდრავლიკური გრადიენტის გაზრდას. შემდეგ გათვლებში დრენაჟის გრძივი დაქანება ჰიდრავლიკურ გრადიენტად ითვლება. კონსერვატიული თვალსაზრისით, დრენაჟში არსებული წნევა არ გაითვალისწინეს. როგორც ზემოთ ნახაზ 3.1.1-ზე აღინიშნა, დრენაჟის გრძივი დაქანება კაშხლის ღერძის ზედა ტრაქტში უფრო დაბალია (1.2 %) ვიდრე ქვედა ტრაქტში (4.5 %).

დრენაჟის გამტარობას მივიღებთ Hazen-ის მიერ შემოთავაზებული განტოლების საშუალებით:

$$k = C \cdot D_{10}^2$$

სადაც:

k (მ/წმ) არის დრენაჟის გამტარუნარიანობა

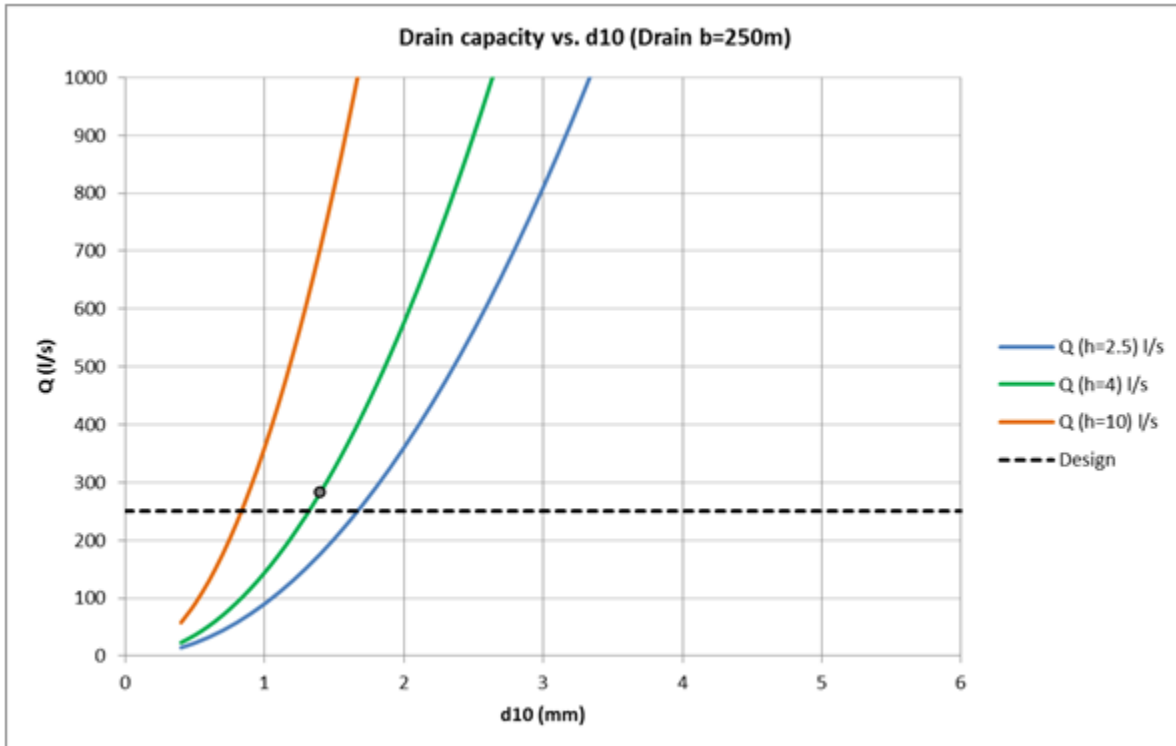
$D_{10}$  (mm) არის ფილტრაციის მოცულობა, რომელიც ინარჩუნებს გრუნტის წონის 90%-ს.

C არის ექსპერიმენტული კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია გრუნტის ტიპზე (0.012 ამ

შემთხვევაში).

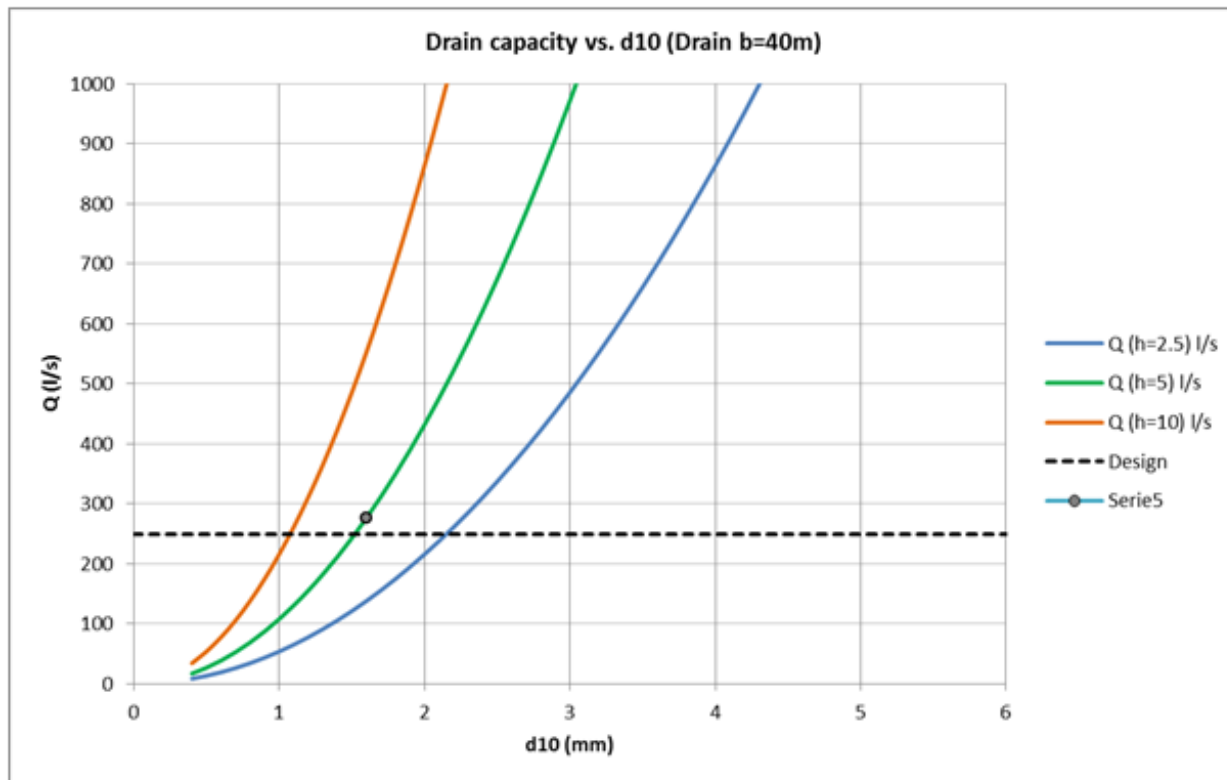
USACE-ის (კაშხლებში გაჟონვის ანალიზი და კონტროლი) მიხედვით, დრენაჟის საპროექტო გამტარობა ( $kC$ ) მინიმუმ 20-ჯერ უნდა გამოითვალოს აღნიშნული განტოლებით, რაც უზრუნველყოფს ფოროვანი წნევის სათანადო გაფრქვევასა და დრენაჟის გამტარუნარიანობას.

**ნახაზებზე - 3.2.1 და 3.2.2** ნაჩვენებია დრენაჟის დაცლის უნარიანობა, როგორც  $D_{10}$  ზედა მიმართულებით ( $B = 250$  მ,  $i = 1.2$  %,  $H = 4$  მ) და ქვედა მიმართულებით ( $B = 40$  მ,  $i = 4.5$  %,  $H = 5$  მ) დინებისთვის განსაზღვრული ფუნქცია. **მე-3 ცხრილში** წარმოდგენილია დიამეტრი და გამტარუნარიანობა, რომელიც საჭიროა საპროექტო დაცლის ევაკუაციისთვის (250 ლ / წმ).



**ნახაზი 3.2.1** ზედა ტრაქტის დრენაჟის გამტარუნარიანობა





ნახაზი 3.2.2 ზედა ტრაქტის დრენაჟის გამტარუნარიანობა

ზონა	$D_{10,C}$ (mm)	$k_C$ (m/s)	$k_D=20 \cdot k_C$ (m/s)	$D_{10,D}$ (mm)
ზემოთ	1.4	2.4E-02	4.7E-01	6
ქვემოთ	1.6	3.1E-02	6.1E-01	7

ცხრილი 3.2.1 დრენაჟის გაანგარიშებული და საპროექტო გამტარუნარიანობა და დაკავშირებული  $D_{10}$

## 4 შიდა ეროზია

### 4.1 შიდა ეროზიის ფენომენის აღწერა

წინამდებარე თავში განხილულია შიდა ეროზიის ძირითადი კონცეფციები უახლეს საერთაშორისო გაიდლაინებით (ICOLD, USACE / რეკლამაციის ბიურო) გათვალისწინებული მიდგომების გამოყენებით. ნენსკრას კაშხლის გეგმისთვის განხორციელდა თითოეული პროცედურის კონკრეტული შეფასება, რომელიც შემდგომშია აღწერილი.

შიდა ეროზია არის ფენომენი, რომელიც წარმოიქმნება გაჟონვის დროს გრუნტის ნაწილაკების ქვანაყარებში, საძირკვლებში, ქვანაყარიდან საძირკველში, ქვანაყარის და მისი მზიდი მიმდებარე კედლების გავლით ხვდება მილსადენებში და მათ გარშემო. ეროზიულმა პროცესმა შეიძლება სხვადასხვა გზა გაიაროს: შიდა ეროზია ქვანაყარის გავლით, რომელიც გამჭოლი შეღწევადობის მქონე სტრუქტურებთან დაკავშირებულ შიდა ეროზიას მოიცავს; შიდა ეროზია საძირკვლის გავლით; და ქვანაყარის შიდა ეროზია საძირკველში ან საძირკველთან.

შიდა ეროზიის პროცესი შეიძლება ოთხ ეტაპად დაიყოს:

- **ეროზიის დაწყება.** ეროზიის დაწყება არის ტუნელური (გრუნტისქვეშა) ეროზიის (მილების ფორმირების) მაპროვოცირებელი ფაქტორი. ეროზიის დაწყებას შეიძლება სხვადასხვა წარმომავლობა ჰქონდეს: კონცენტრირებული გაჟონვა, სადაც ეროზია იწყება ბზარების მქონე კედლიდან; კაშხლის ქვედა ნაწილში გაჟონვა, სადაც უკუხევიტი ეროზია იწყება; ორი უკიდურესად სხვადასხვა კლასიფიკაციის მასალის დამუშავებით გამოწვეული ეროზია; კაშხლის საძირკველში არსებული წვრილი ნაწილაკების შიდა ეროზია.
- **ეროზიის გაგრძელება.** ეროზიის გაგრძელება არის ფაზა, რომელიც განპირობებულია საბაზისო გრუნტის ნაწილაკების გავრცელებასა და ფილტრაციის მასალებს შორის ურთიერთქმედებით. ეს ურთიერთქმედება განსაზღვრავს ეროზია გაგრძელება თუ შეწყდება.
- **პროგრესირება.** შიდა ეროზიის დროს პროგრესირება არის პროცესი, როდესაც ჰიდრავლიკურ სტრესებს ეროზიულ გრუნტში შეიძლება გამოიწვიოს ან შეიძლება არ გამოიწვიოს მილების გაფართოება. ამ ფაზაში ფოროვანი წნევა და ჟონვა იზრდება.
- **შეწყვეტა.** შეწყვეტა არის შიდა ეროზიის უკანასკნელი ფაზა და შეიძლება გამოიწვიოს ოთხიდან ერთ-ერთმა ფენომენმა. Fell et al.-მა (2008) განსაზღვრეს ამ ოთხი ფენომენის შემდეგი ჩამონათვალი, მათ მიერ დაკვირვებადი სიხშირის მიხედვით
  - I. მილის მთლიანი გაფართოება (რამაც შეიძლება მილსა და ქვანაყარის წვეროს შორის კარსტი შექმნას).
  - II. ქვედა ფერდობების არასტაბილურობა, მაგალითად დაწევა და გადაწოლა.
  - III. კაშხლის ქვედა ფერდის დარღვევა.
  - IV. გაჟღენთის (ან/და კარსტის განვითარების) გამო წვეროს დაჯდომის შედეგად გამოწვეული გადავსება.

## 4.2 შიდა ეროზიის დაწყების მექანიზმები

არსებობს ეროზიის დაწყების ოთხი მექანიზმი: კონცენტრირებული გაჟონვა, უკუხევიითი ეროზია, კონტაქტური ეროზია და გაჟღენთა.

ამ მექანიზმებმა, შიდა ეროზიის პროგრესირების ეტაპზე, შეიძლება საკმაოდ ცუდ შედეგებამდე მიგვიყვანოს, რომლის შესახებაც ქვემოთ ვისაუბრებთ:

ა) რაც შეეხება კონცენტრირებული გაჟონვით გამოწვეულ ეროზიას, ნაპრალებში ეროზიამ და კონცენტრირებულმა გაჟონვამ შეიძლება გრუნტის ქვეშა ეროზიის (მილების ფორმირების) პროვიცირება მოახდინოს.

ბ) რაც შეეხება უკუხევიით ეროზიას, ეროზიული პროცესი მიმდინარეობს ინიცირების ზედა წერტილიდან და ეროზიის პატარა არხების ქსელი იქმნება მიწის ან ქვანაყარის ქვეშ, რაც ეროზიული მილების საფარს წარმოადგენს. თუ ეროზიის ეს პატარა არხები წყალსაცავს ან მდინარეს მიუახლოვდება, წარმოიქმნება მილი.

გ) კონტაქტური ეროზიის დროს მიმდინარეობს წვრილმარცვლოვანი გრუნტის ეროზიული პროცესები მსხვილმარცვლოვან გრუნტში. განსაკუთრებულ შემთხვევებში, ამან შეიძლება გამოიწვიოს მილის შექმნა წვრილმარცვლოვან გრუნტში.

დ) გაჟღენთის შემთხვევაში ხდება წვრილმარცვლოვანი ფრაქციის ეროზია და რჩება გრუნტის დაუმუშავებელი სტრუქტურა. ამ შემთხვევაში, მილი არ წარმოიქმნება, მაგრამ გრუნტის გამტარობა შეიძლება გაიზარდოს.

ფენომენის მოკლე განმარტების შემდეგ, AFRD ნენსკრას კაშხლის მგრძნობელობა შეფასდება თითოეული პროცესის შემთხვევაში.

### 4.2.1 კონცენტრირებული გაჟონვა

ქვანაყარის შემთხვევაში, სადაც ღიობი ან ბზარი ჩნდება პლასტიკურ გრუნტში, კონცენტრირებული გაჟონვა იწყება ბზარის შიგნით. შედეგად, ღიობის გვერდებმა შეიძლება ეროზია განიცადოს წყლის ჟონვის გამო.

ასეთი კონცენტრირებული გაჟონვა შეიძლება კაშხლის მშენებლობის ან მუშაობის დროს დიფერენციალური დაწვევის შედეგად ან ჰიდრავლიკური მტვრევის დროს მილგაყვანილობის გარშემო დაბალი სტრესის გამო წარმოიქმნილ ბზარში ან კაშხლის ზედა ნაწილებში მოხდეს დიფერენციალური დაწვევის გამო.

### 4.2.2 უკუხევიითი ეროზია

უკუხევიითი ეროზია ვლინდება არაპლასტიკურ გრუნტებში, როდესაც გრუნტის ეროზია (ნაწილაკების განცალკევება) იწყება გაჟონვის გასასვლელ წერტილში და უკუმიმართულებით (ზედა ნაწილში) ვითარდება, რაც უზრუნველყოფს გზაში „მილის“ ან „სახურავის“ შექმნას. ეს მექანიზმი წარმოიქმნება, როდესაც კაშხლის ძირში არსებული კრიტიკულად მაღალი ჰიდრავლიკური გრადიენტები კაშხლის ქვეშ ზედა და უკუ მიმართულებით ნაწილაკებს შლის ეროზიის მცირე არხებით.

ტერზაგის (Terzaghi) მიხედვით (1943წ.), ვერტიკალური რხევის განტოლება ან გასვლის კრიტიკული გრადიენტი შემდეგნაირად მიიღება:

$$i_{cr} = \gamma' / \gamma_w$$

სადაც  $\gamma'$  არის გრუნტის სიმკვრივე შეწონილ მდგომარეობაში, ხოლო  $\gamma_w$  - წყლის ხვედრითი წონა.

კოვაცსის (Kovács) (1981) შემდგომი მიდგომა [19] ითვალისწინებს ზღვრული წონასწორობის შეფასებას დაქანებული გასასვლელის ზედაპირზე გრუნტის მართკუთხა ელემენტზე მოქმედი ძალებისთვის, რაც შემდეგს მოიცავს: ჰიდროსტატიკური ამწევი ძალით შემცირებული გრუნტის წონა, გრუნტის ელემენტზე ფილტრაციული წყლით შექმნილი ჰიდროდინამიკური ძალა და გრუნტის ელემენტის ფუძეზე ხახუნი (რომელიც არ ითვალისწინებს დრენირებულ შეჭიდულობის ძალას). შესაძლებელია ზღვრული წონასწორობის განტოლების ამოხსნა მილის შექმნისთვის გასასვლელის კრიტიკული გრადიენტის მისაღებად:

$$i_{cr} = \frac{\gamma_b}{\gamma_w} \left[ \frac{\tan(\varphi') \cos(\beta) - \sin(\beta)}{\cos(\beta - \alpha) + \tan(\varphi') \sin(\beta - \alpha)} \right]$$

სადაც  $\gamma_b$  არის უკუხევიტ ეროზიას დაქვემდებარებული გრუნტის სიმკვრივე შეწონილ მდგომარეობაში;  $\gamma_w$  არის წყლის ხვედრითი წონა;  $\beta$  არის შიდა ხახუნის დრენირებული კუთხე;  $l$  არის ფერდოს კუთხე;  $\alpha$  არის გაჟონვის შეფასებული კუთხე (მაგ.: ვერტიკალური გაჟონვისთვის  $\alpha = -90^\circ$ ).

ნენსკრას კაშხალზე გრუნტის მდგომარეობის შეფასებისთვის ( $\gamma_b = 10$ ,  $\beta = 45^\circ$ ,  $l = 32^\circ$ ,  $\alpha = -80^\circ$ ), კოვაცსის მეთოდით მიიღება კრიტიკული გრადიენტი, რომელიც დახლოებით უდრის 0.55 იმ შემთხვევაში, თუ გაჟონვის კუთხე კაშხლის ძირში არის დაახლოებით  $80^\circ$ .

არსებობს ასევე სხვა კომენტარები და დაკვირვებები:

ა) შედარებით მაღალი გრადიენტები ვლინდება დიაფრაგმის კედლის ღრმა მონაკვეთის სიახლოვეს, სადაც წყლის გადინების არხს დაგროვების ტენდენცია ახასიათებს და, შესაბამისად, ჰიდრაულიკური გრადიენტები იზრდება;

ბ) ზემოთ მითითებული ჰიდრაულიკური გრადიენტების სიდიდეები მნიშვნელოვნად არ შეიცვლება მანამ, სანამ დიაფრაგმა არ შეაღწევს ქანში. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, შედარებით ღრმა დიაფრაგმები, თუ ის ქანში არ შედის, უზრუნველყოფს მსგავსი გრადიენტების დიაფრაგმის ბოლოსთან სიახლოვეს. აქედან გამომდინარე, ჩამკეტი ცოკოლის სიახლოვეს გრადიენტების კონტროლის თვალსაზრისით სარგებლიანობა არ არსებობს, თუ დიაფრაგმა უფრო ღრმად შევა;

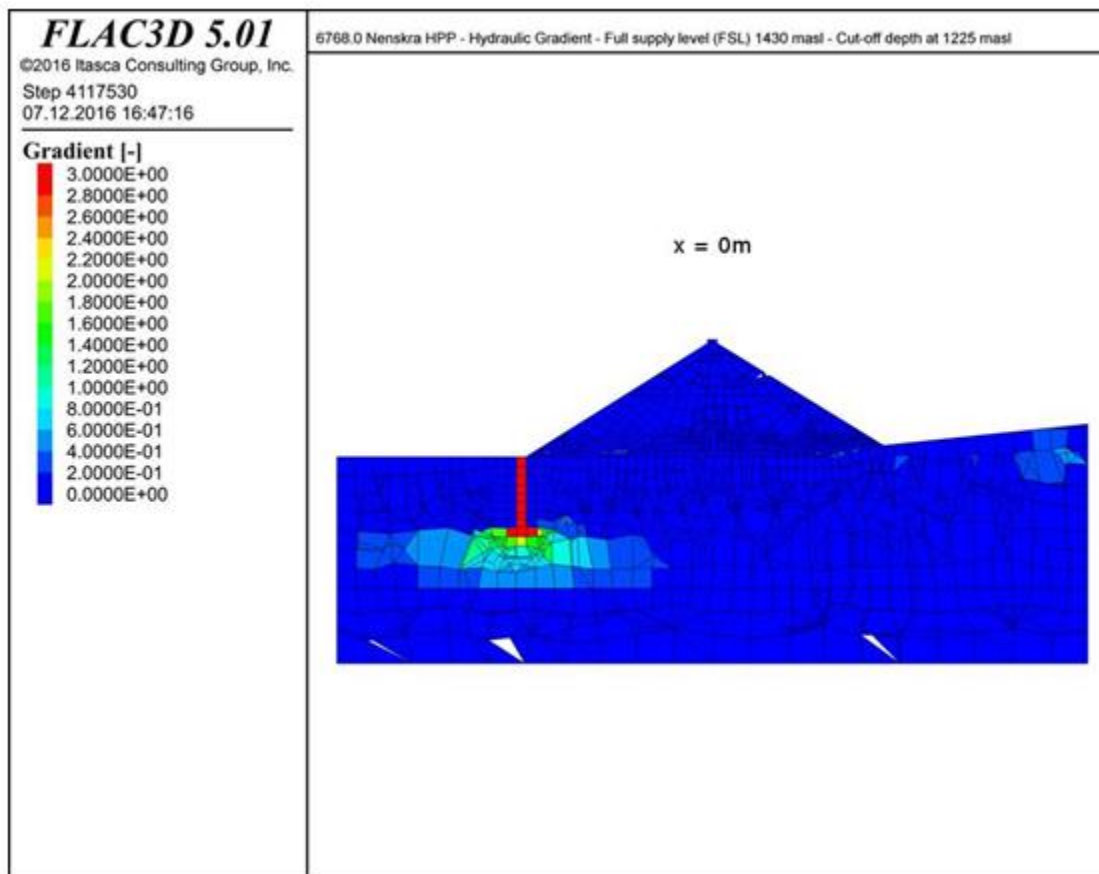
გ) დიაფრაგმის წვერზე შედარებით მაღალი გრადიენტები კრიტიკულად მნიშვნელოვანი არ არის, რადგანაც ეს გრადიენტები ვლინდება საველე სტრეს ტესტების ზონებში, ანუ მაღალი ჰერმეტიზაციის ქვეშ;

დ) უსაფრთხოების გაზრდის მიზნით, შემაკავებელი ფილტრი განთავსდება კაშხლის ზედა ნაწილთან ახლოს, დაახლოებით 80 მ მანძილზე. ფილტრის პროექტი წარმოდგენილია 5.3 მუხლში;

ე) და ბოლოს, ის ფაქტი, რომ გრადიენტები თანდათან ამცირებს ქვედა მიმართულებით

მოდრაობას, იმაზე მეტყველებს, რომ მექანიზმი სტაბილურია, ანუ ნებისმიერი საწყისი ნაწილაკების მოძრაობა მზარდ წინააღმდეგობას განიცდის;

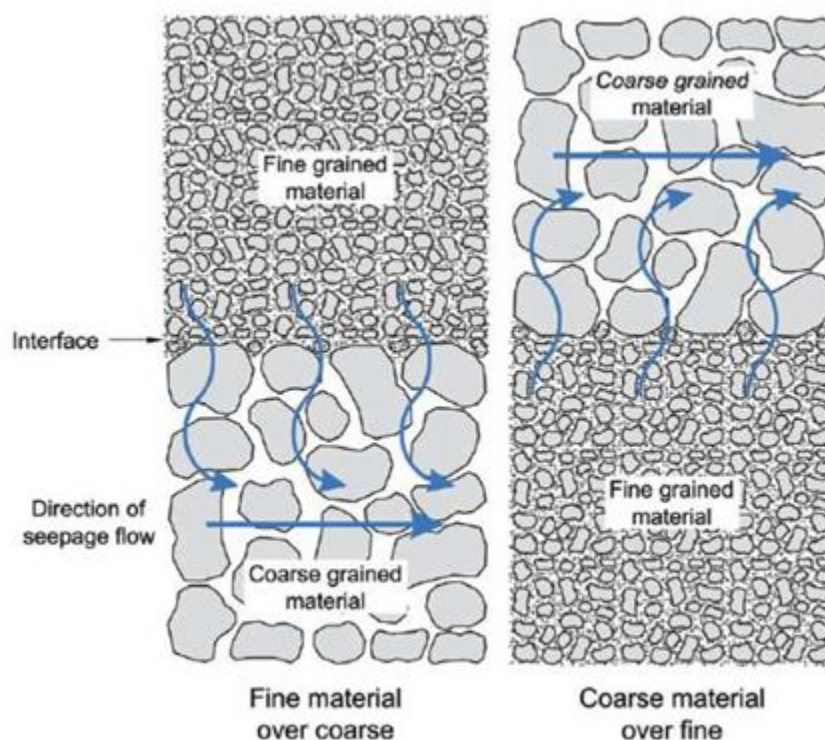
ვ) წყალშემკრები და სადრენაჟო სისტემა ფუნქციონირებას განაგრძობს კაშხლის ქვედა ბოლოში.



**ნახაზი 4.2.2.1** ჰიდრავლიკური გრადიენტი ხეობის ზედაპირზე (ჩამკეტი კედლის სიღრმე 1225 მ ზღვის დონიდან)

### 4.2.3 კონტაქტური ეროზია

კონტაქტური ეროზია ხდება იმ შემთხვევებში, როდესაც მსხვილმარცვლოვანი გრუნტი, როგორცაა ხრეში, წვრილმარცვლოვან გრუნტთან კონტაქტშია და ამ კონტაქტის შედეგად, მსხვილმარცვლოვანი გრუნტი აბინძურებს წვრილმარცვლოვანს. წვრილმარცვლოვანი გრუნტის ფენის ნაწილაკები წყლის ნაკადმა შეიძლება დაშალოს და გადაიტანოს მსხვილმარცვლოვან ფორებში ინტერფეისის პარალელურად. ეს ფენომენი ორ პირობას საჭიროებს: პირველი, მსხვილმარცვლოვანი ფენა გეომეტრიულად ღია უნდა იყოს სხვა ფენისთვის, ანუ საკმარისად ფართო ფორები უნდა ჰქონდეს ისე, რომ წვრილ მარცვლოვანმა ნაწილაკმა შეაღწიოს ამ ფორებში. მეორე, ჰიდრავლიკური პირობები ისეთი უნდა იყოს, რომ ნაკადის სიჩქარე საკმარისი იყოს ნაწილაკების დაშლისა და ტრანსპორტირებისთვის.



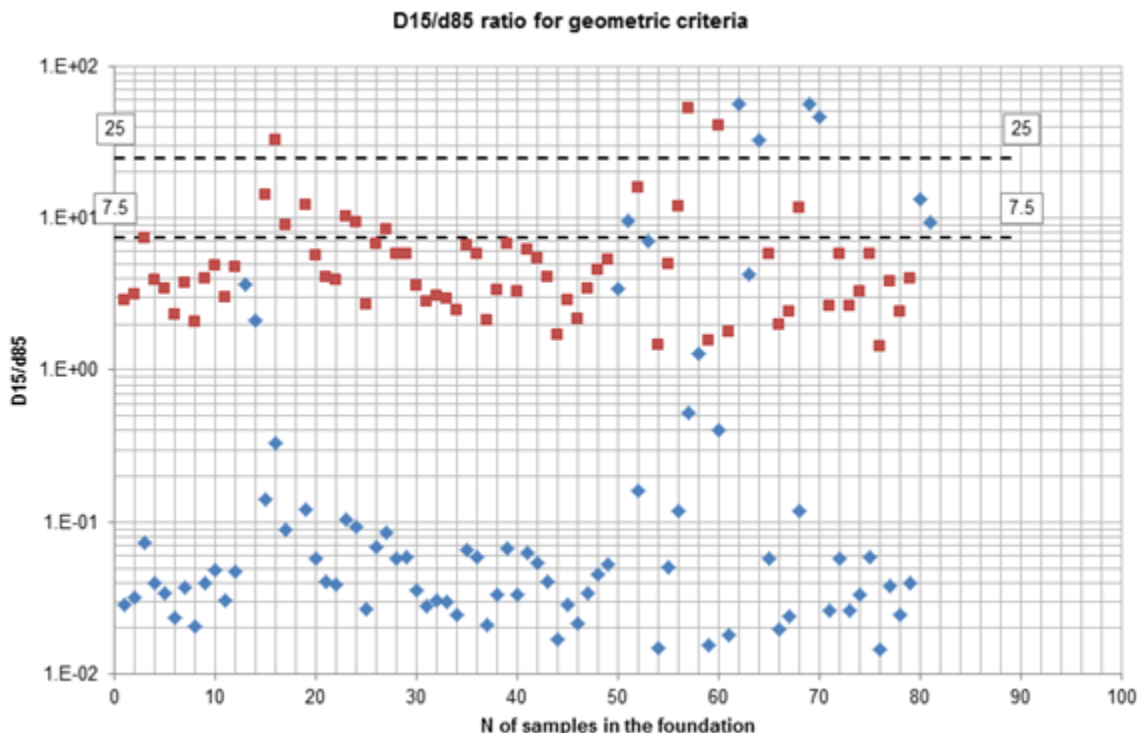
**ნახაზი 4.2.3.1** წვრილმარცვლოვანი მასალის მიგრაცია მსხვილმარცვლოვან მასალაში ინტერფეისზე პარალელური ნაკადი გამო (USB R)

ქვემოთ განხილულია საკონტაქტო ეროზიის დაწყების ორი პირობა:

**1. გეომეტრიული პირობა:** მსხვილმარცვლოვანი ფენების ფორები საკმარისად დიდი უნდა იყოს იმისათვის, რომ ნაწილაკებმა გაიარონ. ზოგიერთმა ავტორმა კონტაქტური ეროზიის კონკრეტულ კონტექსტში კრიტერიუმები შემოგვთავაზა. ამ მდგომარეობის შესაფასებლად შეიძლება ასევე გამოვიყენოთ კლასიკური ფილტრის კრიტერიუმები.

ბრაუნსმა (Brauns) (1985) [7] დაადასტურა, რომ  $D_{15}/d_{85}$  კოეფიციენტი ადგენს კონტაქტური ეროზიის ქცევას (დიდი ასოთი გამოხატულია მსხვილმარცვლოვანი გრუნტი, ხოლო პატარა ასოთი - წვრილმარცვლოვანი გრუნტი). 7.5-ზე ნაკლები  $D_{15}/d_{85}$  კოეფიციენტების პირობებში, კონტაქტური ეროზიის დაწყება ნაკლებად სავარაუდოა, თუნდაც მაღალ ჰიდრავლიკურ პირობებში. მეორე მხრივ, 25-ზე მეტი  $D_{15}/d_{85}$  კოეფიციენტების პირობებში, ჰიდრავლიკური

დატვირთვა მთლიანად აკონტროლებს ეროზიას და ფილტრაციის ეფექტი არ არსებობს. ამ ორ ზღვარს შორის გეომეტრიული და ჰიდრავლიკური ფაქტორები ეროზიას აკონტროლებენ.



**ნახაზი 4.2.3.2** ბრაუნსის კონტაქტური ეროზიის კრიტერიუმები D<sub>15</sub>/d<sub>85</sub>-ზე დაყრდნობით. სამირკვლის ყველა ნიმუში შედარებულია 3A სასაზღვრო ხაზთან. ლურჯი წერტილები ნიშნავს ქვედა საზღვარს, ხოლო წითელი წერტილები - ზედა საზღვარს

**2. ჰიდრავლიკური პირობა:** ნაკადის სიჩქარე საკმარისი უნდა იყოს იმისათვის, რომ ნაწილაკები დაიშალოს და ასევე გადაადგილდეს. თუ ორივე პირობა შესრულებულია, ეროზია შესაძლებელია მოხდეს. სამირკვლის მასალის კრიტიკული სიჩქარე ბრაუნსის მიერ შემოთავაზებული გამოხატვის მიხედვით (1985) [7] უზრუნველყოფს ქვიშის ხრემთან კონტაქტის მიახლოებით მნიშვნელობებს:

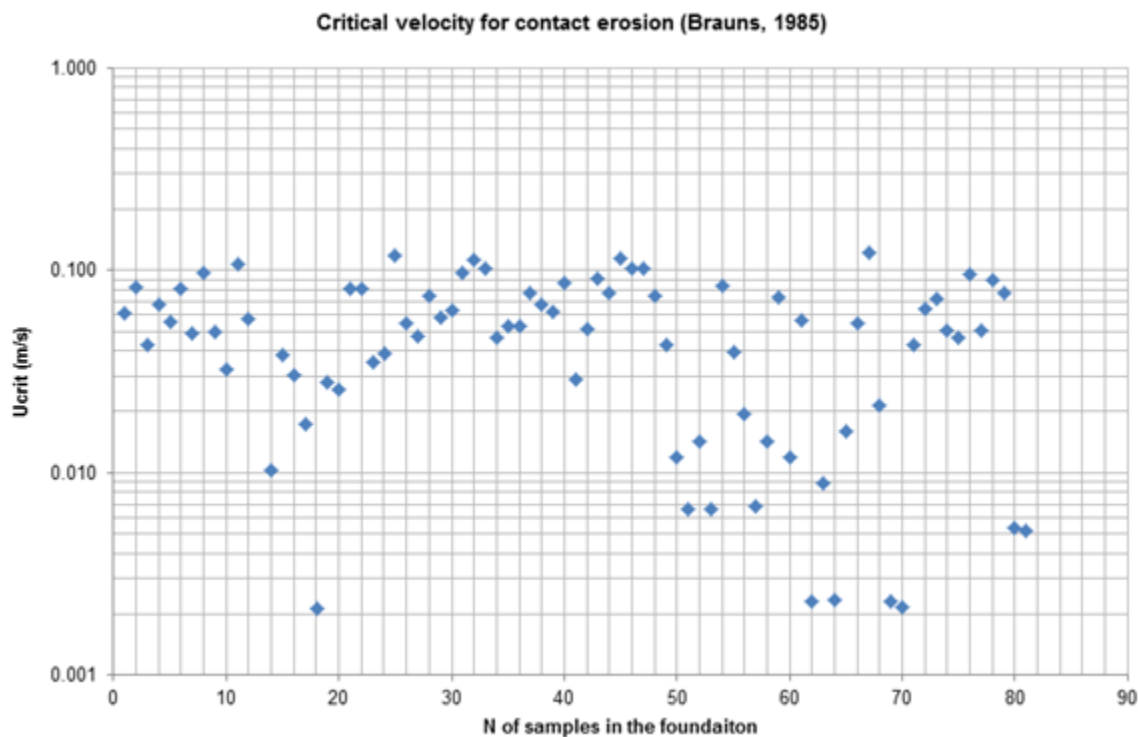
$$U_{crit} \text{ (m/s)} = 0.65 \cdot n \cdot \sqrt{\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}} \cdot \frac{1}{d_{50}^{0.5}}$$

სადაც  $n_F$  არის მსხვილმარცვლოვანი გრუნტის (ხრემი) ფოროვნობა,  $\rho_s$  არის საბაზისო გრუნტის (ქვიშის) ნაწილაკების სიმკვრივე (კგ/მ<sup>3</sup>),  $\rho_w$  არის წყლის სიმკვრივე,  $g$  არის სიმძიმის ძალის აჩქარება (9.81 მ/წმ<sup>2</sup>), ხოლო  $d_{50}$  - საბაზისო გრუნტის (ქვიშის) მარცვლის საშუალო ზომა. ცხრილ 4.2.3.1-ში მოცემულია სამირკვლის გრუნტის თითოეული ნიმუშისთვის გამოთვლილი კრიტიკული სიჩქარე; ძირითადი ნაწილი მოქცეულია 0.03-0.1 მ/წმ დიაპაზონში.

დრენაჟის ფენის შიგნით ნაკადის გაანგარიშებული სიჩქარეა:

$$v = k \cdot i = 0.012 \cdot d_{10}^2 \cdot 4.5/100 = 0.026 \text{ მ/წმ}$$

კაშხლის ქვედა ნაწილთან ახლოს მდებარე დრენაჟის ფენის ვიწრო ნაწილის გავლით 250 ლ/წმ ნაკადის გათვალისწინებით,  $d_{10} = 7$  მმ (საპროექტო გამტარობაზე უსაფრთხოების ფაქტორის გამოყენების შემდეგ, რომელიც 20-ს უდრის) ხოლო ფერდობი უდრის 4.5 %.



**ცხრილი 4.2.3.1** საძირკვლის გრუნტის ნაწილაკების ზომის განაწილება (ქაბურღილებში ზემოთ და ორმოები ქვემოთ) შედარებულია ქვანაყართან

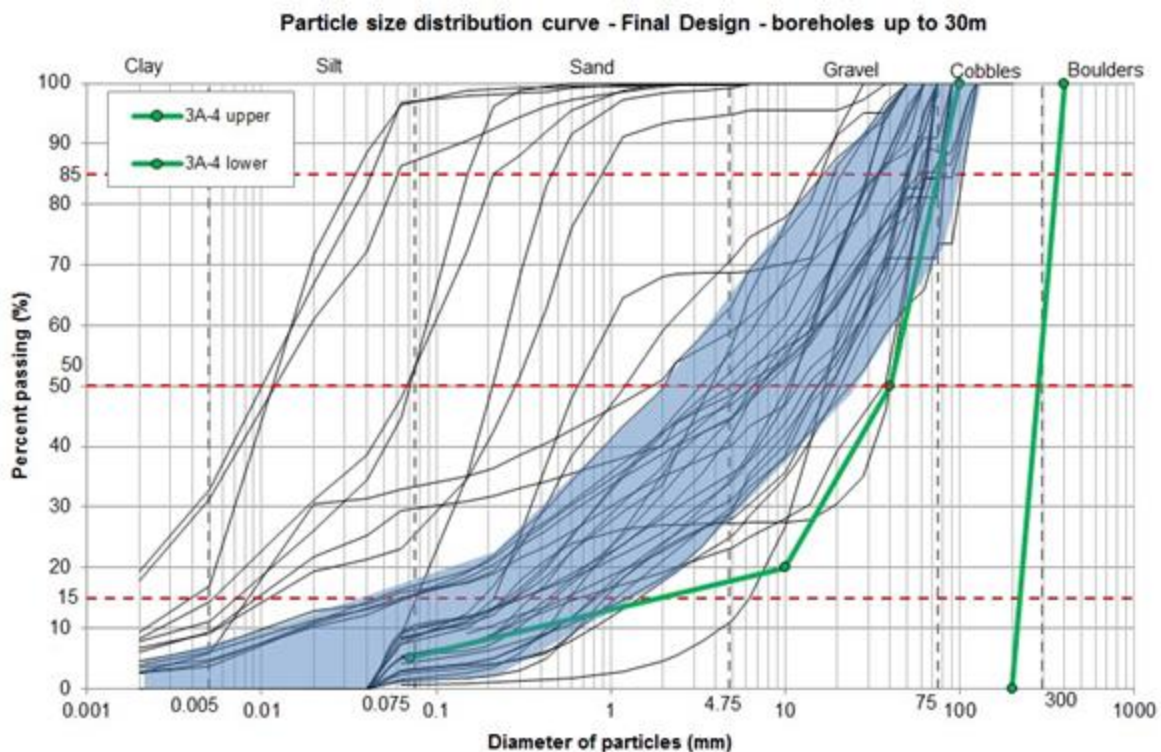
**ნახაზ 4.2.3.3-ზე** საძირკვლის გრუნტის გრანულომეტრულ შემადგენლობასა (GSD) და დრენაჟის 3A მასალის საპროექტო განაწილებას შორის შედარება არის ნაჩვენები. ზედა ნახაზზე წარმოდგენილია ქაბურღილის ნიმუშების გრანულომეტრული შემადგენლობა, ხოლო ქვედა ნახაზზე ნაჩვენებია თხრილის ნიმუშების გრანულომეტრული შემადგენლობა. გთხოვთ გაითვალისწინოთ, რომ ლურჯად მონიშნული კონვერტი მოიცავს გრანულომეტრული შემადგენლობის მრუდების უმეტეს ნაწილს. ამ კონვერტის გარეთ მრუდები ეკუთვნის ბოლო ალუვიური ქვიშრობის ქვიშიან და ლამოვან ზედა ფენას, რომელიც შეიცვლება. მიუხედავად იმისა, რომ თხრილების გრანულომეტრულ შემადგენლობას მცირე ადგილი უკავია, ორივე ზონა ერთმანეთის მსგავსია.

ფილტრაციის კრიტერიუმი შეფასდა საძირკვლის მასალებს შორის, თხრილების ლურჯად შეფერადებული ზონების და 3A მასალის გათვალისწინებით. განიხილეს სავარაუდო სიდიდეები ყველაზე უარეს პირობებში:

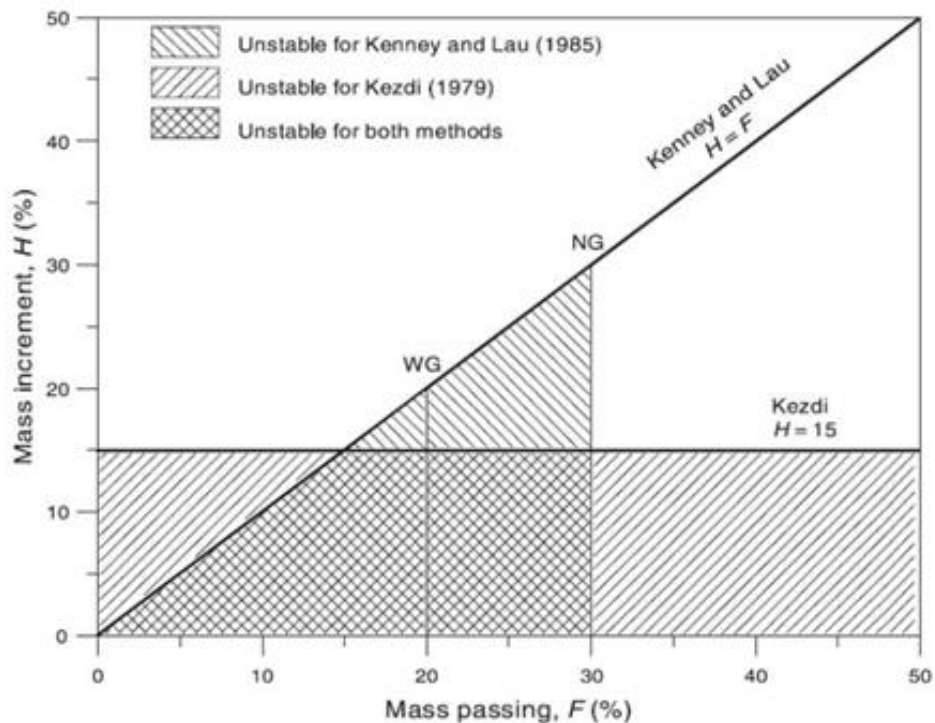
$$D_{15}/d_{85} = \frac{2 \div 200}{\text{range}(30 \div 100)} < 4$$

შეიძლება აღინიშნოს, რომ შეკავების კრიტერიუმები დაკმაყოფილებულია დრენაჟის 3A მასალის სრული გრანულომეტრული შემადგენლობის კონვერტისთვის.



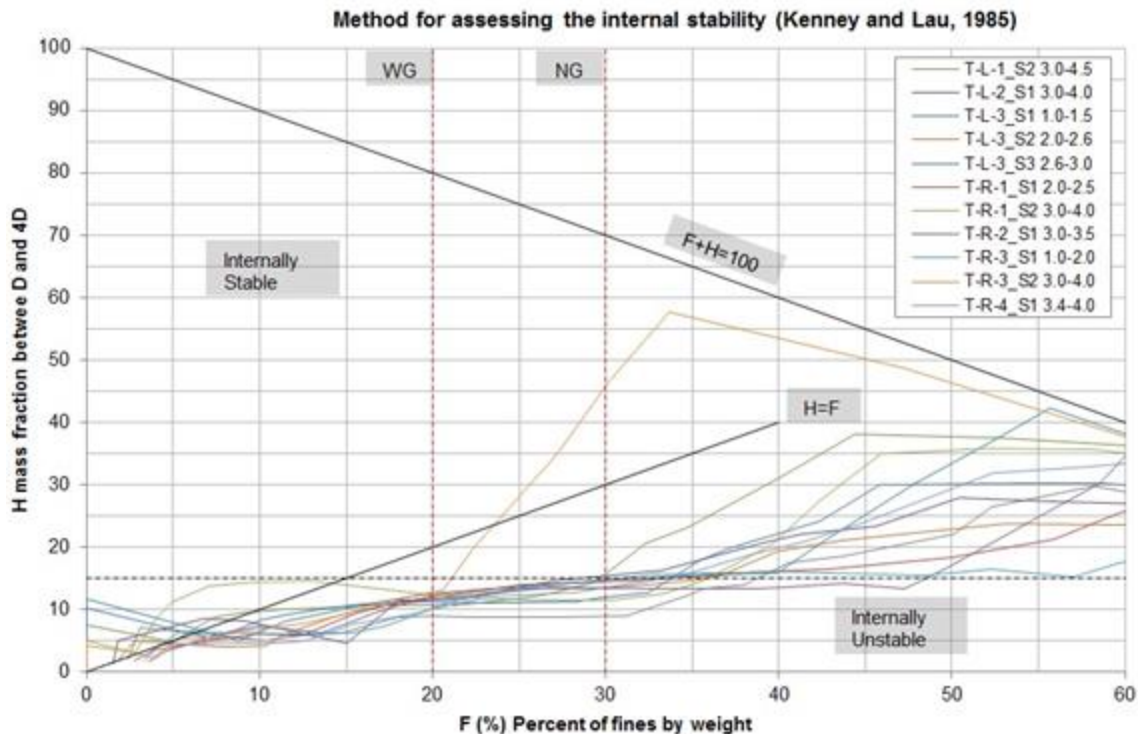


**ნახაზი 4.2.3.3** საძირკვლის გრუნტის გრანულომეტრიული შემადგენლობა (ჭაბურღილები ზედა, ხოლო თხრილები ქვედა ნახაზზე, ლურჯად შეფერადებულ ზონებში) შედარებულია 3A ტიპის ქვანაყარს (საპროექტო შემადგენლობა არის მწვანე ფერში)



**ნახაზი 4.2.3.4** კენის და ლაუს (1985წ.) და კეზდის (1979წ.) კრიტერიუმების სინთეზი. NG, ვიწროდ გრადიენტური, WG, ფართოდ გრადიენტური (ლი და ფამინი, 2008წ)

**ნახაზი 4.2.3.5-ზე** წარმოდგენილი თხრილების ნიმუშებთან დაკავშირებული შედეგები გვიჩვენებს, რომ ზედაპირთან ახლოს მდებარე გრუნტი პოტენციურად არასტაბილურია (არაპლასტიკური, ფართოდ გრადიენტური გრუნტები). ჭაბურღილის ნიმუშთან დაკავშირებული შედეგები მსგავს ქცევას აჩვენებს, უფრო წვრილმარცვლოვანი სტრუქტურის მქონე გრუნტის გარდა.



**ნახაზი 4.2.3.5** შინაგანად არასტაბილურობის შეფასება კენისა და ლაუს მიდგომის მიხედვით, რომელიც გამოიყენეს ნიმუშებში.

მე-3 კრიტერიუმის შემთხვევაში, გამოყენებულია ლი და ფანინის (Li and Fannin) (2008წ.) [21] მეთოდი. ისინი გვთავაზობენ ჰიდრომექანიკურ კრიტერიუმს არასტაბილური მასალების ტესტირებიდან გამომდინარე. იმ ფაქტის გათვალისწინებით, რომ სტაბილურ გრუნტებში გაჟონვა არ ხდება ტერზაღის (Terzaghi) კრიტიკული ჰიდრავლიკური გრადიენტის ქვეშ,  $i_{CT}$ , ავტორებმა კრიტიკული გრადიენტი,  $i_c$ , განსაზღვრეს ნებისმიერი არასტაბილური გრუნტისთვის, და ეს მაჩვენებელი მიიღეს წვრილმარცვლოვანი ნაწილაკების მიერ განცდილი ეფექტური სტრესის თანაფარდობით

$$i_c = \alpha \cdot i_{CT} = \alpha \cdot \gamma' / \gamma_w$$

სადაც  $\gamma_w$  და  $\gamma'$  არის წყლისა და ტივტივა გრუნტის კუთრი წონა, ხოლო  $\alpha$  არის ვერტიკალური ეფექტური სტრესის შემცირების ფაქტორი  $\alpha_v$  რომელსაც წვრილმარცვლოვანი ნაწილაკები განიცდის შინაგანად არასტაბილურ გრუნტში, როგორც პირველად შემოგვთავაზა სკემპტონმა და ბროგანმა (Skempton & Brogan) (1994წ.) [16]. წვრილმარცვლოვანი ნაწილაკები ეფექტური სტრესს შემცირებული დოზით იტანენ:

$$\sigma'_f = \alpha \cdot \sigma'_v$$

შემცირების სტრეს ფაქტორი  $\alpha$  უკავშირდება სხვადასხვა გეომეტრიულ მაჩვენებლებს:  $(H/F)_{\min}$  კენი და ლაუ (Kenney and Lau), 1985წ. [17] და ლი (Li), 2008წ. [21]),  $D'_{15}/d'_{85}$  (კეზდი (Kezdi), 1979წ.) და  $d'_{85} / O_{50}$  (კოვაცსი (Kovacs), 1981წ. [19]). მოცემულ შემთხვევაში, გათვალისწინებულია კოეფიციენტი თანაფარდობა  $(H/F)_{\min}$ :

$$\alpha = 1.0 (H/F) = 0.4 \div 0.5$$

ზემოთ მოყვანილი გრადიენტის რუკასთან შედარებით  $i_c$  შეფასება მიუთითებს იმაზე, რომ

შეიძლება მოხდეს დიაფრაგმასთან ახლოს მდებარე ზონაში ნაწილაკების მიგრაცია.

თუმცა, აღსანიშნავია, რომ ზემოთ გამოყენებული  $i_{CT}$ -ის ფორმულირება მკაცრად გამოიყენება ვერტიკალური ზედა ნაკადის ღია დაუფარავი ზედაპირისკენ დენადობის პირობებში. განსახილველ შემთხვევაში, თავად კაშხლის მიერ უზრუნველყოფილ დაფარულობას უფრო მაღალი დასაშვებ გრადიენტებამდე მივყავართ.

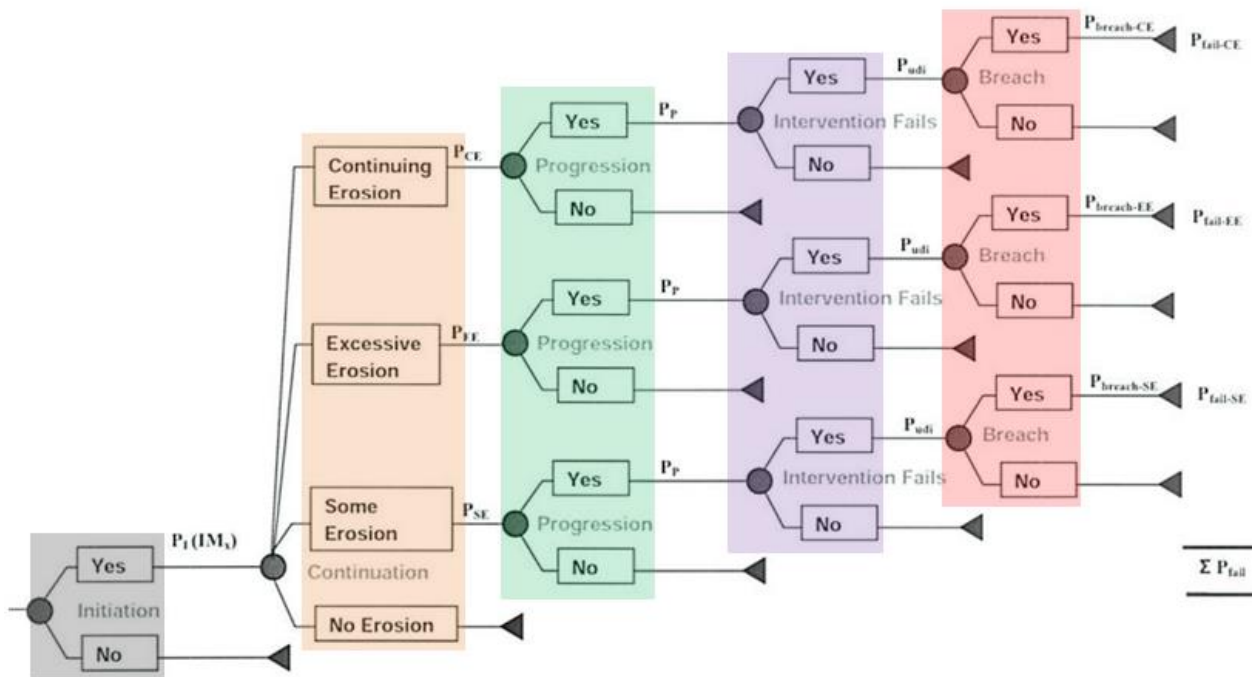
რისკი განისაზღვრება როგორც მოცემულ დროში დანაკარგის ალბათობა (ყოველწლიურად):

$$RISK = [დატვირთვის ალბათობა] \times [არახელსაყრელი რეაგირების ალბათობა] \times [წარუმატებლობის გამომწვევი არახელსაყრელი შედეგი]$$

ამ განტოლების პირველი ორი კომპონენტი, როდესაც გამრავლდება, ქმნის წარუმატებლობის წლიურ ალბათობას და ამ კვლევის მთავარ თემას წარმოადგენს. თუმცა, წარუმატებლობის გამომწვევი არახელსაყრელი შედეგები შემდგომში არ განიხილება.

$$APF \text{ წარუმატებლობის ყოველწლიური ალბათობა} = [დატვირთვის ალბათობა] \times [არახელსაყრელი რეაგირების ალბათობა]$$

ქვემოთ შეჯამებულია მოვლენათა ხის რამდენიმე ძირითადი განმარტება [28]:



**ნახაზი 4.2.3.6** მოვლენათა ხის სტრუქტურა. ძირითადი ეტაპები გამოყოფილია: დაწყების მექანიზმის შერჩევა (ნაცრისფერი) და მისი ალბათობა, ფენომენის გაგრძელების ალბათობის შეფასება (ნარინჯისფერი), პროგრესირების შეფასება (მწვანე), წარუმატებელი ჩარევის ალბათობის (იისფერი) და რღვევის ალბათობის (წითელი) გათვალისწინებით

**განმტკობა:** წინა შემთხვევით კვანძთან დაკავშირებული შესაძლო მოვლენა, რომელიც ჩვეულებრივ აღნიშნულია ხაზოვანი სეგმენტით.

**განმტკობის ალბათობა.** განმტკობით წარმოდგენილი მოვლენის ალბათობა, რომელიც დამოკიდებულია მოვლენათა ხის მარცხნივ ჩამონათვალი მოვლენების დადგომაზე.

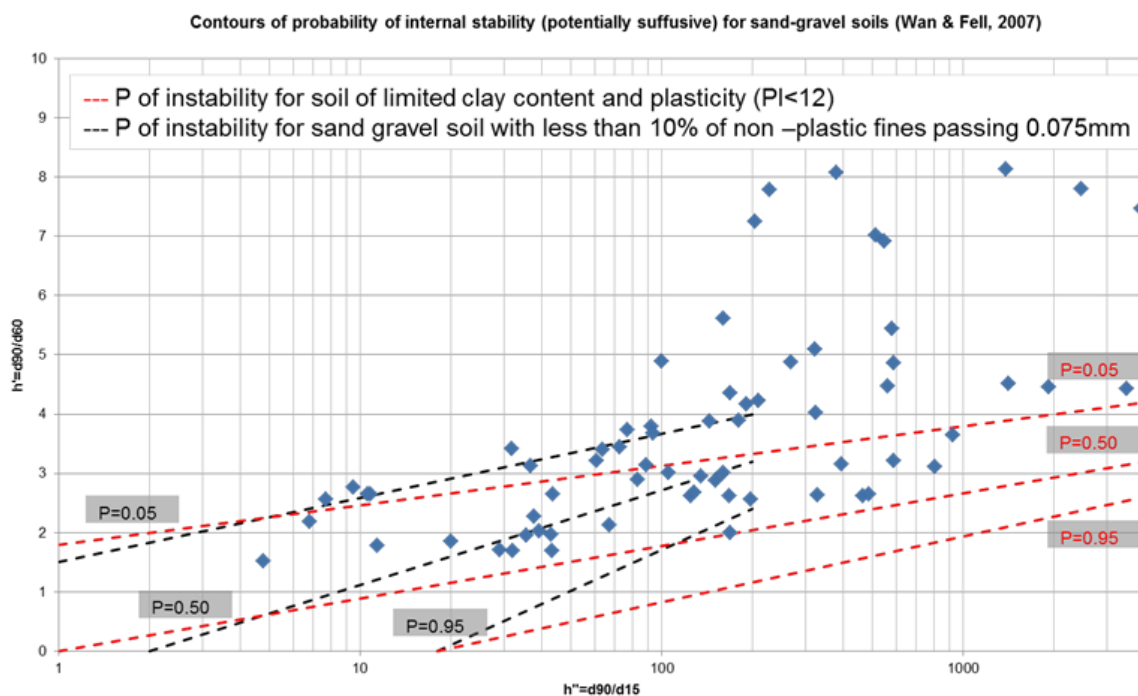
შემთხვევითი კვანძი. მოვლენათა ხეზე განშტოების წერტილი ჩვეულებრივ აღნიშნულია განშტოების ბოლოს წრის სიმბოლოთი, რაც მიანიშნებს უცნობი მოვლენის დადგომას.

ბოლო კვანძი. იმ ბილიკის შედეგი, რომელიც ეკუთვნის მოვლენათა ხეზე განშტოებების უკანასკნელ დონეს. ბოლო კვანძი განმარტავს მოვლენათა თანმიმდევრობის სავარაუდო დასასრულს.

ბილიკი. მოვლენათა უნიკალური თანმიმდევრობა, რომელიც წარმოადგენს მოვლენათა კომპლექტს.

**ნახაზ 4.2.3.6-ზე** ნაჩვენებია გაჟღენთის მექანიზმის ანალიზი. ლოგიკურ ხეზე არჩევითი კვანძი არის:

- **დაწყების მექანიზმის** შეფასება (ნაცრისფერში მოვლენათა ხეზე) შიდა ეროზიის წარუმატებლობის ბილიკზე. მოცემულ შემთხვევაში, გაჟღენთის წარუმატებლობის ბილიკი შეუკავშირებელ საძირკველში ვერ გამოირიცხება, რადგან არცერთი ეს ორი პირობა არ სრულდება: გრუნტის პლასტიურობის მაჩვენებელი 7-ზე მეტია ან საძირკველის გრუნტში წვრილმარცვლოვანი ფრაქციის თანაფარდობა 40%-ზე მეტია [9]. აღსანიშნავია, რომ იგივე სახელმძღვანელო მითითებით, სხვა მექანიზმები გამოირიცხება, როგორც უკუხევეთი ეროზია შეუკავშირებელი გრუნტის საძირკველში და ბზარის ეროზია საძირკველის შეკავშირებულ გრუნტში.

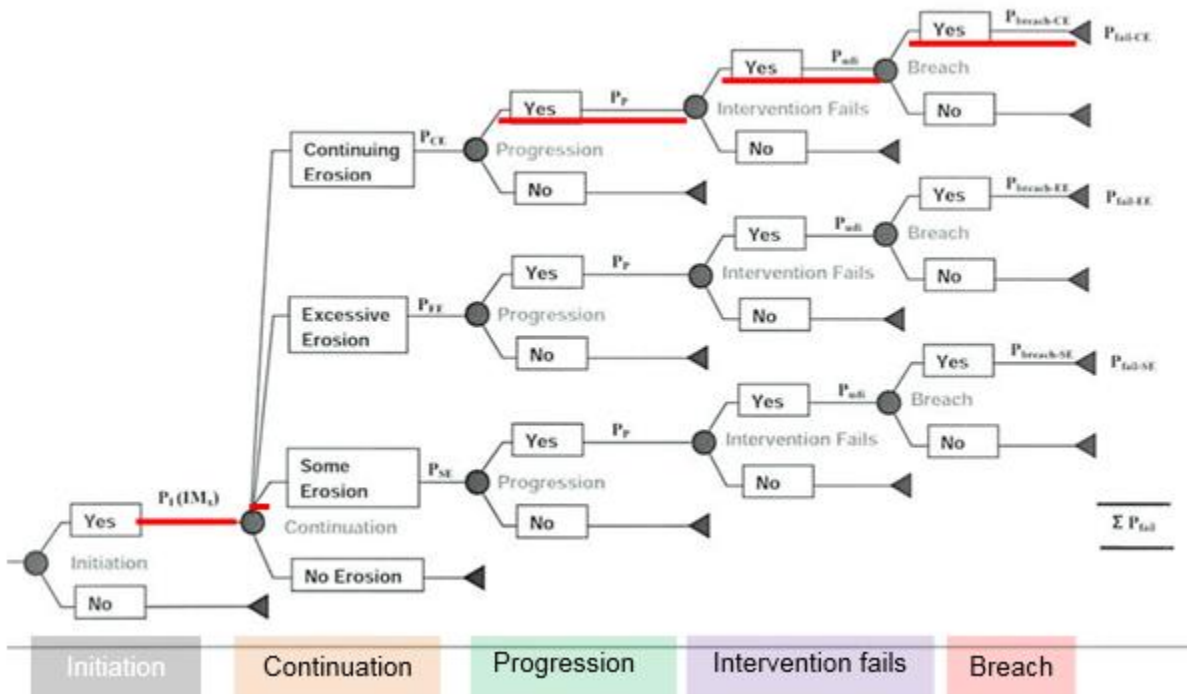


**ნახაზი 4.2.3.7** შიდა არასტაბილურობის შეფასება Wan & Fell (2007 წ.) მეთოდის მიხედვით

- საძირკველში შიდა ეროზიის **გაგრძელების** ალბათობის შეფასება (ნარინჯისფერში მოვლენათა ხეზე). გაგრძელების ალბათობა დაკავშირებულია იმ სცენარის ალბათობასთან, რომელშიც გაჟონვის ნაკადის გასასვლელი გაუფილტრავი რჩება. მოცემულ შემთხვევაში, სცენარია „საძირკველის ფილტრის ჰორიზონტალური

დრენირება, რომელიც პირდაპირ ასწევს ეროზიას დაქვემდებარებულ საძირკვლის მასალას“ (საძირკვლის გასუფთავება გაჟონილი წყლის ფილტრში ჩადინების შესაძლებლობას იძლევა). ამ ტერმინების განმარტებები, ამ ანალიზში წარმოდგენილ სხვა განმარტებებთან ერთად, შექმნილია საერთაშორისო გაიდლაინებით გათვალისწინებული ცხრილების მიხედვით [16] [9].

- **პროგრესირების** ალბათობა (მწვანე ფერში მოვლენათა ხეზე) სამ ფაქტორზეა დამოკიდებული: სახურავის ფორმირების ალბათობა, რაც პირდაპირ დამოკიდებულია გრუნტის კლასიფიკაციაზე; იმის ალბათობა, რომ ბზარების შევსება ეფექტური არ იქნება; და იმის ალბათობა, რომ განვითარებულ მილში ნაკადი არ შეიზღუდება ზედა ზონით (მაგ.: ჩამკეტი კედელი). აღსანიშნავია, რომ პირველ ალბათობას მიენიჭა 0.1 ხარისხი, იმის გათვალისწინებით, რომ გრუნტი კლასიფიცირებულია როგორც „მარცვლოვანი გრუნტი არაპლასტიკური წვრილი მარცვლებით“, მეორე ალბათობას მიენიჭა 1.0 ხარისხი (გვერდითი მხრიდან უსაფრთხო მიდგომა), ხოლო მესამე ალბათობა ძალიან დაბალია ღრმა პლასტიკური დიაფრაგმის არსებობის გამო.
- შიდა ეროზიაში **წარუმატებელი ჩარევა** (იისფერში მოვლენათა ხეზე), რომელიც მოიცავს გაჟონვის ვერ აღმოჩენის ალბათობას (თვალსაჩინო არ არის; თვალსაჩინოა, მაგრამ შეუძლებელია გამოვლენა) და იმის ალბათობას, რომ ჩარევა და სარემონტო ღონისძიებები წარუმატებელი იქნება.
- კაშხლის **რღვევა** (წითელში მოვლენათა ხეზე): ქვანაყარი კაშხლის შემთხვევაში, საერთაშორისო რეკომენდაციებით აღიარებული ერთაერთი მექანიზმია გარესაფარის გამოცვლა ან ჩამოხსნა. ფაქტორები, რომელიც ამ პარამეტრზე ახდენს გავლენას, არის ქვანაყარის ხარისხი, ქვედა ფერდოს სისველე და წყლის დონის ფაქტორივი მომატება.



ნახაზი 4.2.3.8 მოვლენათა ხის სტრუქტურა. წარუმატებლობის შეფასების ალბათობისთვის

გამოყენებული ბილიკო ნაჩვენებია წითელ ფერში

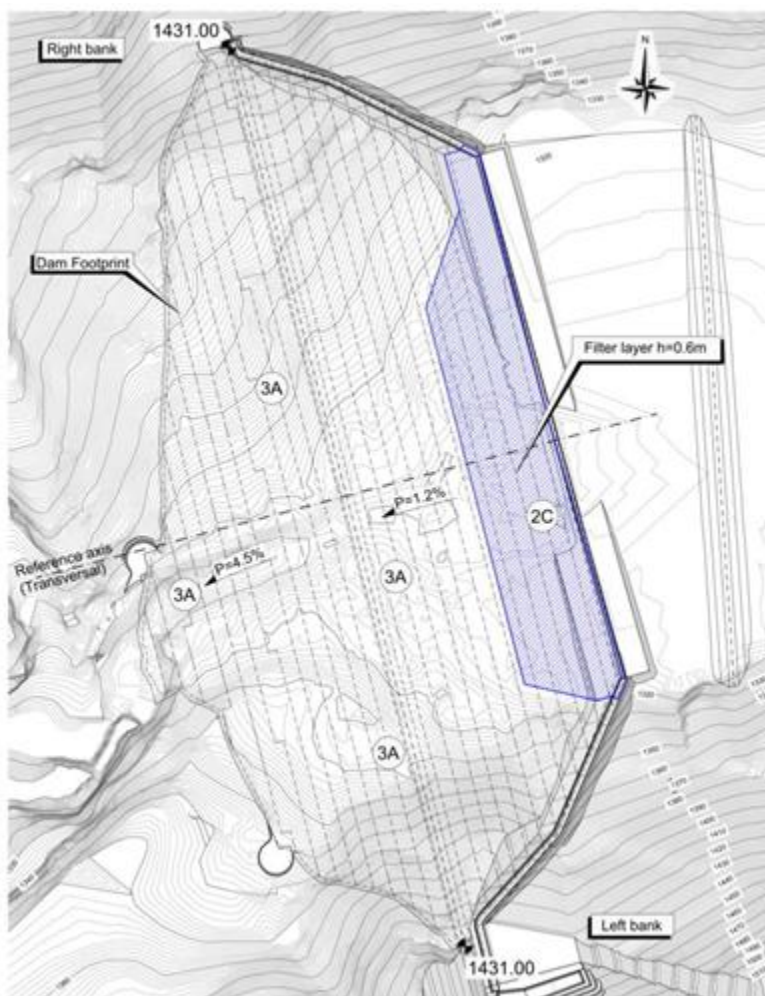
ზემოთ მითითებული პროცედურა და თითოეული სიდიდის შედეგები შეჯამებულია ცხრილ 4.2.3.1-ში.

მოვლენათა ხის განშტოება	სიმბოლო	იმ ფაქტორის აღწერა რომელიც გავლენას ახდენს თითოეულ განშტოებაში ალბათობის გაანგარიშებაზე	პროცედურა
დაწყების	$P_I$	<p>გაჟღენთის დაწყების ალბათობა:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- მუდმივი ფენის არსებობა (<math>P_{CL}</math>)</li> <li>- შიდა არასტაბილურობის შეფასება (<math>P_{IUS}</math>)</li> </ul>	$P_I = P_{CL} \times P_{IUS} = 1.0 \times 0.5 = 0.5$
გაგრძელება	$P_{CE}$	<p>ეროზიის გაგრძელების ალბათობა:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ნაკადის გასასვლელის ალბათობა იქნება გაუფილტრავი გასასვლელი (<math>P_{UNF}</math>)</li> </ul>	$P_{CE} = P_{UNF} \times 1.0 = 0.005$
პროგრესირება	$P_P$	<p>ეროზიის პროგრესირების ალბათობა:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- სახურავის ფორმირება (<math>P_{PR}</math>);</li> <li>- ზბარების ამოვსება არ შეაჩერებს მილების გაფართოებას (<math>P_{PC}</math>);</li> <li>- ზედა ზონა ვერ შეძლებს ნაკადის შემცირებას (<math>P_{PL}</math>)</li> </ul>	$P_P = P_{PR} \times P_{PC} \times P_{PL} = 0.1 \times 1.0 \times 0.0005 = 0.00005$
წარუმატებელი ჩარევა	$P_{UDI}$	<p>ვერ შენიშვნის ალბათობა:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- გაჟონვა თვალსაჩინო არ არის (<math>P_{NOL}</math>)</li> <li>- თვალსაჩინოც რომ იყოს, შეუძლებელია მისი გამოვლენა (<math>P_{ND}</math>)</li> <li>- შიდა ეროზია თვალსაჩინო არ არის (<math>P_{NDI}</math>)</li> </ul> <p>წარუმატებელი ჩარევის ალბათობა (<math>P_{UI}</math>)</p>	$P_{UI} = P_{NOL} \times (1 - P_{ND}) \times P_{UI} =$ $0.8 + [(1 - 0.8) \times 0.1 + (1 - 0.8) \times (1 - 0.1) \times 0.8] = 0.8 + [0.02 + 0.14] = 0.96$
კაშხლის დარღვევა	$P_{breach}$	<p>დარღვევის მექანიზმი გაუვალი ზედაპირის ქვაყრილისთვის: ზედაპირის ჩამოცლა და მოხსნა (<math>P_{SU,CE}</math>)</p>	$P_{breach,CE} = 1 - [(1 - P_{SU,CE})] = 0.75$
წარუმატებლობის ალბათობა			
$P_{fail} = P_{I,suff} \times P_P \times P_{UDI} \times [(P_{CE} \times P_{breach,CE})] = 0.5 \times 0.00005 \times 0.96 \times [0.005 \times 0.75] = 9.0E-8$			

**ცხრილი 4.2.3.1** შიდა ეროზიის ალბათობის შეფასების შეჯამება საძირკვლის გრუნტის გაჟღენთის შემთხვევაში, საერთაშორისო რეკომენდაციების შესაბამისად, 21-ე ნახაზზე არსებული ბილიკის მიხედვით. თითოეული ალბათობის შეფასება განხორციელდა [9]-ში მოცემული მეთოდისა და ცხრილების გამოყენებით

## 5 საბაზისო ფილტრის პროექტი

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, საბაზისო ფილტრის ფენა განთავსდება საძირკვლის გრუნტსა და 3A სადრენაჟო მასალას შორის, ზედა ფსკერის ტერიტორიაზე, ჩამკეტ კედელთან ახლოს, სადაც მაღალი ჰიდრავლიკური გრადიენტებია მოსალოდნელი. ფილტრი, რომელსაც 2C ეწოდება, იქ განთავსდება, დრენაჟში გრუნტის ნაწილაკების მიგრაციის თავიდან ასაცილებლად. ფილტრი დაფარავს 80 მეტრიან მანძილს ზედა ძირში 0.60 მ სისქით, როგორც ნახაზ 6.1-ზეა ნაჩვენები.



**ნახაზი 6.1** საბაზისო ფილტრის ფენის მდებარეობა

ფილტრი ისეა დაპროექტებული, რომ უზრუნველყოს ორი ძირითადი ფუნქციის შესრულება (ICOLD B095):

- 1) შეკავების ფუნქცია: ფილტრმა უნდა აღკვეთოს გრუნტის ნაწილაკების მიმდებარე შემავსებელი მასალიდან მიგრაცია. კლასიკური ტერზაღის (Terzaghi) კრიტერიუმში  $D_{15}/d_{85} < 4$  ამ მოთხოვნას ასრულებს, სადაც  $D_{15}$  არის ნაწილაკების ზომა ფილტრში, რომლისთვისაც ნაწილაკების 15% წონის მიხედვით პატარაა, ხოლო  $d_{85}$  არის ნაწილაკების ზომა საბაზისო ფილტრში, რომლისთვისაც ნაწილაკების 85% წონის მიხედვით პატარაა.



- 2) გამტარობის ფუნქცია: ფილტრმა უნდა დაუშვას მიმდებარე საძირკვლის შემავსებელი მასალიდან მიწისქვეშა ნაკადები ჭარბი ჰიდროსტატიკური წნევის შექმნის გარეშე. კლასიკური ტერზაღის (Terzaghi) კრიტერიუმი  $D_{15}/d_{85} < 4$  ამ მოთხოვნას ასრულებს.

ამ ფუნქციების გარდა, ფილტრმა უნდა შეასრულოს სხვა მნიშვნელოვანი მოთხოვნებიც:

- არ გამოეყოს (სეგრეგაციის გარეშე): მასალამ ტრანსპორტირებისა და განთავსების დროს არ უნდა განიცადოს გრანულომეტრული შემადგენლობის (PSD) მრუდის ცვლილება;
- არ შეიცვალოს გარდამავალ საფეხურებზე: არ უნდა გამოავლინოს ნაწილაკების დეგრადაცია ან დარღვევა მასალის დამუშავების ან განთავსების დროს;
- არ ჰქონდეს შეჭიდულობა: თავიდან აიცილოს ბზარების გაჩენის ნებისმიერი ტენდენცია;
- შეინარჩუნოს შიდა სტაბილურობა: ფილტრის მსხვილმარცვლოვანმა ფრაქციამ შეკავების კრიტერიუმი უნდა დააკმაყოფილოს თავის საკუთარ წვრილმარცვლოვან ფრაქციასთან მიმართებაში.

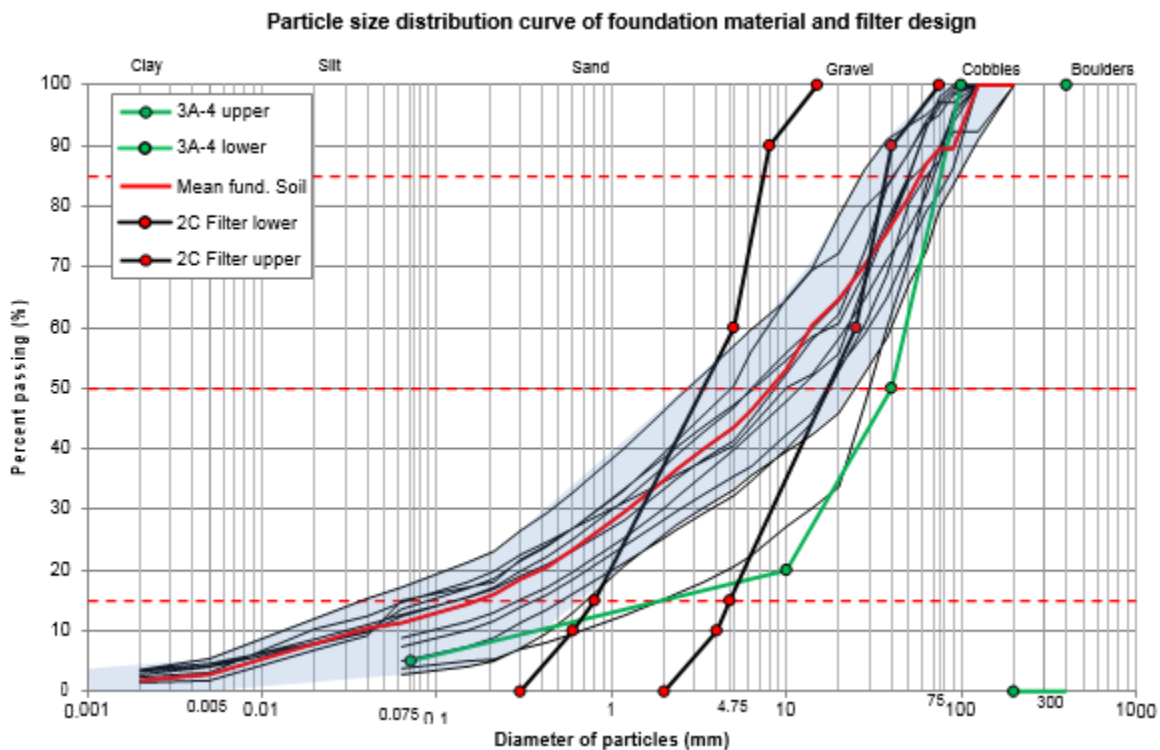
ფილტრაციის პროექტი განხორციელდა თხრილის ნიმუშების ნაწილაკების გრანულომეტრული შემადგენლობის (PSD) გათვალისწინებით; ტიპური მრუდი განიხილება როგორც საძირკვლის გრუნტის ნიმუში. საძირკვლის ყველა არსებულ გრანულომეტრულ შემადგენლობასა (PSD) და საშუალო მრუდს შორის შედარება ნაჩვენებია **25-ე ნახაზზე** (წითელი ხაზი და ლურჯად შეფერილი ზონა). სხვადასხვა ავტორების მიერ გამოთქმული შეხედულებით [10] [23], საძირკვლის მასალის გრანულომეტრული შემადგენლობა (PSD) დარეგულირდა ფილტრის ფართო ზოლის შეზღუდვის მიზნით 4.75 ბადიან ფილტრში გავლის ნორმალიზებით. ფილტრაციის პროექტის პროცედურული ეტაპების უმეტესობა ეფუძნება საძირკვლის განახლებულ გრანულომეტრულ შემადგენლობას (PSD), ფილტრის შიდა არასტაბილურობის გამორიცხვის მიზნით.

პროცედურა ითვალისწინებს 7 საკონტროლო წერტილის ფილტრის ზოლის საზღვრებად განსაზღვრას, თითოეული მათგანის გამოყენება შეიძლება კონკრეტული მოთხოვნის შესრულებისას. ფილტრის ზოლის მშენებლობის კრიტერიუმები დაკავშირებულია ზემოთ აღწერილ ფილტრაციასთან; თითოეული საკონტროლო წერტილის განსაზღვრა **ცხრილ 6.1-შია** შეჯამებული. **ნახაზ 6.2-ზე** ნაჩვენებია ფილტრის ზოლი.

ფილტრის კრიტერიუმები	განგარიშება გრანულომეტრული შემადგენლობის პარამეტრებზე	შედეგები
<p><b>შეკავება/ფილტრაცია</b></p> <p><math>D_{15,MAX}</math> (ზედა ზღვარი)</p>	<p>საბაზისო გრუნტის კატეგორია 3 ხელახალი შეფასების შემდეგ: n°200 ბადიან ფილტრზე უფრო წვრილმარცვლოვანი გრუნტის (0.075მმ) პროცენტული მაჩვენებელი მერყეობს 15-დან 39%-მდე</p> $D_{15,MAX} \leq \left[ \frac{40 - A}{40 - 15} \right] [4d_{85} - 0.7mm] + 0.7mm = 5.1 mm$ <p>სადაც <math>A = 28</math> მმ (n°200 ბადიანი ფილტრის გავლით)</p>	საკონტროლო წერტილი 1
<p><b>გამტარობა</b></p> <p><math>D_{15,MIN}</math> (ქვედა ზღვარი)</p>	$D_{15,MIN} > 4 \cdot d_{15} = 4 \cdot 0.2 = 0.8 mm$ <p><math>d_{15}</math> მიუთითებს თავდაპირველი გრანულომეტრული შემადგენლობის საბაზისო გრუნტზე</p>	საკონტროლო წერტილი 2
<p><b>რამდენიმე ფრაქციის გამოტოვებით ფილტრაციის თავიდან აცილება</b></p> <p>ფილტრის ზოლი <math>C_U</math></p> <p>ფილტრის ზოლის კოეფიციენტი <math>D_{10,MAX}</math> and <math>D_{60,MAX}</math></p>	<p>ფილტრის ლიმიტი <math>C_U</math> (ერთიანობის კოეფიციენტი) 6-ზე ნაკლები უნდა იყოს. ფილტრის ზოლის მაქსიმალურ და მინიმალურ სიდიდეებს შორის მაქსიმალური კოეფიციენტი უნდა იყოს 5-ზე ნაკლები.</p> $D_{10,MAX-TRIAL} = \frac{D_{15}}{1.2} = 4.1 mm \quad D_{60,MAX} = 6 \cdot D_{15} = 25 mm$	საკონტროლო წერტილი 3 და 4
<p><b>ნაწილაკის მაქსიმალური და მინიმალური ზომა</b></p> <p>ფილტრის ზოლის ზღვრები <math>D_{5,MIN}</math> and <math>D_{100,MAX}</math></p>	$D_{5,MIN} = 0.075 mm \quad D_{100,MAX} = 75 mm$	საკონტროლო წერტილი 5
<p><b>სეგრეგაცია</b></p> <p>კავშირი <math>D_{90,MAX}</math> and <math>D_{10,MIN}</math></p>	$D_{10,MIN-TRIAL} = D_{15,MIN}/1.2 mm$ $D_{90,MAX} = 25 \text{ if in the range } 0.5 \div 1.0 mm$	საკონტროლო წერტილი 6 და 7

**ცხრილი 6.1** ფილტრის ზოლის მშენებლობის კრიტერიუმები ეროვნული საინჟინრო სახელმძღვანელოში წარმოდგენილი მიდგომის მიხედვით [22]. დიდი ასოებით აღნიშნულია ფილტრის

მასალა, ხოლო პატარა ასოებით - საბაზისო მასალა. საკონტროლო წერტილები ნაჩვენებია „ა“ დანართში.



**ნახაზი 6.2** ფილტრის 2C ნაწილაკის გრანულომეტრიული შემადგენლობის ზოლები საბაზისო გრუნტთან და 3A ქვანაყართან შედარებით

## 6 დასკვნები და რეკომენდაციები

წინამდებარე ანგარიშში დეტალურად არის შესწავლილი ნენსკრას AFRD-ის გრძელვადიანი უსაფრთხოება გაჟონვისა და შიდა ეროზიის თვალსაზრისით. ეს კვლევა ჩატარდა 2D და 3D გაჟონვის მოდელირების შედეგების საფუძველზე, ჩამდინარე ნაკადის ჰიდროდინამიკური ბადისა და საძირკველში განვითარებული ჰიდრაულიკური გრადიენტების ყურადღებით გაანალიზებით. გრადიენტები და გაჟონვა შეფასდა კაშხლის უსაფრთხოების ასპექტებთან მიმართებაში. ყურადღება გამახვილდა ასევე ამ უკანასკნელის მნიშვნელობაზეც, ეკონომიკური თვალსაზრისით.

გაჟონვისა და სადრენაჟო სისტემასთან დაკავშირებული დასკვნები შემდეგნაირად შეჯამდა:

- შერჩეული საზღვრების პირობებში, მთლიანი მოსალოდნელი გაჟონვა ნენსკრას წყალსაცავის ნორმალური შეტბორვის დონეზე შეადგენს დაახლოებით 175 ლ/სთ.
- ნენსკრას კაშხლის საყრდენები არსებითად მშრალი რჩება. მიწისქვეშა წყლების ზრდის გამო საყრდენების სტაბილურობის პირობებში არსებითი ცვლილებები არ არის მოსალოდნელი.
- გაჟონვის სადრენაჟო სისტემა კონცეპტუალურად არის აღწერილი კონკრეტული ილუსტრაციების დახმარებით. წყალსაცავში აუზი წარმოადგენს კაშხლის ფუძეზე ყველაზე დაბალ დონეს და გაჟონილი წყლის უმეტესობა ამ ნაწილში შეიკრიბება.
- კაშხლის ქვემოთ განთავსებული ჰორიზონტალური სადრენაჟო ფენიდან წამოსული წყალი ჩაედინება კაშხლის ძირის სადრენაჟო არხში. ეკოლოგიური ნაკადის ინტეგრაციის სახით მდინარე ნენსკრაში ჩადინებამდე, სადრენაჟო არხი წყალს შეკრებს ჩამდინარე წყლების შესამოწმებელ სადგურზე, რომელიც მდებარეობს წყალგადასაშვები აუზის ქვემოთ.
- რაც შეეხება შიდა ეროზიისა და მილსადენების შეფასებას, თითოეული მექანიზმი (კონცენტრირებული გაჟონვა, უკუხევითი ეროზია, კონტაქტური ეროზია, გაჟღენთა) ღრმად არის შესწავლილი.

თითოეული მექანიზმთან დაკავშირებით შემდეგი დასკვნები გაკეთდა:

- კონცენტრირებული გაჟონვა: AFRD ნენსკრას კაშხალი არ ექვემდებარება ამ ტიპის რისკს, რადგან კაშხლის ტერიტორია მშრალი რჩება ჩვეულებრივი ექსპლუატაციის დროს.
- უკუხევითი ეროზია: ჰიდრაულიკური გრადიენტები კაშხლის ძირში ნულს უტოლდება; ამით კაშხლის საძირკველის ქვეშ უკუხევითი ეროზიის რისკი გამოირიცხება.
- კონტაქტური ეროზია: 3A სადრენაჟო მასალა პასუხობს შეკავების კრიტერიუმებს, რასაც ვერ ვიტყვით საძირკველის საბაზისო ნიადაგზე; ამიტომ, კონტაქტური ეროზიის რისკის თავიდან აცილება შესაძლებელია.
- გაჟღენთა: იმ შემთხვევაშიც კი, თუ გაჟონვის ანალიზს აჩვენებს დიაფრაგმის ბოლოში მაღალი გრადიენტების არსებობას და თუნდაც ზოგიერთი ნაწილაკის ადგილობრივი მიგრაცია ვერ გამოირიცხება მაღალი სიღრმეში, ეს არ ქმნის რაიმე სახის რისკს

კაშხლისთვის, რადგან მაღალი დატვირთვა ხელს უშლის საძირკველის ქცევაზე ნებისმიერი უარყოფითი გავლენის განვითარებას. მეორეს მხრივ, სანიაღვრე მასალის შეკავების მახასიათებლები ხელს შეუშლის საძირკველის ფუძეზე ნებისმიერი ზიანის მომტანი ეროზიის განვითარებას.

ნებისმიერი ეროზიის ფენომენისგან დამატებითი დაცვის უზრუნველსაყოფად, ფილტრის ფენა განთავსდება 80 მ მანძილზე კაშხლის ზედა ნაწილთან ახლოს, საძირკველის გრუნტსა და დრენაჟს შორის.

მინუსიო, 2016 წლის დეკემბერი

Ing. M. Agosti, Ing. G. Coret, Ing. C.

Cremer Ing. A. Balestra, Dr. Ing. R. Bremen

## 7 გამოყენებული ლიტერატურა

### 7.1 საპროექტო დოკუმენტები

- [1] Fichtner Ltd. Nenskra HPP. Contract Documents, Part A Employer's Requirements.
- [2] Fichtner Ltd. Nenskra HPP. Contract Documents, Part B1.1 Design Criteria for Civil Works.
- [3] Lombardi Engineering Ltd. Nenskra HPP. AFRD 3D numerical model L-6768-B-CW-DA-NM- CR-004, September 2016.
- [4] Lombardi Engineering Ltd. Nenskra HPP. AFRD 2D final numerical modelling L-6768-B-CW- DA-NM-CR-005, September 2016.
- [5] Lombardi Engineering Ltd. Nenskra HPP. Seepage sensitivity analysis L-6768-B-CW-DA-CT- TR-003, October 2016.
- [6] Lombardi Engineering Ltd. Nenskra HPP. Interpretation Geological Report – Dam area L-6768- B-GL-DA-GE-TR-004, December 2016.
- [7] Lombardi Engineering Ltd. Nenskra HPP. Nenskra FRD Safety against seepage and internal erosion – Seepage drainage system L-6768-B-CW-DA-FO-TR-002, December 2016.
- [8] Itasca Consulting Group, Inc. (2012) *FLAC3D — Fast Lagrangian Analysis of Continua in Three-Dimensions, Ver. 5.0*. Minneapolis: Itasca.
- [9] Itasca Consulting Group, Inc. (2016) *FLAC — Fast Lagrangian Analysis of Continua, Ver. 8.0*. Minneapolis: Itasca.

დანართი ა  
გაქონვის მგრძობელობის ანალიზი -  
ცხრილები და ნახაზები

Cut-off depth [m] toe elev. [m asl]	Position	Alluvial depth [m]	Cut-off/Grout depth [m]	Area [m <sup>2</sup> ]	Medium width [m]	q [l/sm]	Q [l/s]	Q <sub>TOTAL</sub> [l/s]
<b>BASIC DESIGN (k=8E-05 m/s)</b>								
50 / 1260	S1	140	50	59'000	421	2.10	890	<b>910</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
60 / 1250	S1	140	60	57'200	409	1.66	680	<b>700</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
70 / 1240	S1	140	70	56'400	403	1.25	500	<b>520</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
75 / 1235	S1	140	75	55'300	395	0.64	250	<b>270</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
80 / 1230	S1	140	80	54'200	387	0.28	110	<b>130</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
85 / 1225	S1	140	85	52'700	376	0.23	90	<b>110</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
<b>ALLUVIAL PERMEABILITY (k=1E-05 m/s)</b>								
50 / 1260	S1	140	50	59'000	421	0.97	410	<b>430</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
60 / 1250	S1	140	60	57'200	409	0.89	360	<b>380</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
70 / 1240	S1	140	70	56'400	403	0.76	300	<b>320</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
75 / 1235	S1	140	75	55'300	395	0.48	190	<b>210</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
80 / 1230	S1	140	80	54'200	387	0.25	100	<b>120</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
85 / 1225	S1	140	85	52'700	376	0.21	80	<b>100</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
<b>ALLUVIAL PERMEABILITY (k=6E-05 m/s)</b>								
50 / 1260	S1	140	50	59'000	421	1.89	800	<b>820</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
60 / 1250	S1	140	60	57'200	409	1.57	640	<b>660</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
70 / 1240	S1	140	70	56'400	403	1.19	480	<b>500</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
75 / 1235	S1	140	75	55'300	395	0.62	240	<b>260</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
80 / 1230	S1	140	80	54'200	387	0.29	110	<b>130</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
85 / 1225	S1	140	85	52'700	376	0.23	90	<b>110</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	

Table 1: Sensitivity analysis detailed results – Effects of **Recent alluvial-Alluvial** permeability on seepage

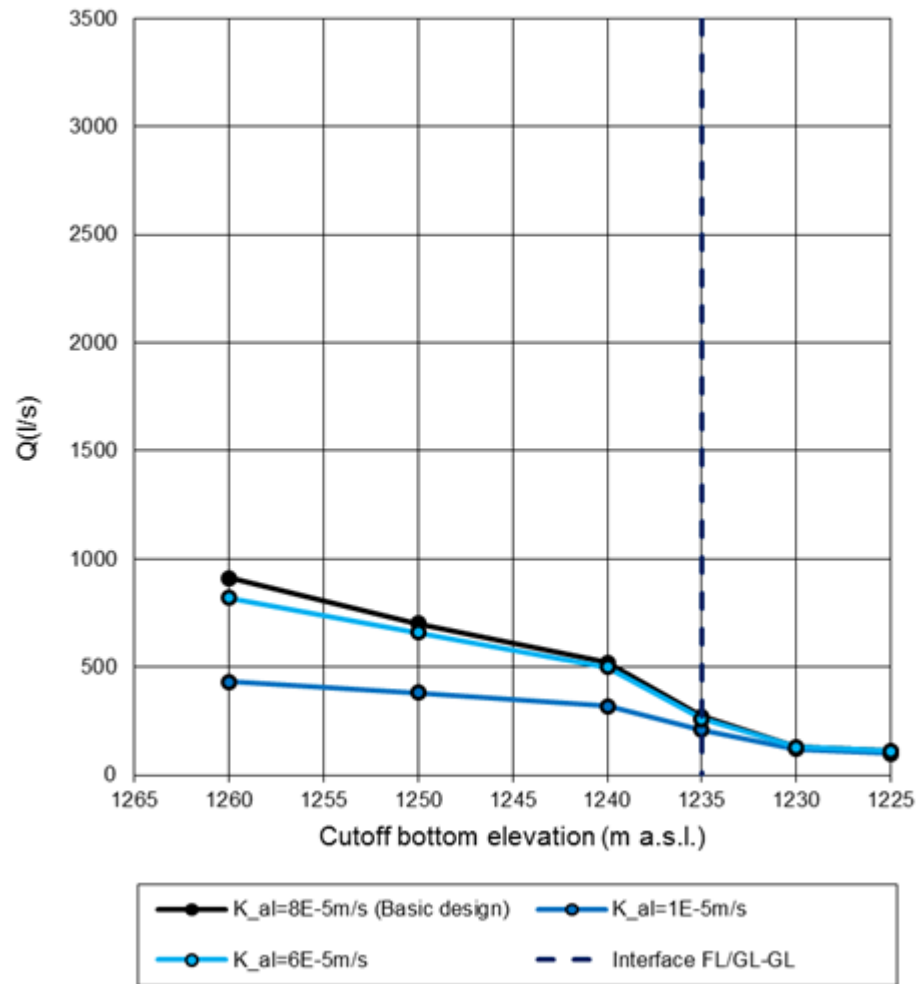


Figure 1: Sensitivity analysis - Influence of Recent alluvial/alluvial permeability on estimated seepage



Cut-off depth [m] toe elev. [m asl]	Position	Alluvial depth [m]	Cut-off/Grout depth [m]	Area [m <sup>2</sup> ]	Medium width [m]	q [l/sm]	Q [l/s]	Q <sub>TOTAL</sub> [l/s]
<b>BASIC DESIGN (k=1E-04 m/s)</b>								
50 / 1260	S1	140	50	59'000	421	2.10	890	<b>910</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
60 / 1250	S1	140	60	57'200	409	1.66	680	<b>700</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
70 / 1240	S1	140	70	56'400	403	1.25	500	<b>520</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
75 / 1235	S1	140	75	55'300	395	0.64	250	<b>270</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
80 / 1230	S1	140	80	54'200	387	0.28	110	<b>130</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
85 / 1225	S1	140	85	52'700	376	0.23	90	<b>110</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
<b>FLUVIO-GLACIAL PERMEABILITY (4E-04 m/s)</b>								
50 / 1260	S1	140	50	59'000	421	5.05	2130	<b>2'150</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
60 / 1250	S1	140	60	57'200	409	4.45	1820	<b>1'840</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
70 / 1240	S1	140	70	56'400	403	3.55	1430	<b>1'450</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
75 / 1235	S1	140	75	55'300	395	1.00	400	<b>420</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
80 / 1230	S1	140	80	54'200	387	0.40	150	<b>170</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
85 / 1225	S1	140	85	52'700	376	0.24	90	<b>110</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
<b>FLUVIO-GLACIAL PERMEABILITY (8E-04 m/s)</b>								
50 / 1260	S1	140	50	59'000	421	7.50	3160	<b>3'180</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
60 / 1250	S1	140	60	57'200	409	6.80	2780	<b>2'800</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
70 / 1240	S1	140	70	56'400	403	5.70	2300	<b>2'320</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
75 / 1235	S1	140	75	55'300	395	1.10	430	<b>450</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
80 / 1230	S1	140	80	54'200	387	0.50	190	<b>210</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
85 / 1225	S1	140	85	52'700	376	0.25	90	<b>110</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
<b>FLUVIO-GLACIAL PERMEABILITY (6E-05 m/s)</b>								

50 / 1260	S1	140	50	59'000	421	1.42	600	<b>620</b>
-----------	----	-----	----	--------	-----	------	-----	------------

Table 2: Sensitivity analysis detailed results – Effects of **Fluvio/Glacial** permeability on seepage

Influence of fluvio-glacial permeability on estimated seepage

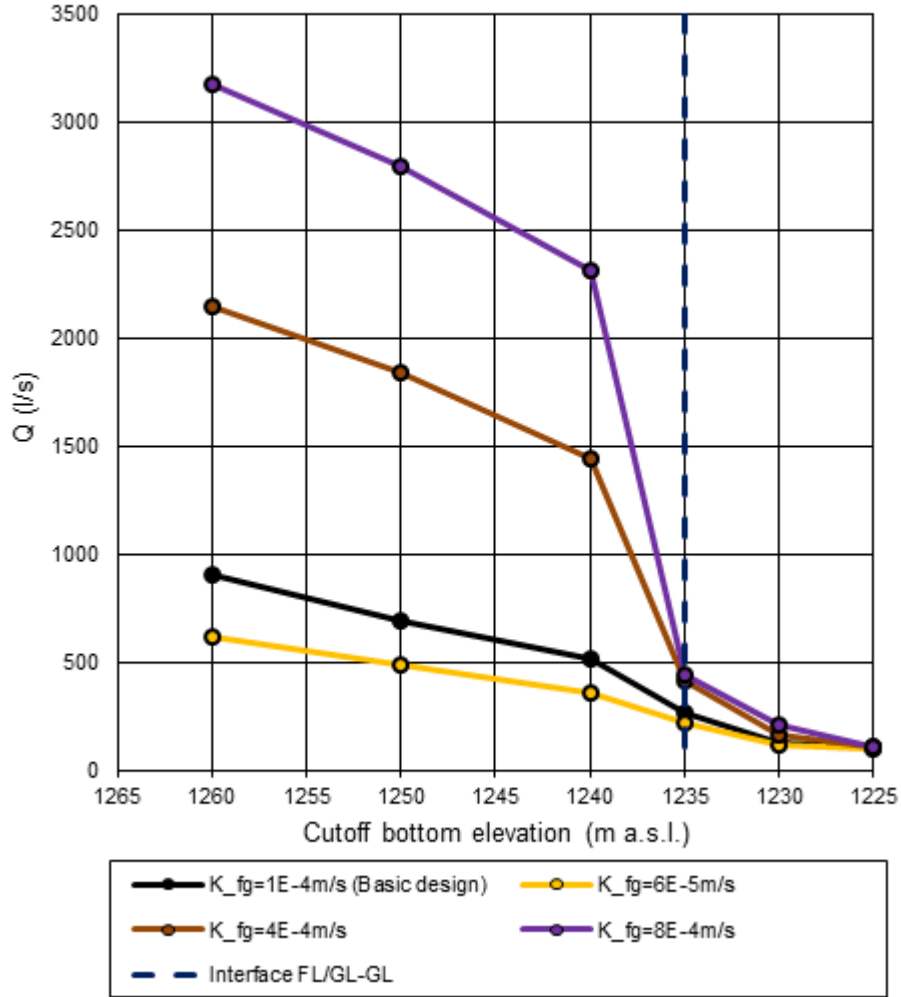


Figure 2: Sensitivity analysis - Influence of Fluvio-glacial permeability on estimated seepage

Cut-off depth [m] toe elev. [m asl]	Position	Alluvial depth [m]	Cut-off/Grout depth [m]	Area [m <sup>2</sup> ]	Medium width [m]	q [l/sm]	Q [l/s]	Q <sub>TOTAL</sub> [l/s]
BASIC DESIGN (k=5E-06 m/s)								
50 / 1260	S1	140	50	59'000	421	2.10	890	<b>910</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
60 / 1250	S1	140	60	57'200	409	1.66	680	<b>700</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
70 / 1240	S1	140	70	56'400	403	1.25	500	<b>520</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	

75 / 1235	S1	140	75	55'300	395	0.64	250	<b>270</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
80 / 1230	S1	140	80	54'200	387	0.28	110	<b>130</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
85 / 1225	S1	140	85	52'700	376	0.23	90	<b>110</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
GLACIAL PERMEABILITY (k=1E-05 m/s)								
50 / 1260	S1	140	50	59'000	421	2.12	890	<b>910</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
60 / 1250	S1	140	60	57'200	409	1.75	720	<b>740</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
70 / 1240	S1	140	70	56'400	403	1.34	540	<b>560</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
75 / 1235	S1	140	75	55'300	395	0.88	350	<b>370</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
80 / 1230	S1	140	80	54'200	387	0.51	200	<b>220</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
85 / 1225	S1	140	85	52'700	376	0.43	160	<b>180</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
GLACIAL PERMEABILITY (k=2E-06 m/s)								
50 / 1260	S1	140	50	59'000	421	2.01	850	<b>870</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
60 / 1250	S1	140	60	57'200	409	1.63	670	<b>690</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
70 / 1240	S1	140	70	56'400	403	1.19	480	<b>500</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
75 / 1235	S1	140	75	55'300	395	0.37	150	<b>170</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
80 / 1230	S1	140	80	54'200	387	0.14	50	<b>70</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
85 / 1225	S1	140	85	52'700	376	0.11	40	<b>60</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	

Table 3: Sensitivity analysis detailed results – Effects on **Glacial** permeability on seepage

### Influence of glacial permeability on estimated seepage

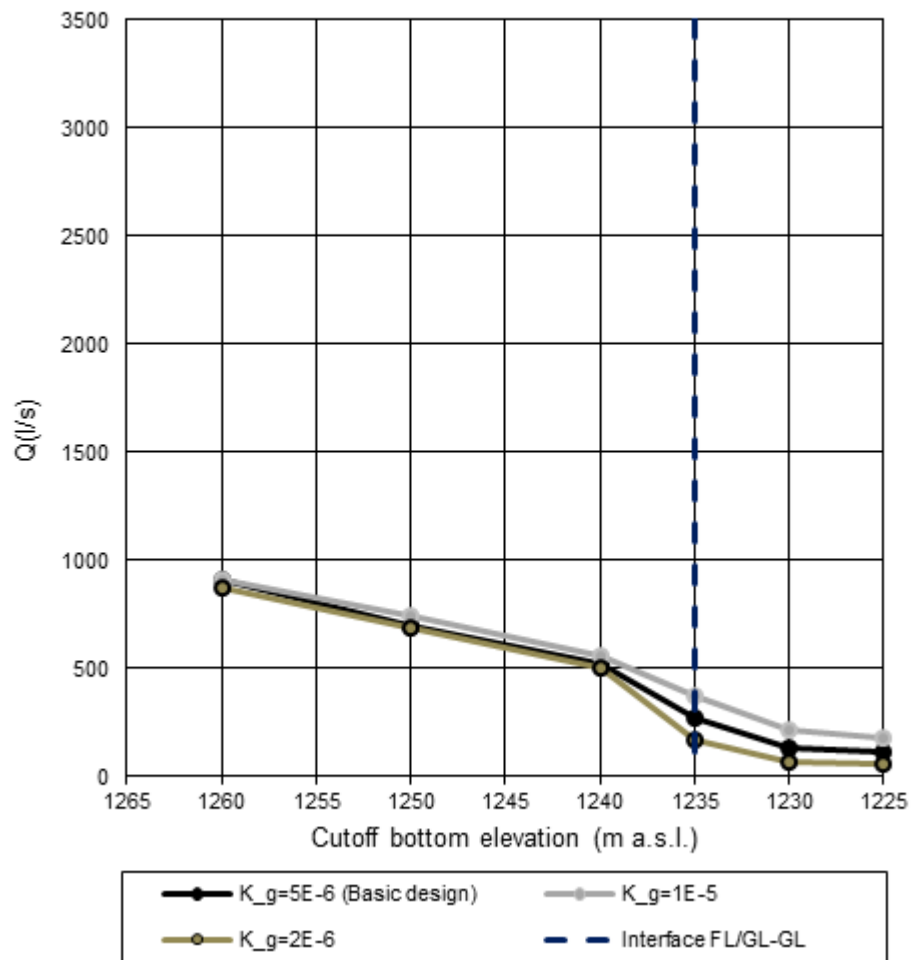


Figure 3: Sensitivity analysis - Influence of Glacial permeability on estimated seepage.

Cut-off depth [m] toe elev. [m asl]	Position	Alluvial depth [m]	Cut-off/Grout depth [m]	Area [m <sup>2</sup> ]	Medium width [m]	q [l/sm]	Q [l/s]	Q <sub>TOTAL</sub> [l/s]
<b>BASIC DESIGN (INTERFACE AT 1235 m asl)</b>								
50 / 1260	S1	140	50	59'000	421	2.10	890	<b>910</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
60 / 1250	S1	140	60	57'200	409	1.66	680	<b>700</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
70 / 1240	S1	140	70	56'400	403	1.25	500	<b>520</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
75 / 1235	S1	140	75	55'300	395	0.64	250	<b>270</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
80 / 1230	S1	140	80	54'200	387	0.28	110	<b>130</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	

85 / 1225	S1	140	85	52'700	376	0.23	90	<b>110</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
<b>FLUVIO-GLACIAL / GLACIAL INTERFACE AT 1225 m asl</b>								
50 / 1260	S1	140	50	59'000	421	2.28	960	<b>980</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
60 / 1250	S1	140	60	57'200	409	1.94	790	<b>810</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
70 / 1240	S1	140	70	56'400	403	1.60	640	<b>660</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
75 / 1235	S1	140	75	55'300	395	1.42	560	<b>580</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
80 / 1230	S1	140	80	54'200	387	1.20	460	<b>480</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
85 / 1225	S1	140	85	52'700	376	0.62	230	<b>250</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
<b>FLUVIO-GLACIAL / GLACIAL INTERFACE AT 1245 m asl</b>								
50 / 1260	S1	140	50	59'000	421	1.77	750	<b>770</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
60 / 1250	S1	140	60	57'200	409	1.30	530	<b>550</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
70 / 1240	S1	140	70	56'400	403	0.30	120	<b>140</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
75 / 1235	S1	140	75	55'300	395	0.25	100	<b>120</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
80 / 1230	S1	140	80	54'200	387	0.20	80	<b>100</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
85 / 1225	S1	140	85	52'700	376	0.20	70	<b>90</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	

Table 4: Sensitivity analysis detailed results – Effects of **Fluvio/Glacial-Glacial** interface variation on seepage.

Influence of fluvio-glacial/glacial interface on  
estimated seepage

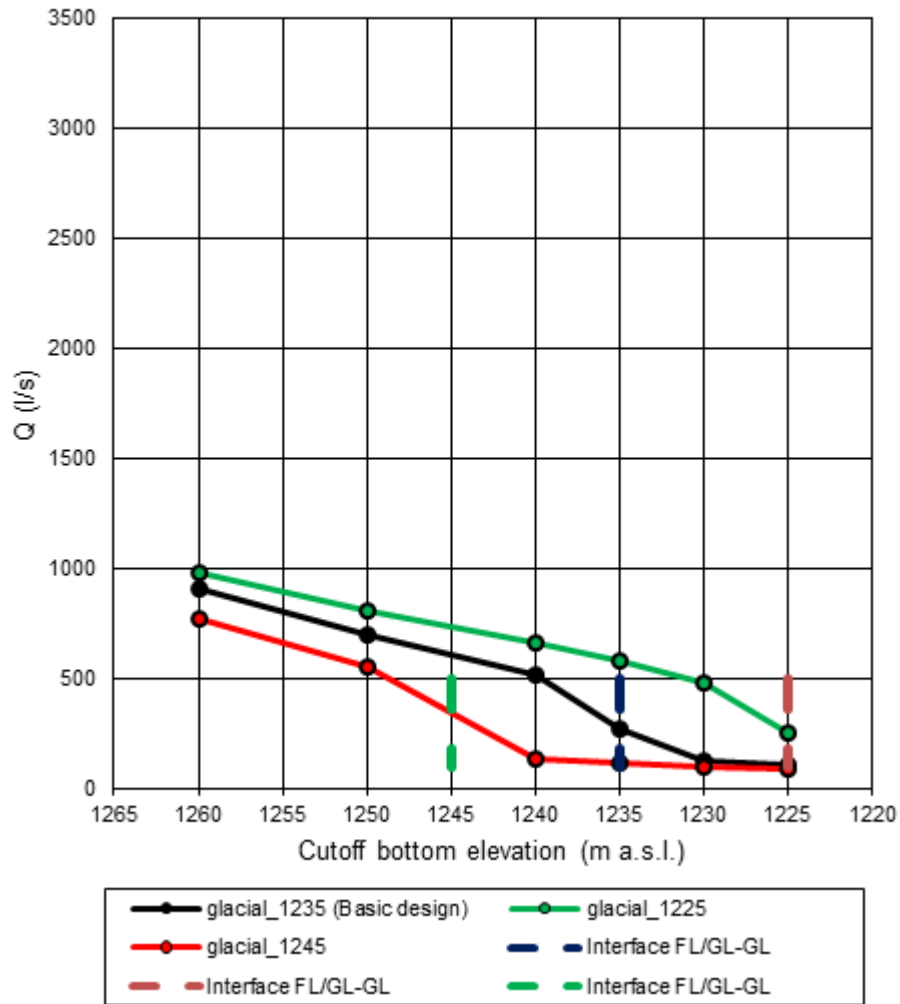


Figure 4: Sensitivity analysis - Influence of Fluvio/glacial-glacial interface elevation on estimated seepage. The dotted blue line refers to Basic design interface assumption

Cut-off depth [m] toe elev. [m asl]	Position	Alluvial depth [m]	Cut-off/Grout depth [m]	Area [m <sup>2</sup> ]	Medium width [m]	q [l/sm]	Q [l/s]	Q <sub>TOTAL</sub> [l/s]
BASIC DESIGN (kh/kv = 5)								
50 / 1260	S1	140	50	59'000	421	2.10	890	<b>910</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
60 / 1250	S1	140	60	57'200	409	1.66	680	<b>700</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
70 / 1240	S1	140	70	56'400	403	1.25	500	<b>520</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
75 / 1235	S1	140	75	55'300	395	0.64	250	<b>270</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
	S1	140	80	54'200	387	0.28	110	

80 / 1230	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	<b>130</b>
85 / 1225	S1	140	85	52'700	376	0.23	90	<b>110</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
HORIZONTAL TO VERTICAL PERMEABILITY RATIO $k_h/k_v = 2$								
50 / 1260	S1	140	50	59'000	421	3.23	1360	<b>1'380</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
60 / 1250	S1	140	60	57'200	409	2.64	1080	<b>1'100</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
70 / 1240	S1	140	70	56'400	403	1.95	790	<b>810</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
75 / 1235	S1	140	75	55'300	395	0.89	350	<b>370</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
80 / 1230	S1	140	80	54'200	387	0.45	170	<b>190</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
85 / 1225	S1	140	85	52'700	376	0.37	140	<b>160</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
HORIZONTAL TO VERTICAL PERMEABILITY RATIO $k_h/k_v = 10$								
50 / 1260	S1	140	50	59'000	421	1.44	610	<b>630</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
60 / 1250	S1	140	60	57'200	409	1.18	480	<b>500</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
70 / 1240	S1	140	70	56'400	403	0.88	350	<b>370</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
75 / 1235	S1	140	75	55'300	395	0.49	190	<b>210</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
80 / 1230	S1	140	80	54'200	387	0.21	80	<b>100</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	
85 / 1225	S1	140	85	52'700	376	0.17	60	<b>80</b>
	S2	40	40	3'500	88	0.25	20	

Table 5: Sensitivity analysis detailed results – Effects of  $k_h/k_v$  ratio on seepage

Influence of kh/kv ratio on estimated seepage

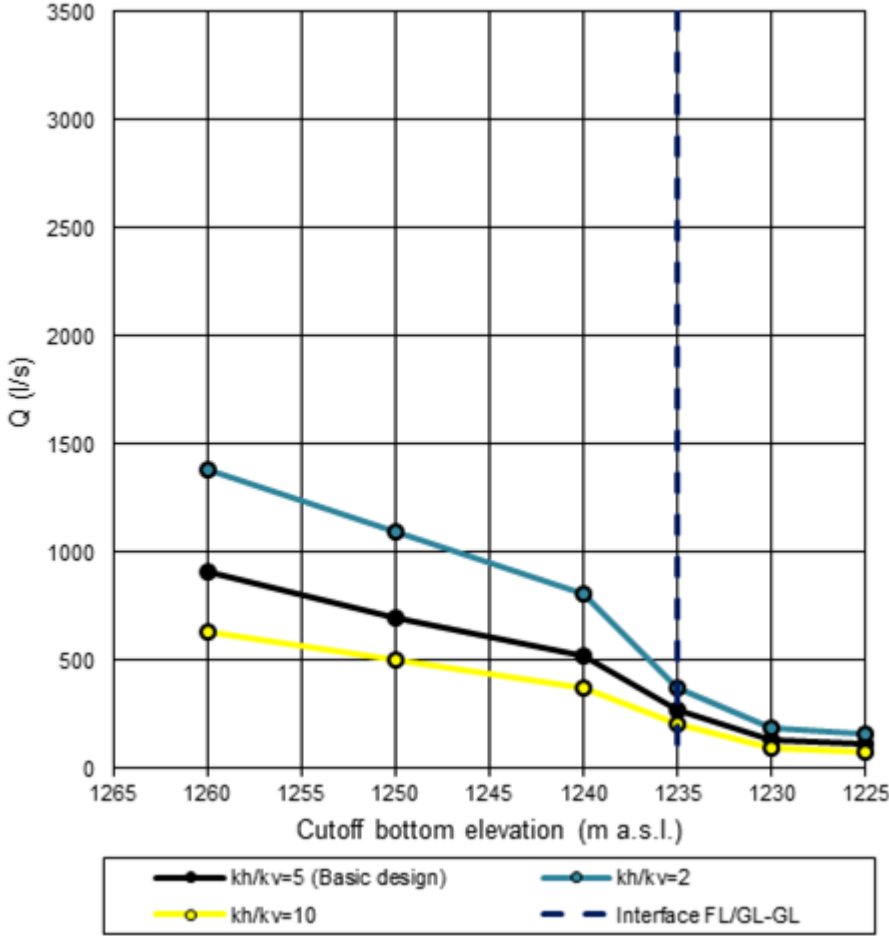


Figure 5: Sensitivity analysis - Influence of  $k_h/k_v$  ratio on estimated seepage



დანართი “ბ1“

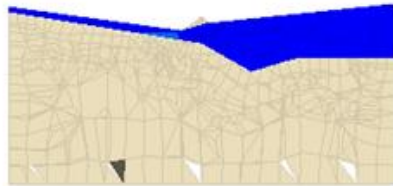
გაჟონვის ანალიზის შედეგები - ჩამკეტი  
კედლის ძირი ზღვის დონიდან 1250 მ

**B1 - Cut-off wall toe at 1250 m asl - 1**

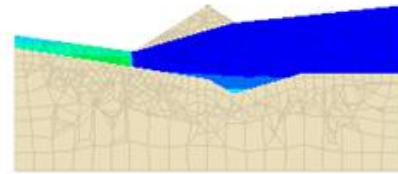
**Pore pressure [kPa]**

- 2.5000E+03
- 2.2500E+03
- 2.0000E+03
- 1.7500E+03
- 1.5000E+03
- 1.2500E+03
- 1.0000E+03
- 7.5000E+02
- 5.0000E+02
- 2.5000E+02
- 0.0000E+00

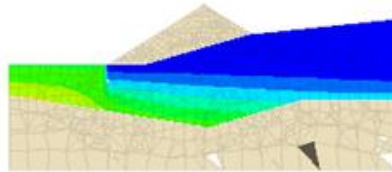
**x = -400m**



**x = -300m**



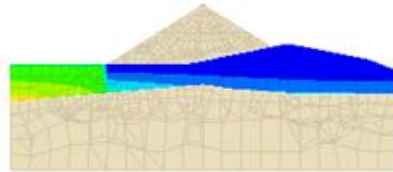
**x = -200m**



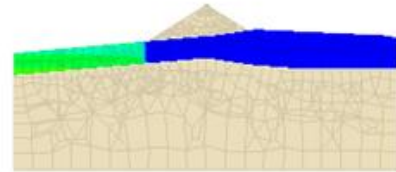
**Pore pressure [kPa]**

- 2.5000E+03
- 2.2500E+03
- 2.0000E+03
- 1.7500E+03
- 1.5000E+03
- 1.2500E+03
- 1.0000E+03
- 7.5000E+02
- 5.0000E+02
- 2.5000E+02
- 0.0000E+00

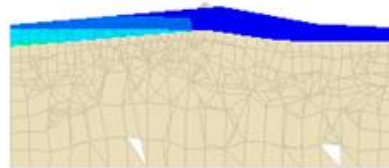
**x = 200m**



**x = 300m**



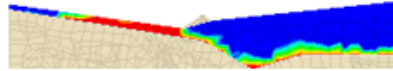
**x = 400m**



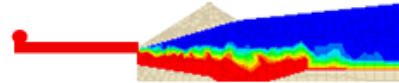
**Saturation[-]**

- 1.0000E+00
- 9.0000E-01
- 8.0000E-01
- 7.0000E-01
- 6.0000E-01
- 5.0000E-01
- 4.0000E-01
- 3.0000E-01
- 2.0000E-01
- 1.0000E-01
- 0.0000E+00

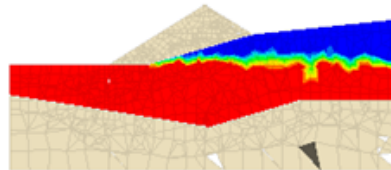
**x = -400m**



**x = -300m**



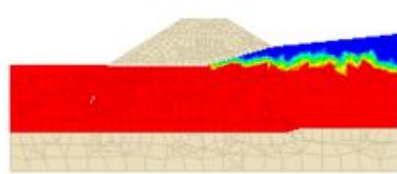
**x = -200m**



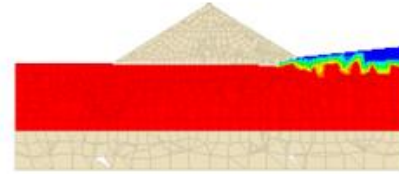
**Saturation[-]**

- 1.0000E+00
- 9.0000E-01
- 8.0000E-01
- 7.0000E-01
- 6.0000E-01
- 5.0000E-01
- 4.0000E-01
- 3.0000E-01
- 2.0000E-01
- 1.0000E-01
- 0.0000E+00

**x = -100 m**



**x = 0m**



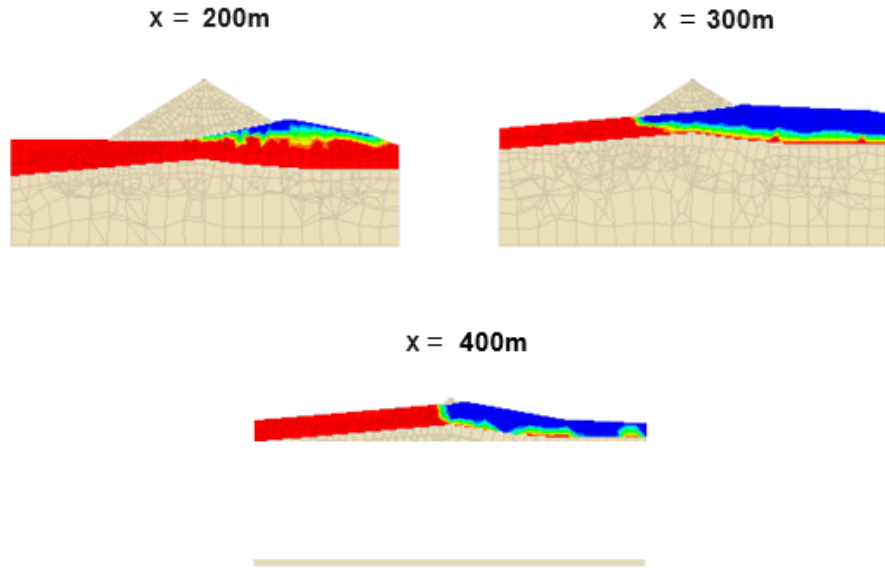
**x = 10 0m**



**B1 - Cut-off wall toe at 1250 m asl - 6**

**Saturation[-]**

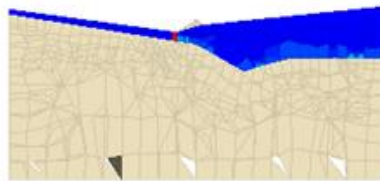
- 1.0000E+00
- 9.0000E-01
- 8.0000E-01
- 7.0000E-01
- 6.0000E-01
- 5.0000E-01
- 4.0000E-01
- 3.0000E-01
- 2.0000E-01
- 1.0000E-01
- 0.0000E+00



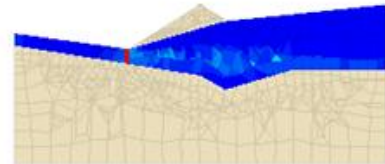
**Gradient (-)**

- 3.0000E+00
- 2.8000E+00
- 2.6000E+00
- 2.4000E+00
- 2.2000E+00
- 2.0000E+00
- 1.8000E+00
- 1.6000E+00
- 1.4000E+00
- 1.2000E+00
- 1.0000E+00
- 8.0000E-01
- 6.0000E-01
- 4.0000E-01
- 2.0000E-01
- 0.0000E+00

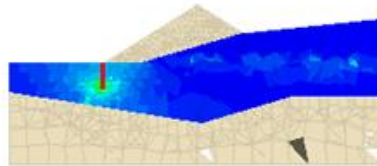
**x = -400 m**



**x = -300 m**



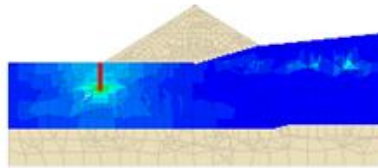
**x = -200 m**



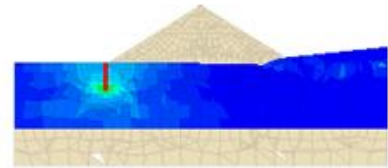
**Gradient [-]**

- 3.0000E+00
- 2.8000E+00
- 2.6000E+00
- 2.4000E+00
- 2.2000E+00
- 2.0000E+00
- 1.8000E+00
- 1.6000E+00
- 1.4000E+00
- 1.2000E+00
- 1.0000E+00
- 8.0000E-01
- 6.0000E-01
- 4.0000E-01
- 2.0000E-01
- 0.0000E+00

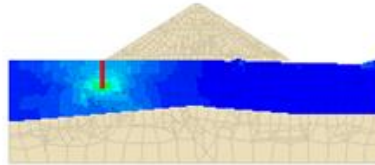
**x = -100 m**



**x = 0m**



**x = 100m**



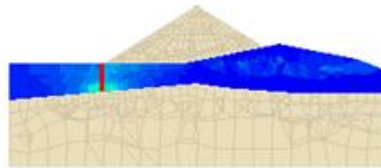


**B1 - Cut-off wall toe at 1250 m asl - 9**

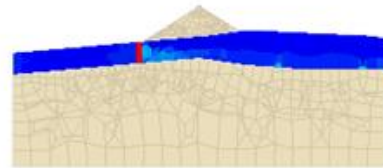
**Gradient [-]**

- 3.0000E+00
- 2.8000E+00
- 2.6000E+00
- 2.4000E+00
- 2.2000E+00
- 2.0000E+00
- 1.8000E+00
- 1.6000E+00
- 1.4000E+00
- 1.2000E+00
- 1.0000E+00
- 8.0000E-01
- 6.0000E-01
- 4.0000E-01
- 2.0000E-01
- 0.0000E+00

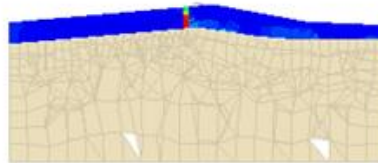
**x = 200m**



**x = 300m**



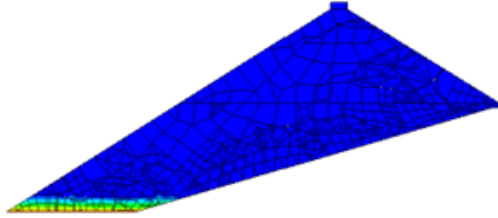
**x = 400m**



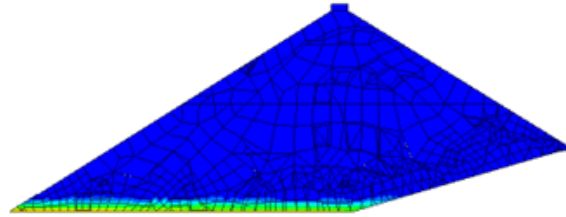
**Pore Pressure [kPa]**

- 1.0000E+02
- 9.0000E+01
- 8.0000E+01
- 7.0000E+01
- 6.0000E+01
- 5.0000E+01
- 4.0000E+01
- 3.0000E+01
- 2.0000E+01
- 1.0000E+01
- 0.0000E+00

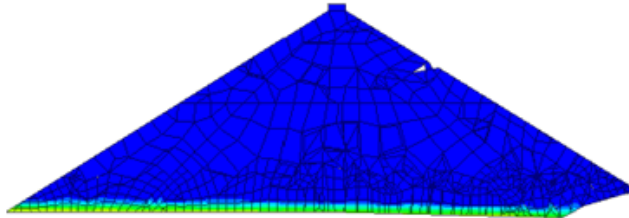
**x = - 200 m**



**x = - 100m**



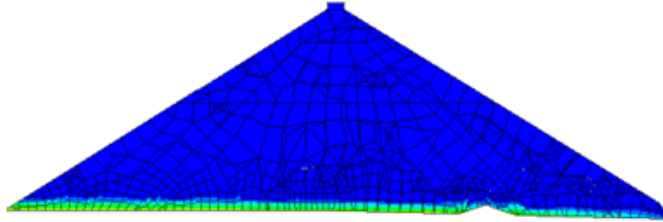
**x = 0m**



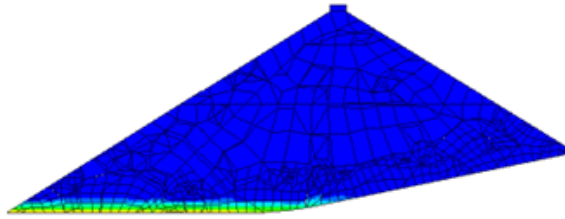
**Pore Pressure [kPa)**

- 1.0000E+02
- 9.0000E+01
- 8.0000E+01
- 7.0000E+01
- 6.0000E+01
- 5.0000E+01
- 4.0000E+01
- 3.0000E+01
- 2.0000E+01
- 1.0000E+01
- 0.0000E+00

**x = 10 0m**



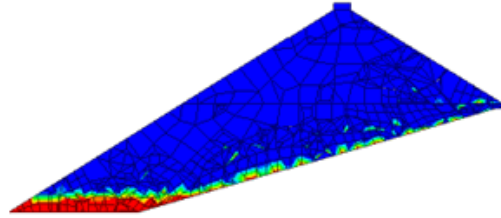
**x = 20 0m**



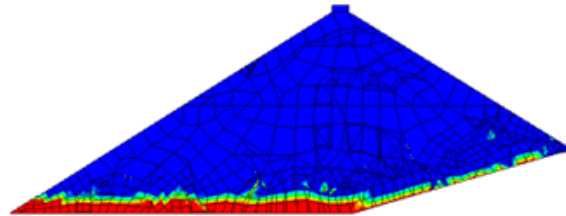
**Saturation[-]**

- 1.0000E+00
- 9.0000E-01
- 8.0000E-01
- 7.0000E-01
- 6.0000E-01
- 5.0000E-01
- 4.0000E-01
- 3.0000E-01
- 2.0000E-01
- 1.0000E-01
- 0.0000E+00

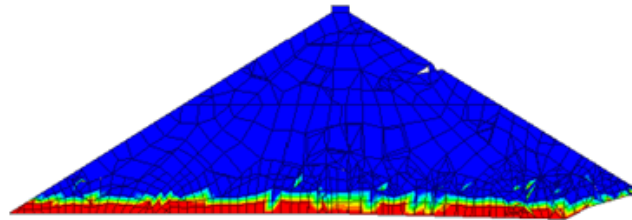
**x = - 200 m**



**x = - 100m**



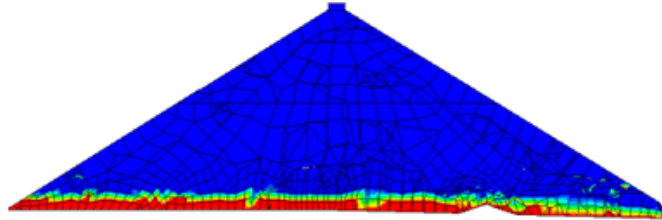
**x = 0m**



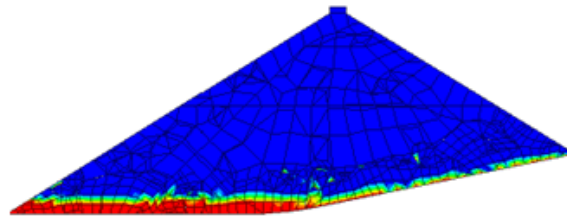
**Saturation[-]**

- 1.0000E+00
- 9.0000E-01
- 8.0000E-01
- 7.0000E-01
- 6.0000E-01
- 5.0000E-01
- 4.0000E-01
- 3.0000E-01
- 2.0000E-01
- 1.0000E-01
- 0.0000E+00

**x = 10 0m**



**x = 20 0m**



დანართი „ბ2“

გაჟონვის ანალიზის შედეგები - ჩამკეტი  
კედლის ძირი ზღვის დონიდან 1235 მ

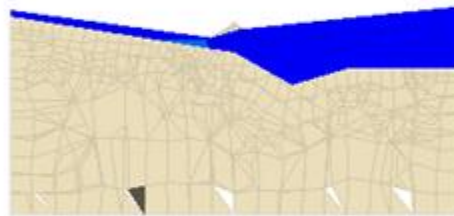
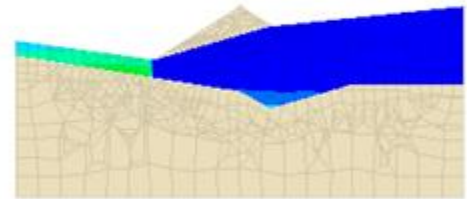
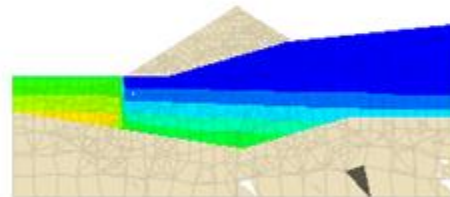
**FLAC3D 5.01**

©2016 Itasca Consulting Group, Inc.

6768.0 Nenskra HPP\_Pore pressure in alluvial foundation

**B2 - Cut-off wall toe at 1235 m asl - 1****Pore pressure [kPa)**

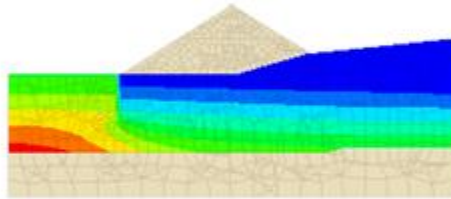
2.5000E+03  
2.2500E+03  
2.0000E+03  
1.7500E+03  
1.5000E+03  
1.2500E+03  
1.0000E+03  
7.5000E+02  
5.0000E+02  
2.5000E+02  
0.0000E+00

**x = -400m****x = -300m****x = -200m**

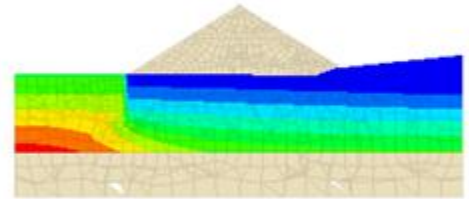
**Pore pressure [kPa]**

- 2.5000E+03
- 2.2500E+03
- 2.0000E+03
- 1.7500E+03
- 1.5000E+03
- 1.2500E+03
- 1.0000E+03
- 7.5000E+02
- 5.0000E+02
- 2.5000E+02
- 0.0000E+00

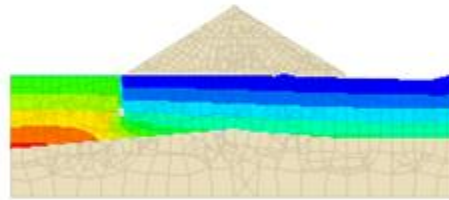
**x = -100m**



**x = 0m**



**x = 100 m**

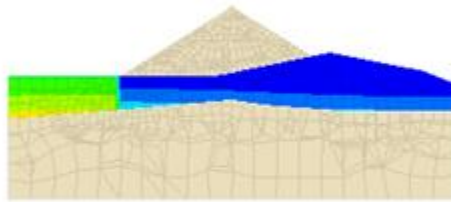




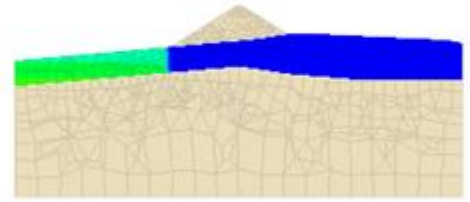
**Pore pressure [kPa)**

- 2.5000E+03
- 2.2500E+03
- 2.0000E+03
- 1.7500E+03
- 1.5000E+03
- 1.2500E+03
- 1.0000E+03
- 7.5000E+02
- 5.0000E+02
- 2.5000E+02
- 0.0000E+00

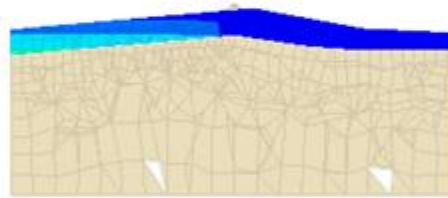
**x = 200m**



**x = 300m**



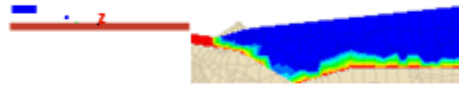
**x = 400m**



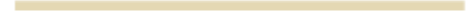
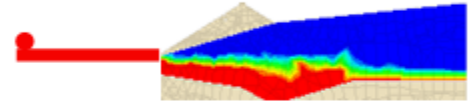
**Saturation[-]**

- 1.0000E+00
- 9.0000E-01
- 8.0000E-01
- 7.0000E-01
- 6.0000E-01
- 5.0000E-01
- 4.0000E-01
- 3.0000E-01
- 2.0000E-01
- 1.0000E-01
- 0.0000E+00

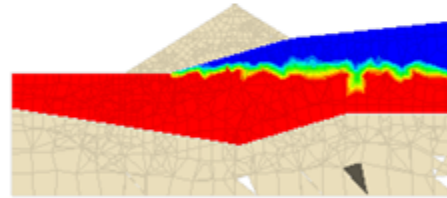
x = -400m



x = -300m



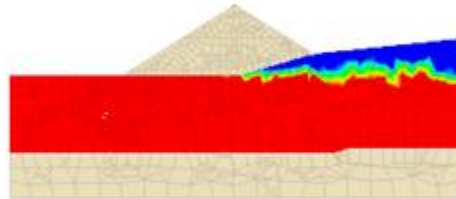
x = -200m



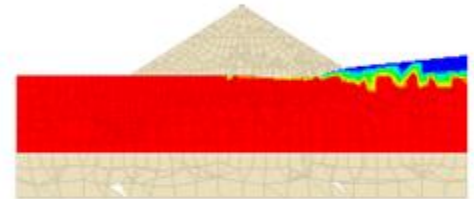
**Saturation[-]**

- 1.0000E+00
- 9.0000E-01
- 8.0000E-01
- 7.0000E-01
- 6.0000E-01
- 5.0000E-01
- 4.0000E-01
- 3.0000E-01
- 2.0000E-01
- 1.0000E-01
- 0.0000E+00

**x = -100m**



**x = 0m**



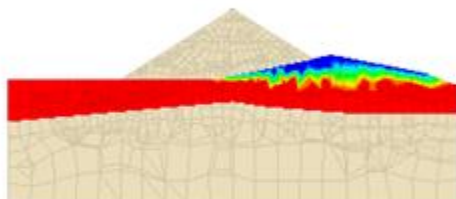
**x = 100m**



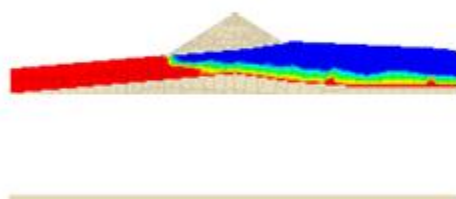
**Saturation[-]**

- 1.0000E+00
- 9.0000E-01
- 8.0000E-01
- 7.0000E-01
- 6.0000E-01
- 5.0000E-01
- 4.0000E-01
- 3.0000E-01
- 2.0000E-01
- 1.0000E-01
- 0.0000E+00

x = 200m



x = 300m



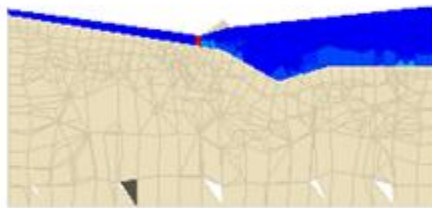
x = 400m



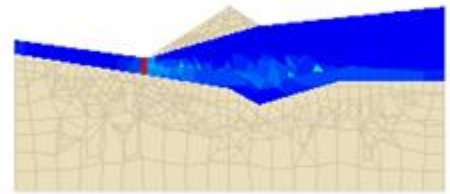
**Gradient[-]**

- 3.0000E+00
- 2.8000E+00
- 2.6000E+00
- 2.4000E+00
- 2.2000E+00
- 2.0000E+00
- 1.8000E+00
- 1.6000E+00
- 1.4000E+00
- 1.2000E+00
- 1.0000E+00
- 8.0000E-01
- 6.0000E-01
- 4.0000E-01
- 2.0000E-01
- 0.0000E+00

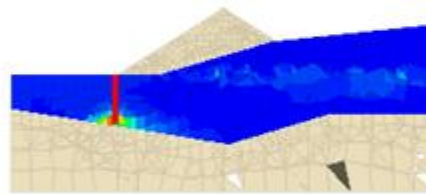
**x = -400m**



**x = -300m**



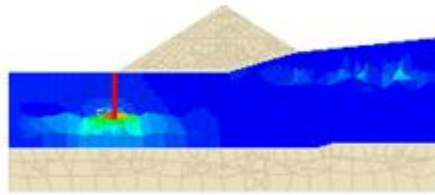
**x = -200m**



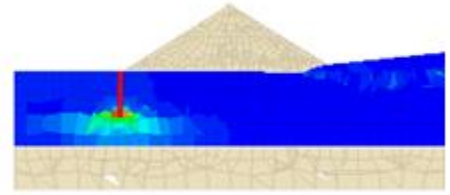
**Gradient[-]**

- 3.0000E+00
- 2.8000E+00
- 2.6000E+00
- 2.4000E+00
- 2.2000E+00
- 2.0000E+00
- 1.8000E+00
- 1.6000E+00
- 1.4000E+00
- 1.2000E+00
- 1.0000E+00
- 8.0000E-01
- 6.0000E-01
- 4.0000E-01
- 2.0000E-01
- 0.0000E+00

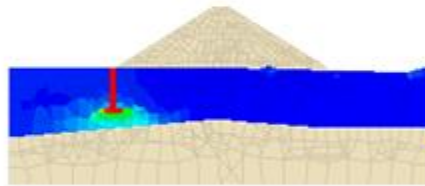
**x = -100m**



**x = 0m**



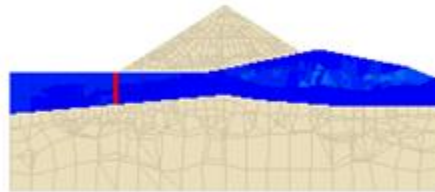
**x = 100m**



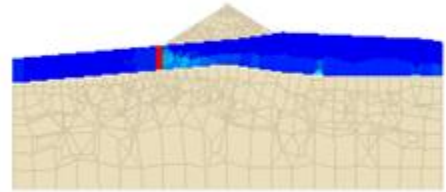
**Gradient[-]**

- 3.0000E+00
- 2.8000E+00
- 2.6000E+00
- 2.4000E+00
- 2.2000E+00
- 2.0000E+00
- 1.8000E+00
- 1.6000E+00
- 1.4000E+00
- 1.2000E+00
- 1.0000E+00
- 8.0000E-01
- 6.0000E-01
- 4.0000E-01
- 2.0000E-01
- 0.0000E+00

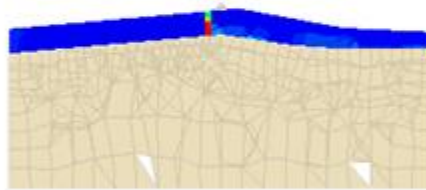
**x = 200m**



**x = 300m**



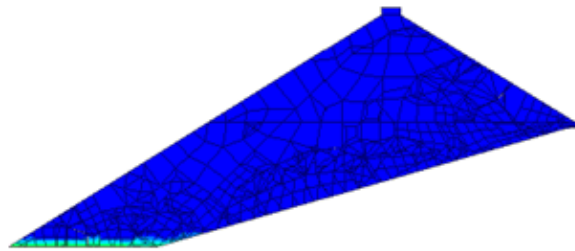
**x = 400m**



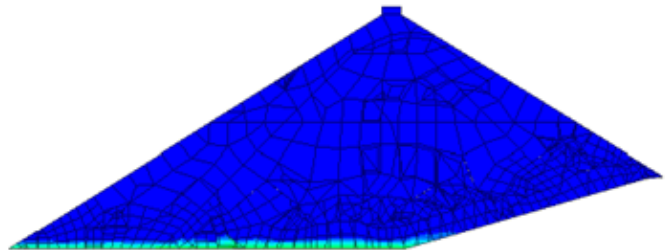
**Pore Pressure [kPa]**

- 1.0000E+02
- 9.0000E+01
- 8.0000E+01
- 7.0000E+01
- 6.0000E+01
- 5.0000E+01
- 4.0000E+01
- 3.0000E+01
- 2.0000E+01
- 1.0000E+01
- 0.0000E+00

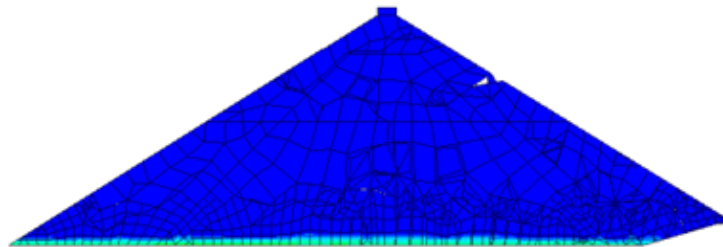
**x = -200m**



**x = -100m**



**x = 0m**

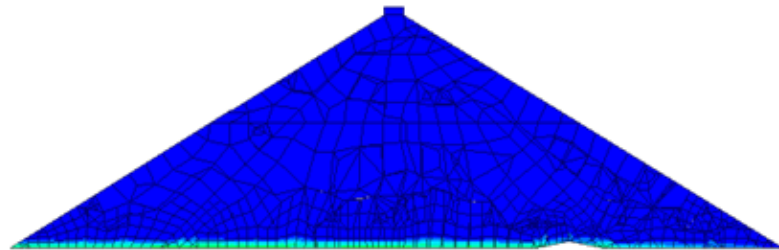




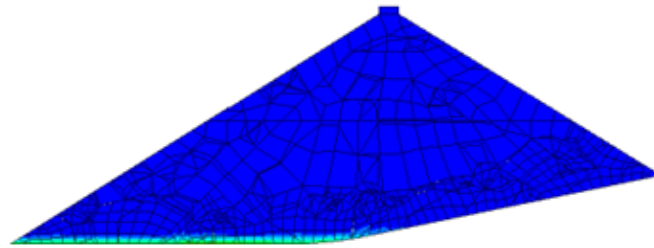
**Pore Pressure [kPa]**

- 1.0000E+02
- 9.0000E+01
- 8.0000E+01
- 7.0000E+01
- 6.0000E+01
- 5.0000E+01
- 4.0000E+01
- 3.0000E+01
- 2.0000E+01
- 1.0000E+01
- 0.0000E+00

**x = 100m**

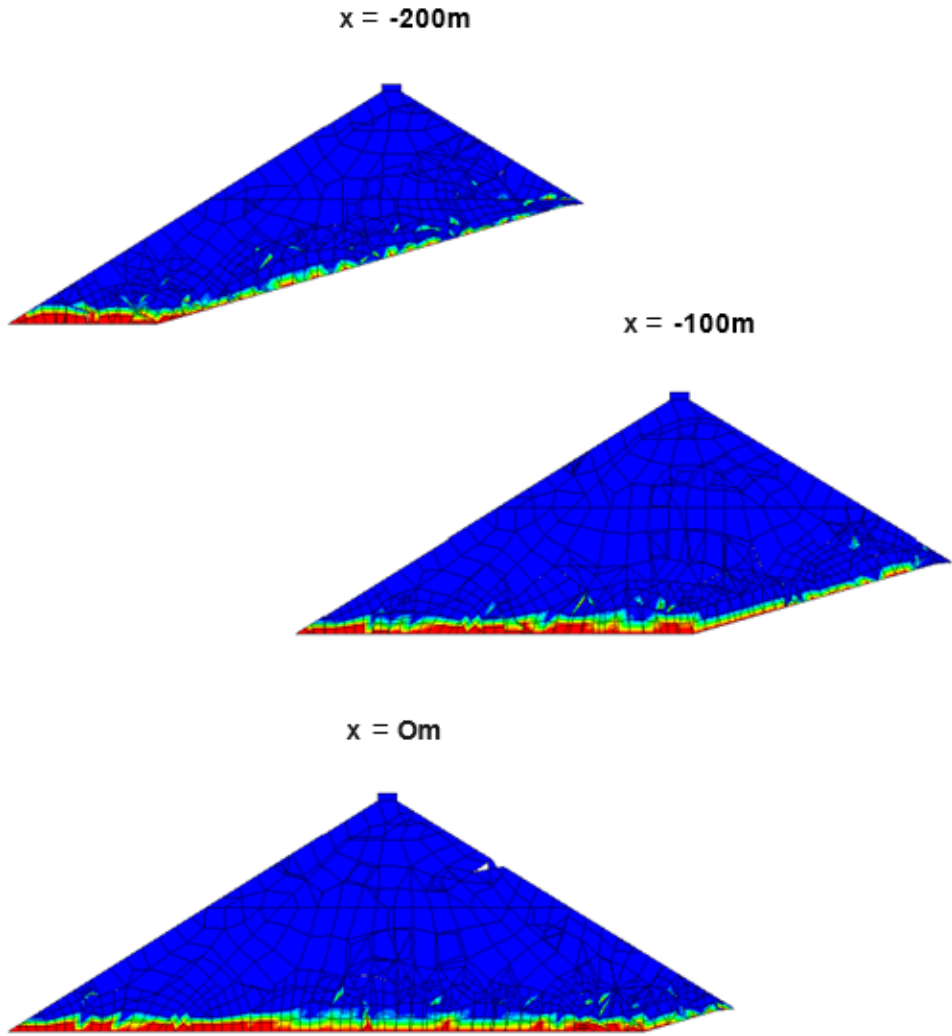


**x = 200m**



**Saturation[-]**

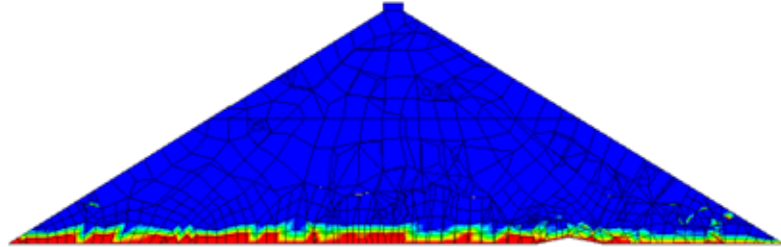
- 1.0000E+00
- 9.0000E-01
- 8.0000E-01
- 7.0000E-01
- 6.0000E-01
- 5.0000E-01
- 4.0000E-01
- 3.0000E-01
- 2.0000E-01
- 1.0000E-01
- 0.0000E+00



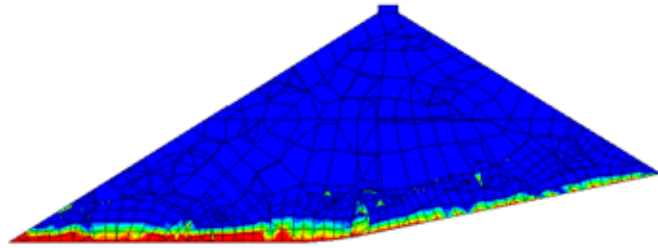
**Saturation[-]**

- 1.0000E+00
- 9.0000E-01
- 8.0000E-01
- 7.0000E-01
- 6.0000E-01
- 5.0000E-01
- 4.0000E-01
- 3.0000E-01
- 2.0000E-01
- 1.0000E-01
- 0.0000E+00

**x = 100m**



**x = 200m**



დანართი „ბჰ“

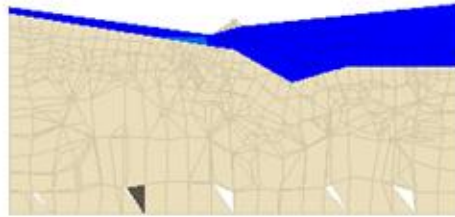
გაჟონვის ანალიზის შედეგები -  
ჩამკეტი კედლის ძირი ზღვის დონიდან 1225 მ



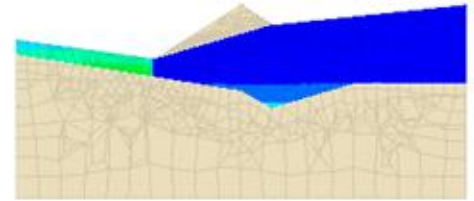
**Pore pressure [kPa]**

- 2.5000E+03
- 2.2500E+03
- 2.0000E+03
- 1.7500E+03
- 1.5000E+03
- 1.2500E+03
- 1.0000E+03
- 7.5000E+02
- 5.0000E+02
- 2.5000E+02
- 0.0000E+00

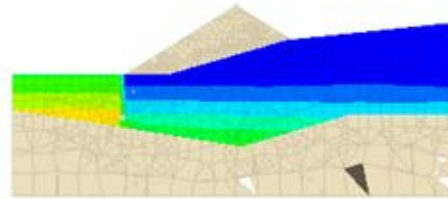
x = -400m



x = -300m



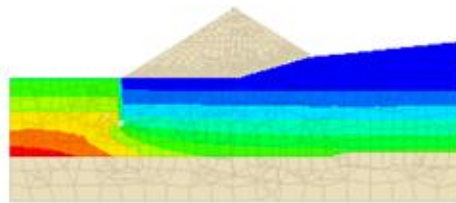
x = -200m



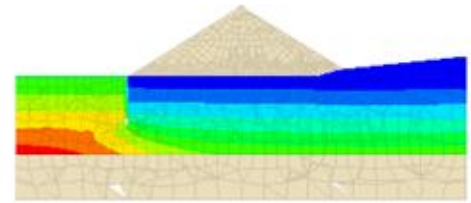
**Pore pressure [kPa]**

- 2.5000E+03
- 2.2500E+03
- 2.0000E+03
- 1.7500E+03
- 1.5000E+03
- 1.2500E+03
- 1.0000E+03
- 7.5000E+02
- 5.0000E+02
- 2.5000E+02
- 0.0000E+00

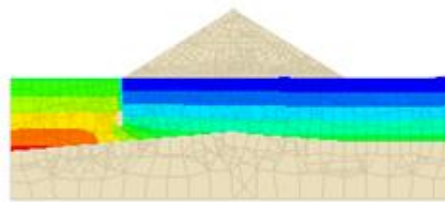
**x = -100m**



**x = 0m**



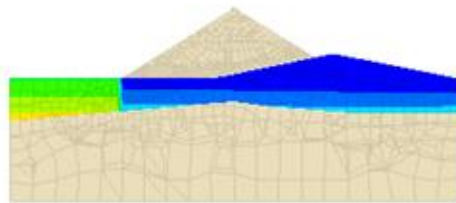
**x = 100m**



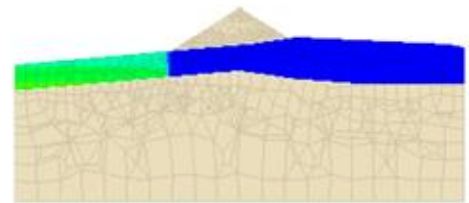
**Pore pressure [kPa]**

- 2.5000E+03
- 2.2500E+03
- 2.0000E+03
- 1.7500E+03
- 1.5000E+03
- 1.2500E+03
- 1.0000E+03
- 7.5000E+02
- 5.0000E+02
- 2.5000E+02
- 0.0000E+00

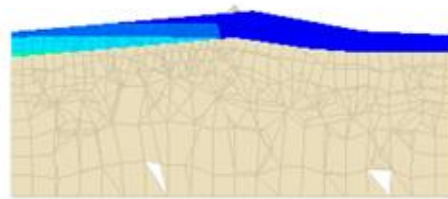
**x = 200m**



**x = 300m**



**x = 400m**

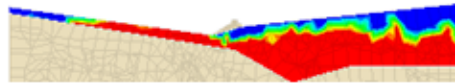




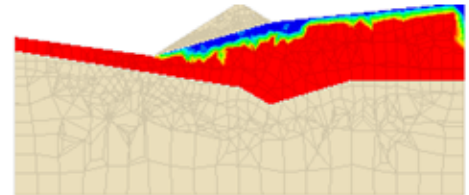
**Saturation[-]**

- 1.0000E+00
- 9.0000E-01
- 8.0000E-01
- 7.0000E-01
- 6.0000E-01
- 5.0000E-01
- 4.0000E-01
- 3.0000E-01
- 2.0000E-01
- 1.0000E-01
- 0.0000E+00

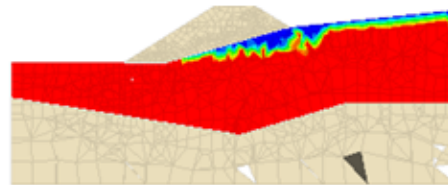
**x = -400m**



**x = -300m**



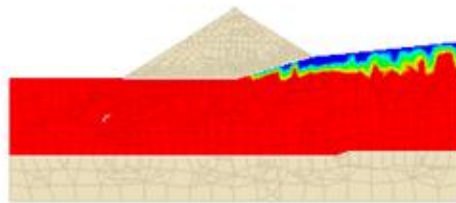
**x = -200m**



**Saturation[-]**

- 1.0000E+00
- 9.0000E-01
- 8.0000E-01
- 7.0000E-01
- 6.0000E-01
- 5.0000E-01
- 4.0000E-01
- 3.0000E-01
- 2.0000E-01
- 1.0000E-01
- 0.0000E+00

**x = -100m**



**x = 0m**



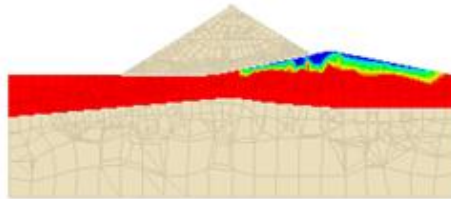
**x = 100m**



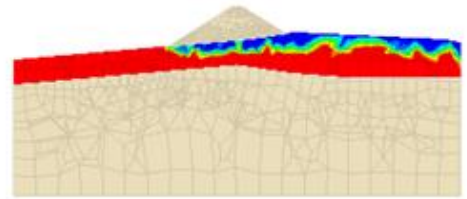
**Saturation[-]**

- 1.0000E+00
- 9.0000E-01
- 8.0000E-01
- 7.0000E-01
- 6.0000E-01
- 5.0000E-01
- 4.0000E-01
- 3.0000E-01
- 2.0000E-01
- 1.0000E-01
- 0.0000E+00

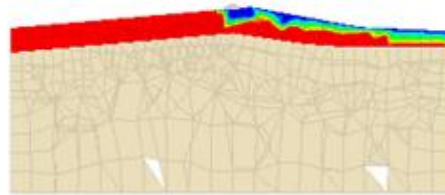
**x = 200m**



**x = 300m**



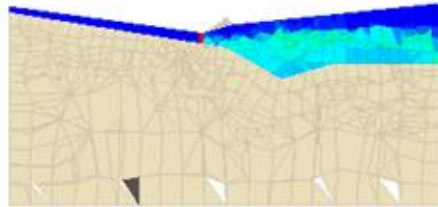
**x = 400m**



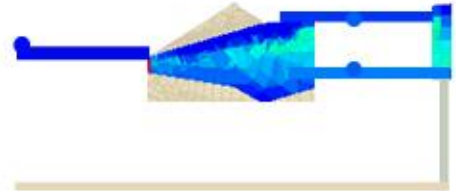
**Gradient[-]**

- 3.0000E+00
- 2.8000E+00
- 2.6000E+00
- 2.4000E+00
- 2.2000E+00
- 2.0000E+00
- 1.8000E+00
- 1.6000E+00
- 1.4000E+00
- 1.2000E+00
- 1.0000E+00
- 8.0000E-01
- 6.0000E-01
- 4.0000E-01
- 2.0000E-01
- 0.0000E+00

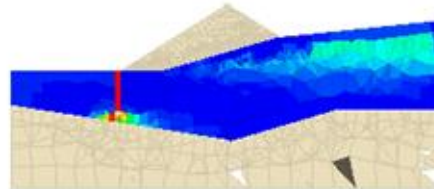
**x = -400m**



**x = -300m**



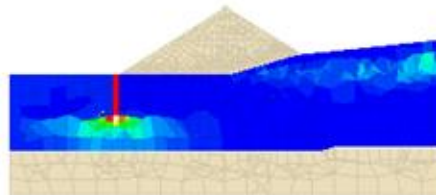
**x = -200m**



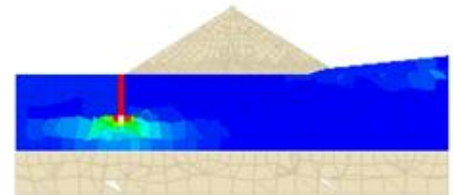
**Gradient[-]**

- 3.0000E+00
- 2.8000E+00
- 2.6000E+00
- 2.4000E+00
- 2.2000E+00
- 2.0000E+00
- 1.8000E+00
- 1.6000E+00
- 1.4000E+00
- 1.2000E+00
- 1.0000E+00
- 8.0000E-01
- 6.0000E-01
- 4.0000E-01
- 2.0000E-01
- 0.0000E+00

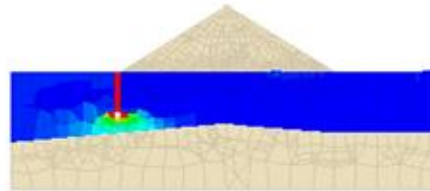
**x = -100m**



**x = 0m**



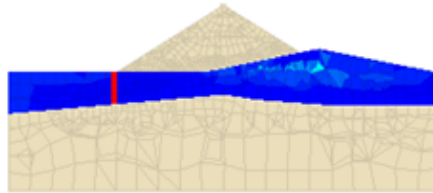
**x = 100m**



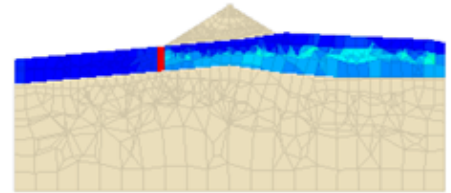
**Gradient[-]**

- 3.0000E+00
- 2.8000E+00
- 2.6000E+00
- 2.4000E+00
- 2.2000E+00
- 2.0000E+00
- 1.8000E+00
- 1.6000E+00
- 1.4000E+00
- 1.2000E+00
- 1.0000E+00
- 8.0000E-01
- 6.0000E-01
- 4.0000E-01
- 2.0000E-01
- 0.0000E+00

**x = 200m**



**x = 300m**



**x = 400m**



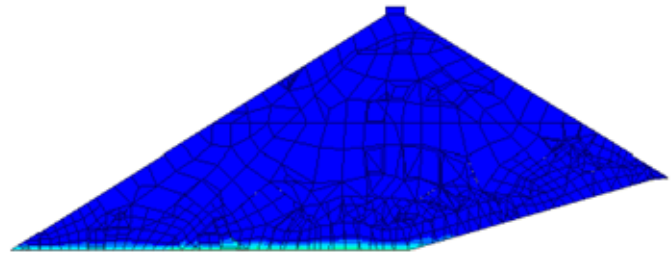
**Pore Pressure [kPa]**

- 1.0000E+02
- 9.0000E+01
- 8.0000E+01
- 7.0000E+01
- 6.0000E+01
- 5.0000E+01
- 4.0000E+01
- 3.0000E+01
- 2.0000E+01
- 1.0000E+01
- 0.0000E+00

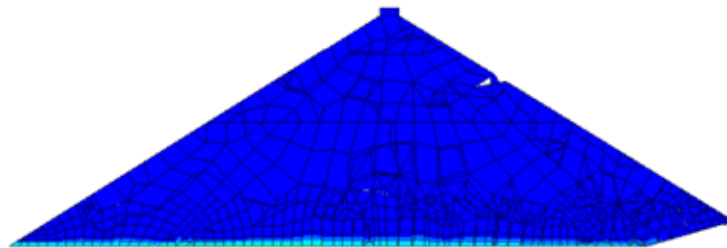
x = -200m



x = -100m



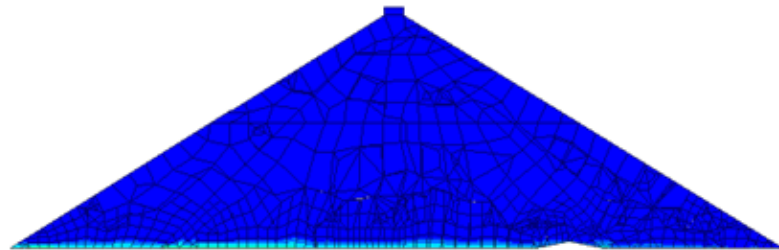
x = 0m



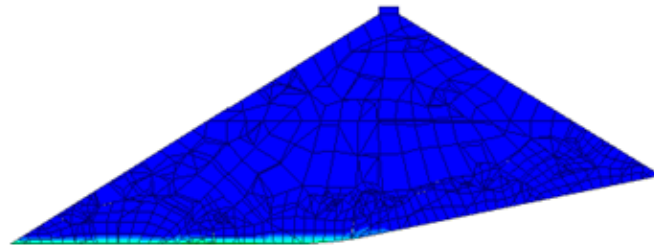
**Pore Pressure [kPa]**

- 1.0000E+02
- 9.0000E+01
- 8.0000E+01
- 7.0000E+01
- 6.0000E+01
- 5.0000E+01
- 4.0000E+01
- 3.0000E+01
- 2.0000E+01
- 1.0000E+01
- 0.0000E+00

$x \equiv 100m$



$x \equiv 200m$

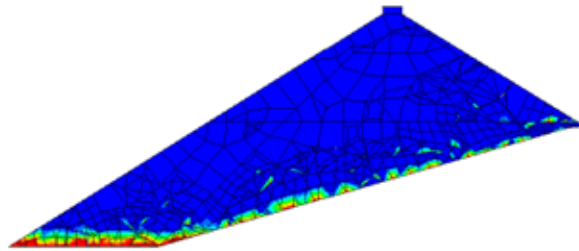




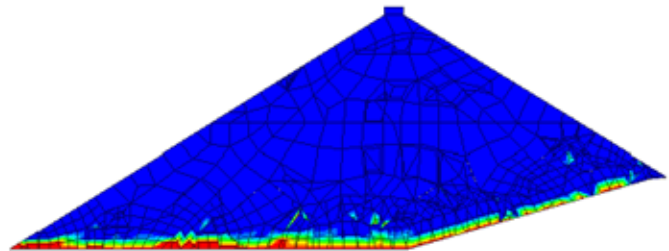
**Saturation[-]**

- 1.0000E+00
- 9.0000E-01
- 8.0000E-01
- 7.0000E-01
- 6.0000E-01
- 5.0000E-01
- 4.0000E-01
- 3.0000E-01
- 2.0000E-01
- 1.0000E-01
- 0.0000E+00

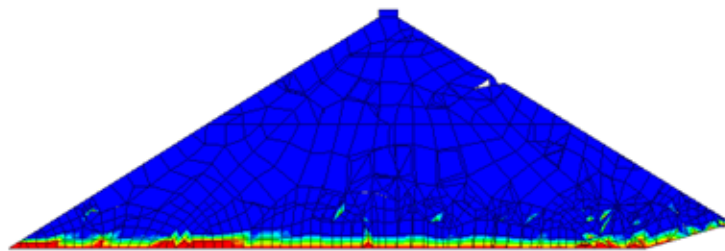
x = -200m



x = -100m



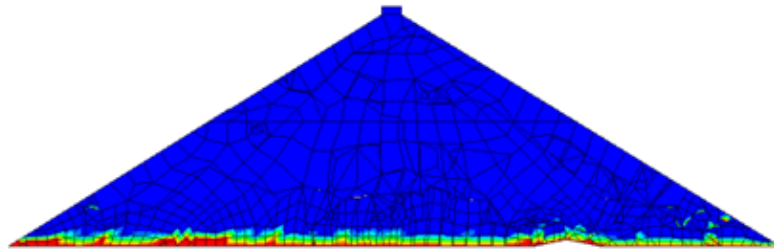
x = 0m



**Saturation[-]**

- 1.0000E+00
- 9.0000E-01
- 8.0000E-01
- 7.0000E-01
- 6.0000E-01
- 5.0000E-01
- 4.0000E-01
- 3.0000E-01
- 2.0000E-01
- 1.0000E-01
- 0.0000E+00

x = 100m



x = 200m

