

დანართი N5

# ნენსკრა ჰესი, საქართველო

## საბაზისო პროექტი



ნენსკრას ასფალტით მოსახული ქვანაყარი კაშხლის (AFRD) ფილტრაციისა და სადრენაჟო სისტემა

სადრენაჟო სისტემის შეფასება

ტექნიკური ანგარიში

ავტორ	პროექტი	ფაზა	ტერიტ	WBS	WBE	დოკ.ტიპი	პროგრ	შესწორე
L	6768	B	CW	DA	FO	TR	002	002

002	2016 წლის 15 დეკემბერი	Ago, CaM	Bal, Bre
001	2016 წლის 14 სექტემბერი	CR, AGO	Bal, Bre
000	2016 წლის 14 ივლისი	CR, CPG, Bal	AF, Bre
ვერსია	თარიღი	ავტორი	შეამოწმა

**Lombardi Engineering Ltd.**

Via R. Simen 19, P.O.Box 1535, CH-6648 მინუსიო

ტელეფონი +41(0)91 735 31 00, ფაქსი +41 (0)91 743 97 37

[www.lombardi.ch](http://www.lombardi.ch), [info@lombardi.ch](mailto:info@lombardi.ch)

# სარჩევი

1	შესავალი .....	4
1.1	სამუშაოების მოცულობა.....	4
1.2	ანგარიშის სტრუქტურა.....	4
2	წყაროს მითითება .....	5
2.1	საპროექტო დოკუმენტები .....	5
2.2	პროექტის ნახაზები .....	5
2.3	გამოყენებული ლიტერატურა .....	6
3	გაჟონვის 3D გაანგარიშება .....	8
3.1	წინასიტყვაობა .....	8
3.2	მოდელი და სასაზღვრო პირობები.....	8
3.3	ანალიზი და შედეგები.....	12
4	სადრენაჟო სისტემის აღწერა .....	16
4.1	სამირკვლის სადრენაჟო სისტემის მიზანი .....	16
4.2	სამირკვლის ძირითადი დრენაჟი .....	20
5	შიდა ეროზია.....	23
5.1	შიდა ეროზიის ფენომენის აღწერა.....	23
5.2	შიდა ეროზიის დაწყების მექანიზმები .....	24
5.2.1	კონცენტრირებული გაჟონვა.....	25
5.2.2	უკუხევეთი ეროზია.....	25
5.2.3	კონტაქტური ეროზია .....	28
5.2.4	გაჟღენტა .....	32
5.3	საბაზისო ფილტრის პროექტი.....	42
6	დასკვნები და რეკომენდაციები.....	46

დანართი „ა“ – 2C ფილტრის პროექტი

# 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 ანგარიში წარმოადგენს საბოლოო საბაზისო პროექტთან ერთად წარსადგენი დოკუმენტების დანართს.

## 1.2 ანგარიშის სტრუქტურა

ანგარიშის სტრუქტურა შემდეგნაირია:

- **თავი 1** - ასახულია სამუშაოს მოცულობას და ანგარიშის სტრუქტურას
- **თავი 2** - არსებული შედეგების მისაღებად, შეჯამებულია გაჟონვის 3D გაანგარიშება მოდელის სტრუქტურისა და შერჩეული საანგარიშო სასაზღვრო პირობების წარმოდგენით
- **თავი 3** - აღწერილია სადრენაჟო სისტემის დანიშნულება, რომელიც შედგება კაშხლის კორპუსის ქვეშ განთავსებული ჰორიზონტალური დრენაჟისგან
- **თავი 4** - წარმოდგენილია ნენსკრას კაშხლის ეროზიული პროცესების შეფასება, ყველა შესაძლო მექანიზმის გამოყენებით
- **თავი 5** - შეჯამებულია ანალიზი, მისი შედეგები და საჭირო დასკვნები

## 2 წყაროს მითითება

### 2.1 საპროექტო დოკუმენტები

#### კაშხლის გეოტექნიკური მოდელის პაკეტი

- [1] L-6768-B-GL-DA-GE-TR-004 კაშხალის გეოლოგიური დეჰიფრირების ანგარიში
- [2] L-6768-B-CW-DA-NM-CR-008 AFRD 2D/3D გაჟონვა საძირკვლის ციფრულ მოდელში - ჩამკეტის ძირი ზღვის დონიდან 1'225 მ სიმაღლეზე
- [3] L-6768-B-CW-DA-DB-TR-001 ნენსკრას ასფალტით მოსახული ქვანაყარი კაშხალის (AFRD) სამშენებლო მასალები
- [4] L-6768-B-GE-GE-GE-TR-001 საპროექტო კრიტერიუმები

### 2.2 პროექტის ნახაზები

#### [5] კაშხლის გეოლოგიური პროექტი

- L-6768-B-GL-DA-GE-DW-001, ნენსკრას კაშხალი, გეოლოგიური გეგმა
- L-6768-B-GL-DA-GE-DW-002, ნენსკრას კაშხალი, გეოტექნიკური კვლევის გეგმა
- L-6768-B-GL-DA-GE-DW-003, ნენსკრას კაშხალი, გეოფიზიკური კვლევის გეგმა
- L-6768-B-GL-DA-GE-DW-004, ნენსკრას კაშხალი, გეოტექნიკური პროფილი ჩამკეტთან
- L-6768-B-GL-DA-GE-DW-005, ნენსკრას კაშხალი, გეოტექნიკური პროფილი კაშხლის ღერძთან
- L-6768-B-GL-DA-GE-DW-006, ნენსკრას კაშხალი, გეოტექნიკური პროფილი კაშხლის ღერძის 200 მ DS
- L-6768-B-GL-DA-GE-DW-007, ნენსკრას კაშხალი, გეოტექნიკური პროფილი კაშხლის ღერძის 400 მ DS
- L-6768-B-GL-DA-GE-DW-008, ნენსკრას კაშხალი, გეოტექნიკური პროფილი ხეობის ღერძთან
- L-6768-B-GL-DA-GE-DW-009, ნენსკრას კაშხალი, ფსკერული ღიობის გეოტექნიკური პროფილი
- L-6768-B-GL-DA-GE-DW-010, ნენსკრას კაშხალი, გეოტექნიკური პროფილი ჩამკეტთან, ალტერნატიული სატენდერო სქემა

#### [6] კაშხლის პროექტი

- L-6768-B-GE-GE-GE-DW-006\_002, პროექტის ზოგადი სქემა, ნენსკრას AFRD დამხმარე სტრუქტურები
- L-6768-B-CW-DA-GE-DW-001, ნენსკრას კაშხალი, ზოგადი სქემა, გეგმის ნახვა

- L-6768-B-CW-DA-GE-DW-002, ნენსკრას კაშხალი, განივი კვეთი, ტიპიური 1 – ხეობის ფსკერი
- L-6768-B-CW-DA-GE-DW-003, ნენსკრას კაშხალი, განივი კვეთი, ტიპიური 1 – საყრდენები
- L-6768-B-CW-DA-GE-DW-004, ნენსკრას კაშხალი, განივი კვეთი, 1-ლი მონაკვეთი
- L-6768-B-CW-DA-GE-DW-005, ნენსკრას კაშხალი, განივი კვეთი, მე-2 მონაკვეთი
- L-6768-B-CW-DA-GE-DW-006, ნენსკრას კაშხალი, განივი კვეთი, მე-3 მონაკვეთი
- L-6768-B-CW-DA-GE-DW-007, ნენსკრას კაშხალი, განივი კვეთი, მე-4 მონაკვეთი
- L-6769-B-CW-DA-GE-DW-008, ნენსკრას კაშხალი, განივი კვეთი, მე-5 მონაკვეთი
- L-6768-B-CW-DA-GE-DW-009, ნენსკრას კაშხალი, პროფილი, კაშხლის ღერძი
- L-6768-B-EW-DA-FO-DW-003, ნენსკრას კაშხალი, კაშხლის ზონირება საპირკვლის დონეზე, გეგმის ნახვა
- L-6768-B-CW-DA-AF-DW-001, ნენსკრას კაშხალი, ასფალტის ზედაპირი, ტიპიური მონაკვეთი და დეტალები
- L-6768-B-CW-DA-CS-DW-001, ნენსკრას კაშხალი, კაშხლის წვერო, პროფილი
- L-6768-B-CW-DA-CS-DW-002, ნენსკრას კაშხალი, კაშხლის წვერო, ტიპიური მონაკვეთები
- L-6768-B-CW-DA-DP-DW-001, ნენსკრას კაშხალი, თხემის კედელი და საინსპექციო გალერეა, პროფილი
- L-6768-B-CW-DA-DP-DW-002, ნენსკრას კაშხალი, თხემის კედელი და საინსპექციო გალერეა, ტიპიური მონაკვეთი, ხეობა
- L-6768-B-CW-DA-DP-DW-003, ნენსკრას კაშხალი, თხემის კედელი და საინსპექციო გალერეა, ტიპიური მონაკვეთი, ab.
- L-6768-B-CW-DA-CT-DW-001, ნენსკრას კაშხალი, ჩამკეტი კედელი, გეგმა და პროფილი
- L-6768-B-CW-DA-CT-DW-002, ნენსკრას კაშხალი, ჩამკეტი კედელი, ტიპიური მონაკვეთები

### 2.3 გამოყენებული ლიტერატურა

[7] Brauns, J. (1985), Erosionsverhalten geschichteten Bodens bei horizontaler Durchströmung, Wasserwirtschaft, vol 75, p. 448-453 - Erosion behavior layered soil with horizontal flow, Water Management, vol 75, p. 448-453

[8] Burenkova, V. V. (1993). "Assessment of suffusion in non-cohesive and graded soils." Filters in Geotechnical and Hydraulic Engineering (Proc., 1st International Conference "Geo-Filters," Karlsruhe, Germany), Balkema, Rotterdam, 357-360.

[9] Fell R., Foster M., Cyganiewicz J., Sills G., Vroman N., Davidson R. (2009). A Unified Methods for Estimating Probabilities of Failure of Embankment Dams by Internal Erosion and Piping Guidance Document Volumen 1 and 2. (R-446)

- [10] Fell, R., 2005, Geotechnical engineering of dams
- [11] Fell, R., Foster, M. A., Cyganiewicz, J., Sills, G. L., Vroman, N. D., Davidson, R. R. (2008). Risk Analysis for Dam Safety: A Unified Method for Estimating Probabilities of Failure of Embankment Dams by Internal Erosion and Piping, URS Australia, New South Wales, Sydney, Australia.
- [12] Fell, R., MacGregor, P., Stapledon, D., Bell, G., and Foster, M. (2014). Geotechnical Engineering of Dams, Second Edition, CRC Press/Balkema, London, UK.
- [13] Fell, R., Wan, C. F., and Foster, M. A. (2004). "Methods for estimating the probability of failure of embankment dams by internal erosion and piping: Piping through the embankment." UNICIV Report No. R-428, University of New South Wales, Sydney, Australia.
- [14] Foster, M. A., and Fell, R. (2001). "Assessing embankment dam filters that do not satisfy design criteria." Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 127(5), 398-407.
- [15] ICOLD (1994). Embankment Dams: Granular Filters and Drains, Bulletin No. 95 International Commission on Large Dams, Paris, France.
- [16] ICOLD (2013). Internal Erosion of Existing Dams, Levees, and Dikes, and Their Foundations, Bulletin 164 Preprint, International Commission on Large Dams, Paris, France.
- [17] Kenney, T.C. and Lau, D. (1985). "Internal instability of granular filters," Canadian Geotechnical Journal, National Research Council Canada, 22(2), 215-225.
- [18] Kenney, T.C. and Lau, D. (1986). "Internal instability of granular filters: Reply," Canadian Geotechnical Journal, National Research Council Canada, 23(3), 420-423.
- [19] Kovács, G. (1981). Seepage Hydraulics, Elsevier Scientific, Amsterdam, 349-379
- [20] Li, M. (2008). "Seepage induced instability in widely graded soils." Ph.D. Thesis, University of British Columbia, Vancouver, Canada.
- [21] Li, M. and Fannin, J. (2008). "Comparison of two criteria for internal stability of granular soil." Canadian Geotechnical Journal, National Research Council Canada, 45(9), 1303-1309.
- [22] National engineering handbook Part 633-Soil Engineering (1994) "Gradation design of sand and gravel filters" Chapter 26. United States Department of Agriculture USDA-NRCS
- [23] Sherard, J.L., Dunnigan, L.P. and Talbot, R.T. (1984a). Basic properties of sand and gravel filters. JASCE Geotech. Eng., Vol. 110, No. 6.
- [24] U.S. Army Corps for Engineers (USACE), 1992, EM-1110-2-1914, Design, construction and maintenance of relief wells
- [25] U.S. Army Corps for Engineers (USACE), 1993, EM-1110-2-1901, Seepage analysis and control for dams
- [26] U.S. Army Corps for Engineers (USACE), 2004, EM-1110-2-2300, General design and construction considerations for earth and rock-fill dams
- [27] USACE (2005). "Seepage analysis and control." EM 1110-2-1901, Change 2, U.S. Army Corps of

Engineers, Washington, DC.

[28] USBR USACE (2015) Best Practices in Dam and Levee Safety Risk Analysis

[29] Wan, C.F. and Fell, R. (2008). "Assessing the potential of internal instability and suffusion in embankment dams and their foundations." Journal of Geotechnical and Environmental Engineering, ASCE, 134(3), 401-407.

### **3 გაჟონვის 3D გაანგარიშება**

#### **3.1 წინასიტყვაობა**

გაჟონვის ანალიზი განხორციელდა სრული 3D მოდელის გამოყენებით, საძირკველისა და კაშხლის ჯგებობის ჩათვლით. გამოთვლები შესრულდა FLAC3D პროგრამით (Itasca Consulting Group, Inc. (2012) FLAC3D - კონტინუუმის 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 კონტინუუმის 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.

ამდენად, ჰიდრავლიკური პროექტის თვალსაზრისით, ეს ანალიზი ჩამკეტის ქვეშ და ხსნარის საფარში [2] გაჟონვის უფრო ზუსტი რაოდენობის განსაზღვრის და კაშხლის საძირკველის სადრენაჟე სისტემის უკეთესი პროექტირების საშუალებას იძლევა.

#### **3.2 მოდელი და სასაზღვრო პირობები**

ქვემოთ, ნახაზებში 3.2.1 და 3.2.2, ნაჩვენებია ნენსკრას კაშხლის 3D მოდელის გეომეტრია და განფენილობა. 3D მოდელის გეომეტრია ნენსკრას ხეობის უახლეს ტოპოგრაფიას ეფუძნება, რაც გარკვეული გამარტივებების გათვალისწინებით:

– წარმომადგენლობითი ზონის საშუალო სიდიდეების მიხედვით, საყრდენების ფერდობებს მუდმივი სიდიდეები მიენიჭა. განსაკუთრებული ყურადღება დაეთმო კაშხლის ქვედა ნაწილში მოთავსებული ალუვიური კონუსის განსაზღვრას როგორც მარჯვენა, ისე მარცხენა სანაპიროებზე.

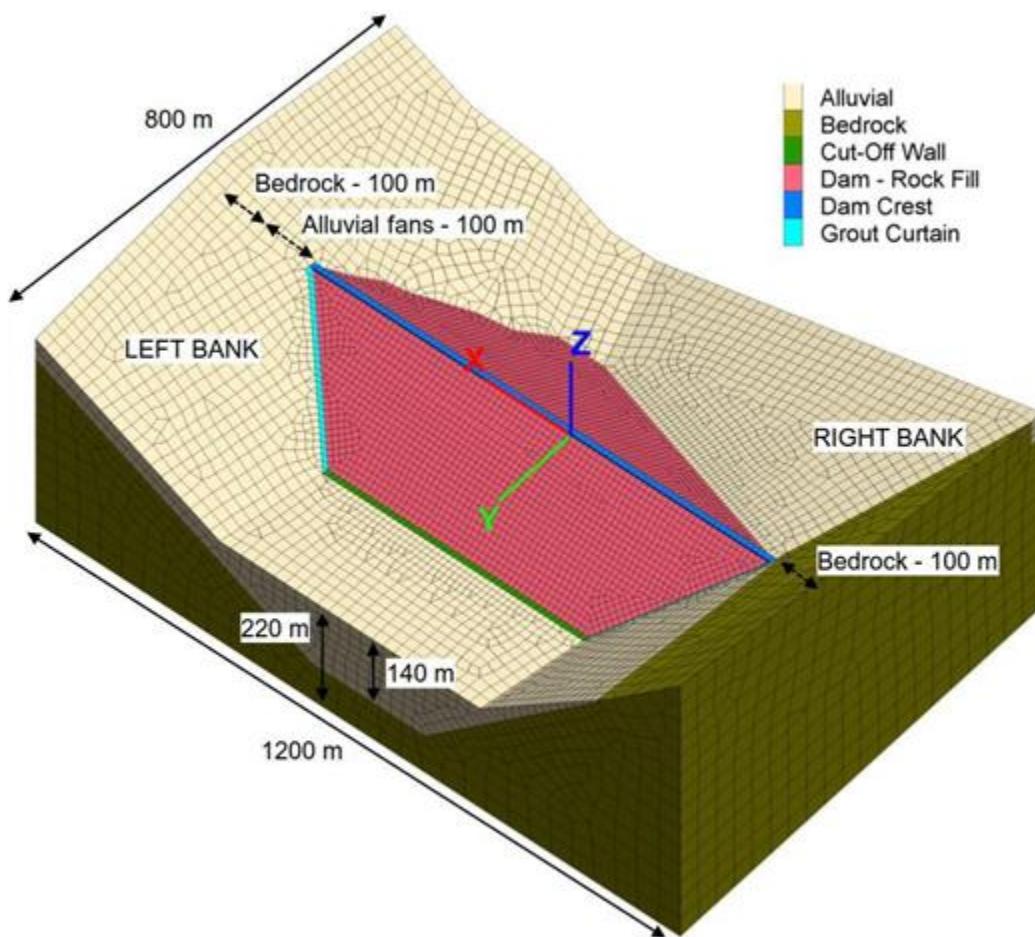
– მოდელი უზრუნველყოფს მდინარის ტალვეგის გასწორებას. ხეობის ფსკერის სიგანე



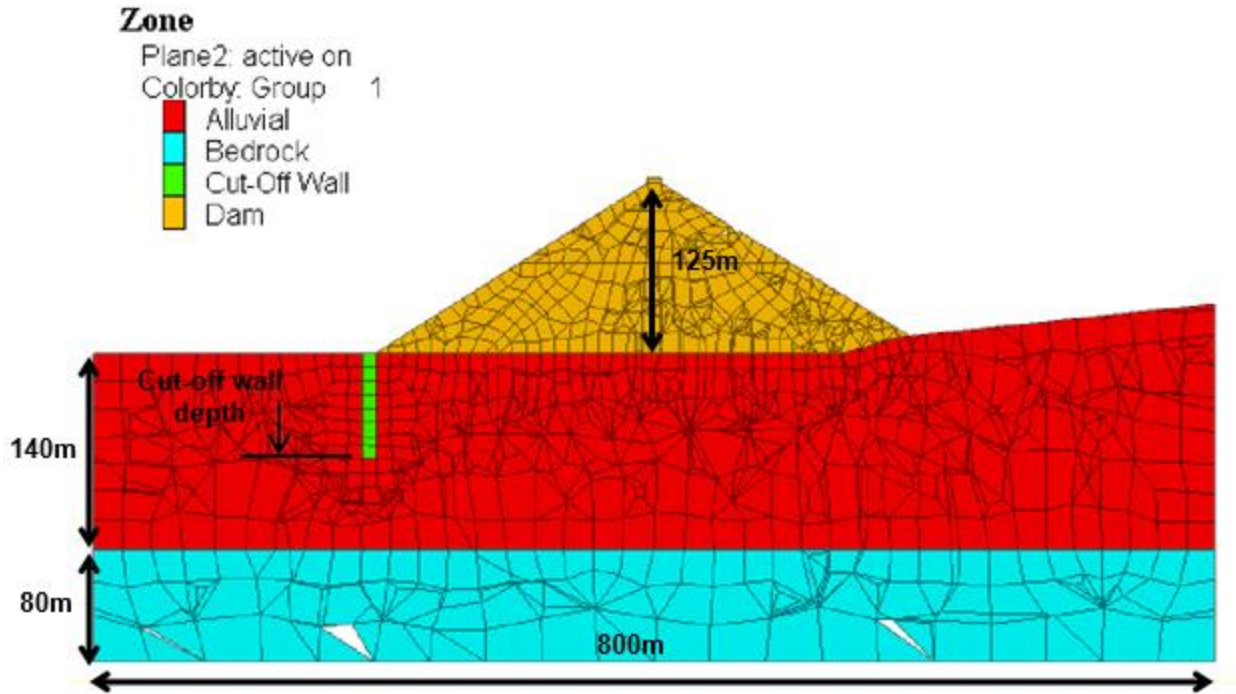
უცვლელი რჩება მოდელის ზედა და ქვედა მხარეს. კაშხლის მიერ დაკავებულ ტერიტორიაზე განისაზღვრა ორივე სიგანეს შორის გადასვლა.

განსაკუთრებული ყურადღება დაეთმო ხეობის ფსერზე ძირითადი ქანის და ორივე საყრდენის განმარტებას, რომელიც არა მხოლოდ ტოპოგრაფიულ მონაცემებს ითვალისწინებდა, არამედ ჩატარებულ გეოფიზიკურ კვლევებსა და ჭაბურღილებს. როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, მიწის დონეზე ძირითადი ქანი ასევე მოიცავს წარმომადგენლობით ზონაში ძირითადი ქანის ზედაპირის საშუალო ფერდობებს.

კაშხლის საძირკველი მდებარეობს ზღვის დონიდან 1'310 მეტრზე (სავარაუდო კონსტანტა ხეობის ფსკერზე). კაშხლის თხემი მდებარეობს ზღვის დონიდან 1'435 მეტრზე. კაშხლის მაქსიმალური სიმაღლეა 125 მ.

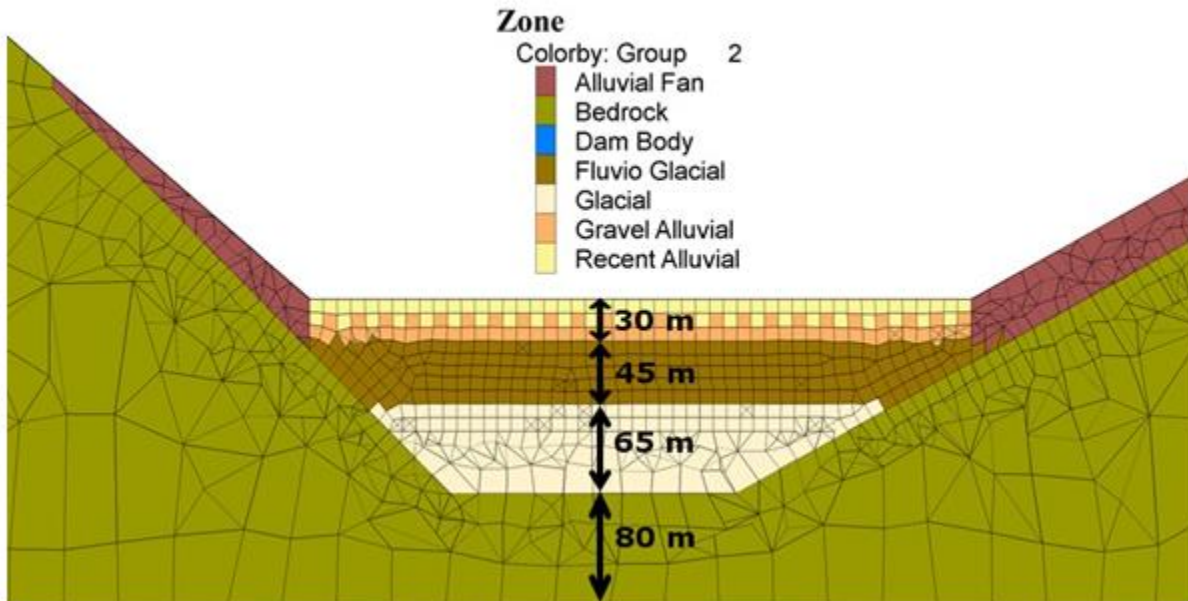


ნახაზი 3.2.1 ნენსკრას კაშხლის 3D მოდელის განფენილობა (3D ხედი)

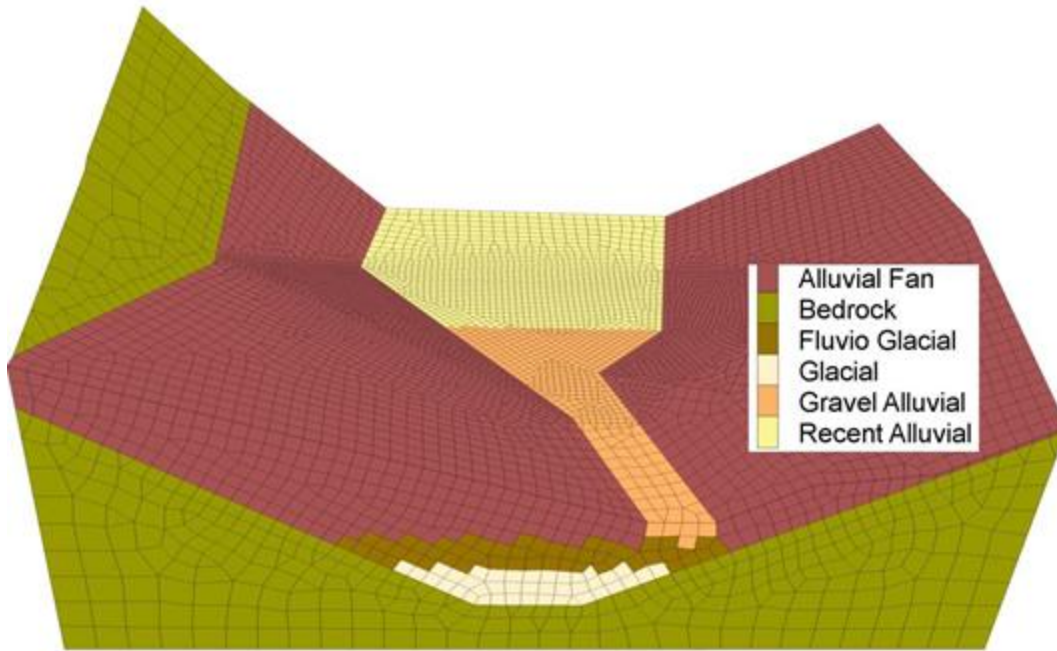


ნახაზი 3.2.2 ნენსკრას კაშხლის 3D მოდელის განფენილობა (ხეობის ფსკერზე ზედა და ქვედა მიმართულებით განივი კვეთა)

3D მოდელში შესრულებული გეოტექნიკური მოდელი კაშხლის ტერიტორიის გეოლოგიური დემიფირების ანგარიშს ეფუძნება [1]. ხეობის ზედაპირზე გრუნტის დანალექის მაქსიმალური სიღრმე შეადგენს 140 მეტრს (ნახაზი 3.2.3 და ნახაზი 3.2.4).



ნახაზი 3.2.3 გრუნტის ფენა - განივი კვეთი ხეობის ზედაპირზე



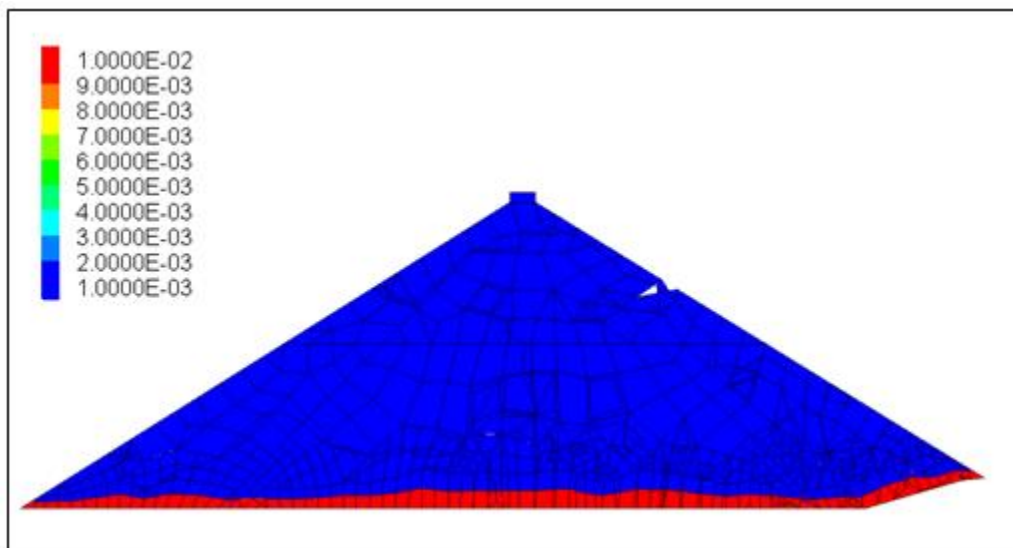
**ნახაზი 3.2.4** ნენსკრას კაშხლის საძირკვლის გრუნტის ფენა - 3D ხედი ქვედა ბიეფიდან ცხრილ 3.2.1-ში მოცემულია თითოეული ფენის, ასევე ჩამკეტი კედლის გამტარიანობის შეჯამება.

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 3.2.1** 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 3.2.2** გაჟონვის ნაკადის რიცხვითი მოდელი - კაშხლის კორპუსის მასალების გამტარუნარიანობა



**ნახაზი 3.2.5** 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.

### 3.3 ანალიზი და შედეგები

სამირკველში გაჟონვა შეფასდა იმ ნაკადების გათვალისწინებით, რომელიც უზრუნველყოფს ხეობაში არსებული გამტარი მასალების და ხსნარის საფარის ინფილტრაციას, რაც გაანგარიშებულია ჩამკეტი ღერძის გასწვრივ მდებარე ვერტიკალურ კვეთაზე.

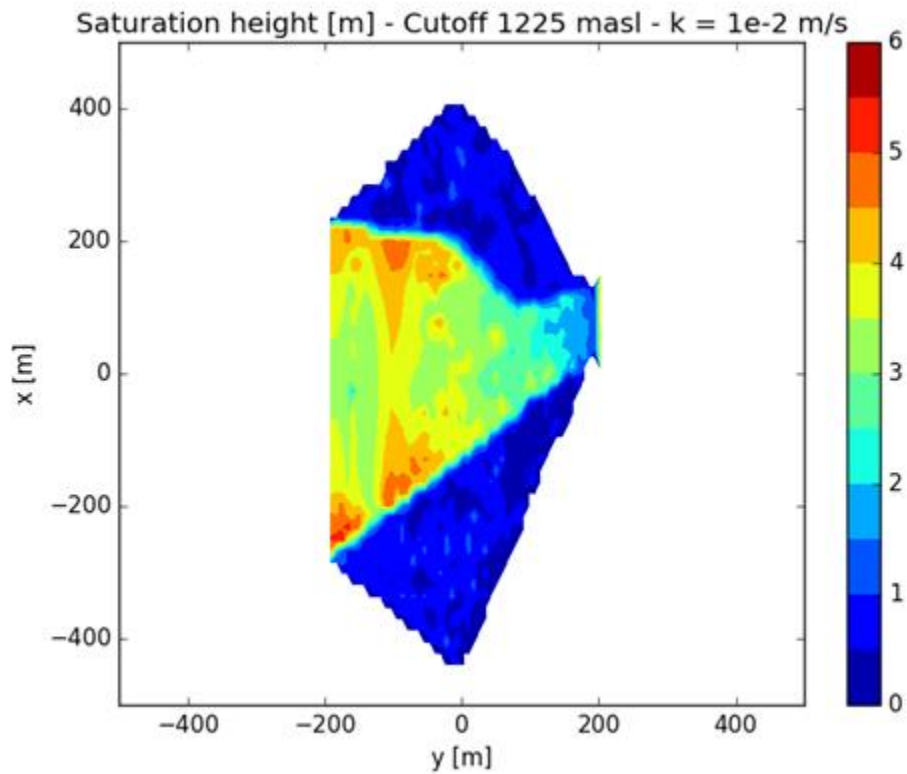
85 მ სიღრმის ჩამკეტი კედლის და ორივე საყრდენზე ძირითად ქანამდე ჩასული ხსნარის საფარის, ასევე კაშხლის სამირკველზე სადრენაჟო სისტემის სრულად გამტარი ფენის გათვალისწინებით, კაშხლის სამირკველში გაჟონვა ამჟამად შეადგენს 174 ლ/წმ, აქედან 83 ლ/წმ გაედინება ნაწილობრივად ჩამკეტი კედლის ქვეშ, ხოლო 91 ლ/წმ მოედინება ხსნარის

საფარებიდან.

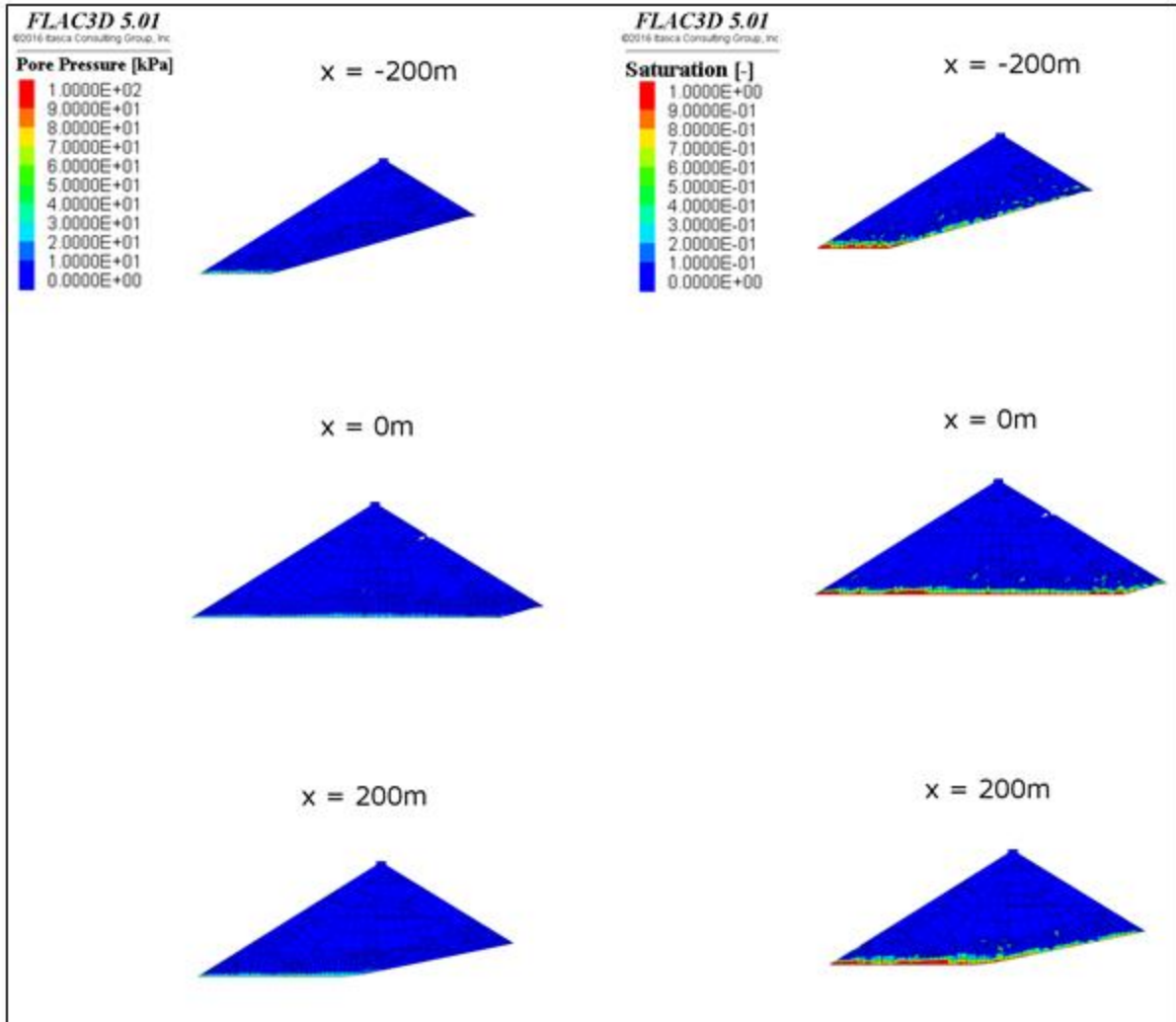
ნახაზ 3.3.1-ზე ნაჩვენებია კაშხლის მიერ დაკავებული ტერიტორიის ხედი და კაშხლის ფერდოზე გრუნტის წყლების სიმაღლის კონტურული რუკა გათვლების ბოლოს. ნახაზ 3.3.2-ზე წარმოდგენილია ფოროვანი წნევა და გაჯერების პროფილები კაშხლის ტერიტორიის სხვადასხვა მონაკვეთში.

ხეობაში ჩამკეტი კედლის ქვეშ წყლის გაჟონვა კაშხლის უდაბლეს წერტილთან ძალიან ახლოს ხდება. ანალოგიურად, მცირე რაოდენობით წყალი, რომელიც ხსნარის საფარის გავლით იფილტრება, კაშხლის საყრდენის ფერდობებზე მიედინება და ხეობის ზედაპირისკენ კონცენტრირდება.

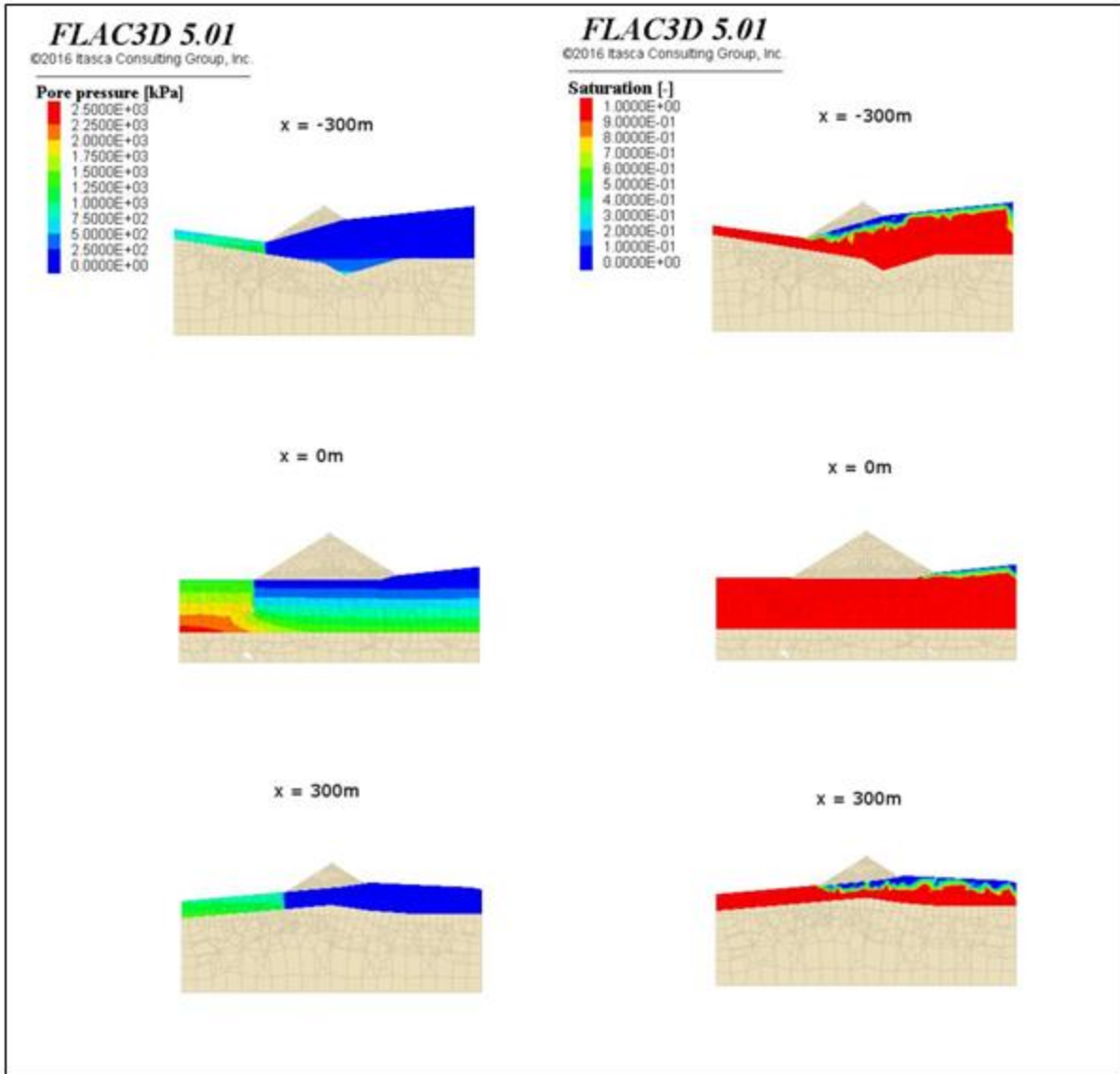
ნახაზებზე - 3.3.1-3.3.4 წარმოდგენილია კაშხლის ტერიტორიაზე, კაშხლის საძირკველში და საყრდენებში ფოროვანი წნევა და გაჯერების პროფილები. საყრდენები (კოლუვიული და ალუვიული კონუსი) არსებითად მშრალია და არ განიცდის გრუნდის წყლების დონის მნიშვნელოვან ზრდას. შედეგად, კაშხლის მშენებლობის შემდეგ მოსალოდნელი არ არის რაიმე ცვლილებები საყრდენების სტაბილურობის პირობებში.



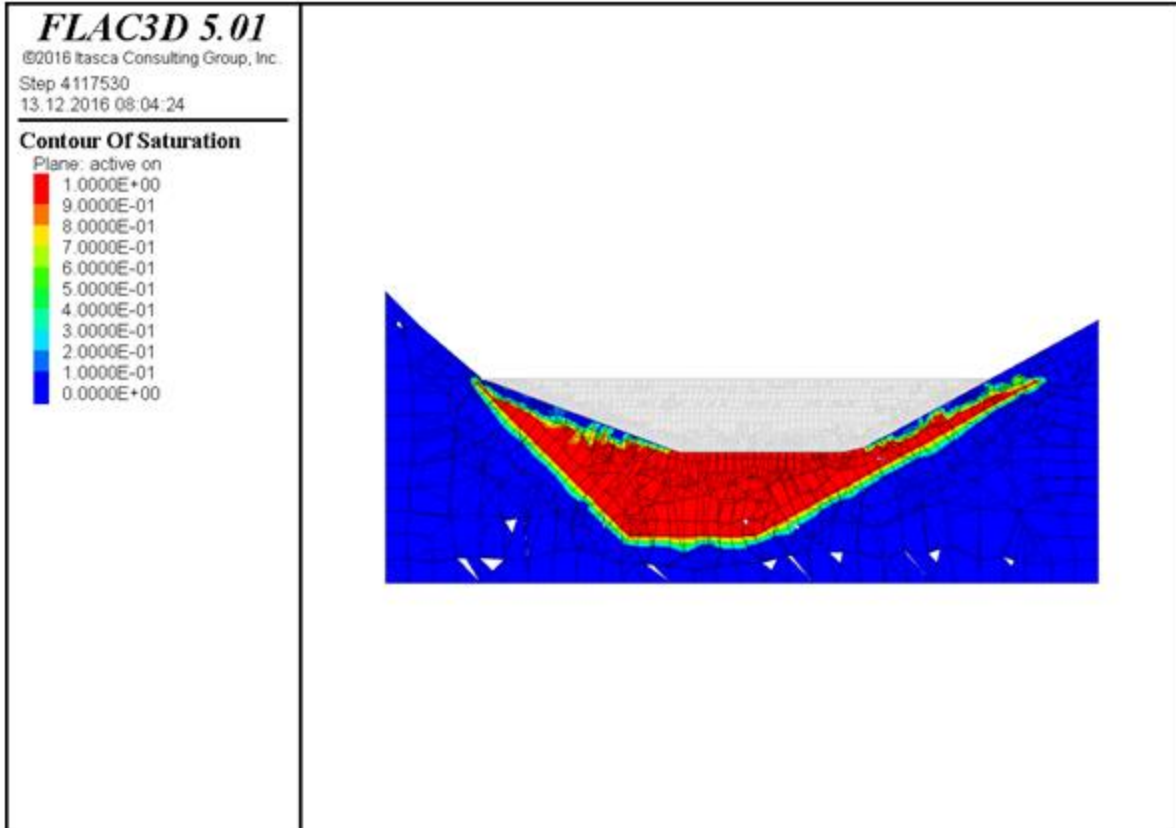
ნახაზი 3.3.1 გრუნტის წყლების სიმაღლე კაშხლის ტერიტორიაზე (ჩამკეტი კედლის სიღრმეა 1225 მ ზღვის დონიდან)



ნახაზი 3.3.2 ფოროვანი წნევა და გაჯერების პროფილი კაშხლის ტერიტორიაზე (ჩამკეტი კედლის სიღრმეა 1225 მ ზღვის დონიდან)



ნახაზი 3.3.3 ფოროვანი წნევა და გაჯერების პროფილი კაშხლის საძირკველში (ჩამკეტი კედლის სიღრმეა 1225 მ ზღვის დონიდან)



**ნახაზი 3.3.4** გაჯერების პროფილი კაშხლის საძირკველში და საყრდენებში (ჩამკეტი კედლის სიღრმეა 1225 მ ზღვის დონიდან, მონაკვეთი y=0)

#### 4 სადრენაჟო სისტემის აღწერა

##### 4.1 საძირკველის სადრენაჟო სისტემის მიზანი

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

- კაშხლის საძირკველში ნებისმიერი წყაროდან მომავალი გრუნტის წყლების დრენირება და წყლის იმ ჭაღლების გაფრქვევის უზრუნველყოფა, რომელიც საძირკველის დანალექებსა და კაშხლის ქვაყრილს 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.

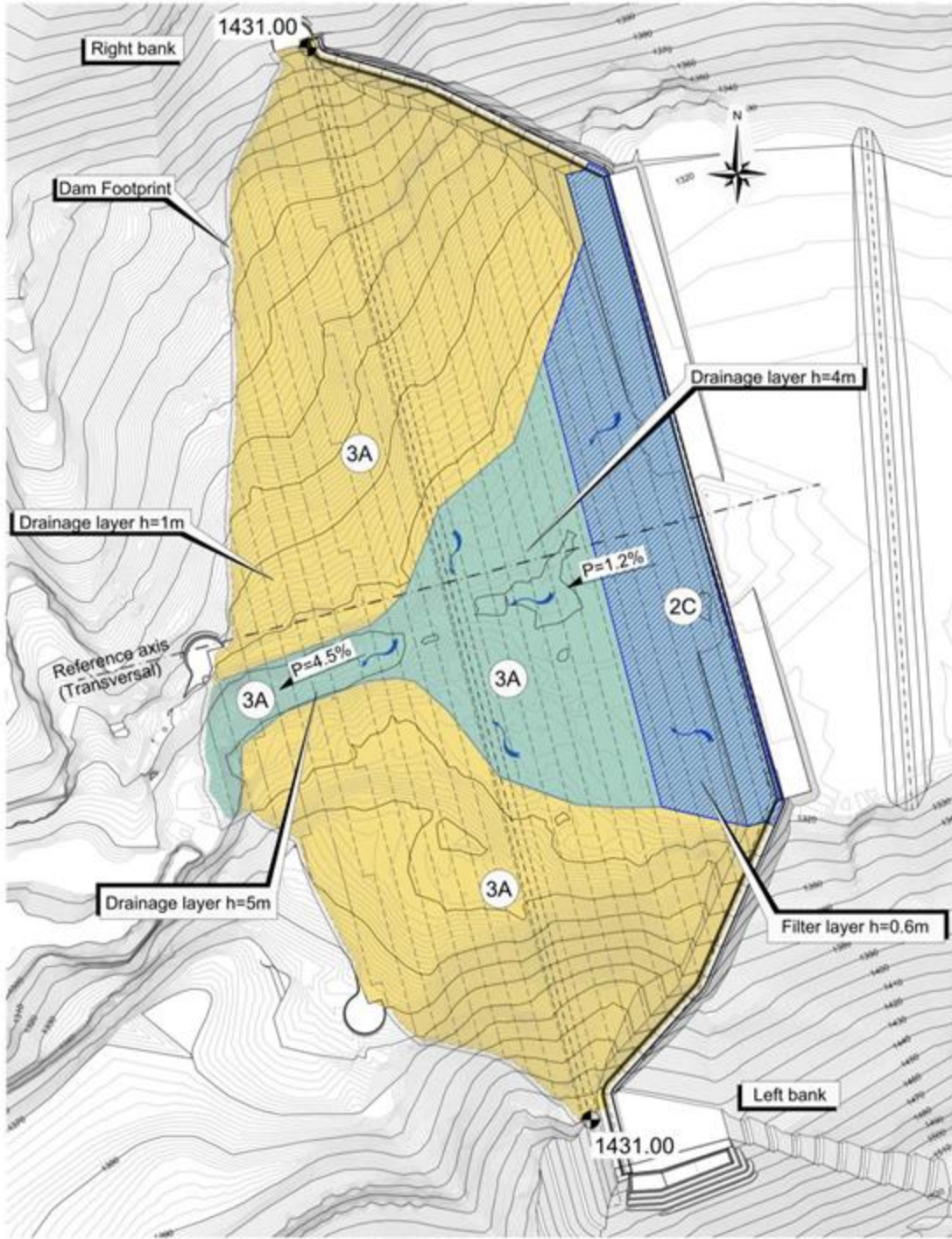


- კაშხლის საძირკველში მჟონავი წყლის დაკავება და სადრენაჟო სისტემაში მოგროვება, მისი შემოწმების და ეკოლოგიურ ნაკადთან შეერთების მიზნით. შესაბამისად, მდინარე ნენსკრაში ჩამდინარე წყლების (0.85 მ<sup>3</sup>/წმ) ნაწილი არის წყალშემკრები სისტემის მიერ შეკრებილი გაჟონილი წყალი და გადასაშვები სარქველის საშუალებით კაშხლის ფსკერულ წყალგამშვებში გასული წყლის ბალანსი.

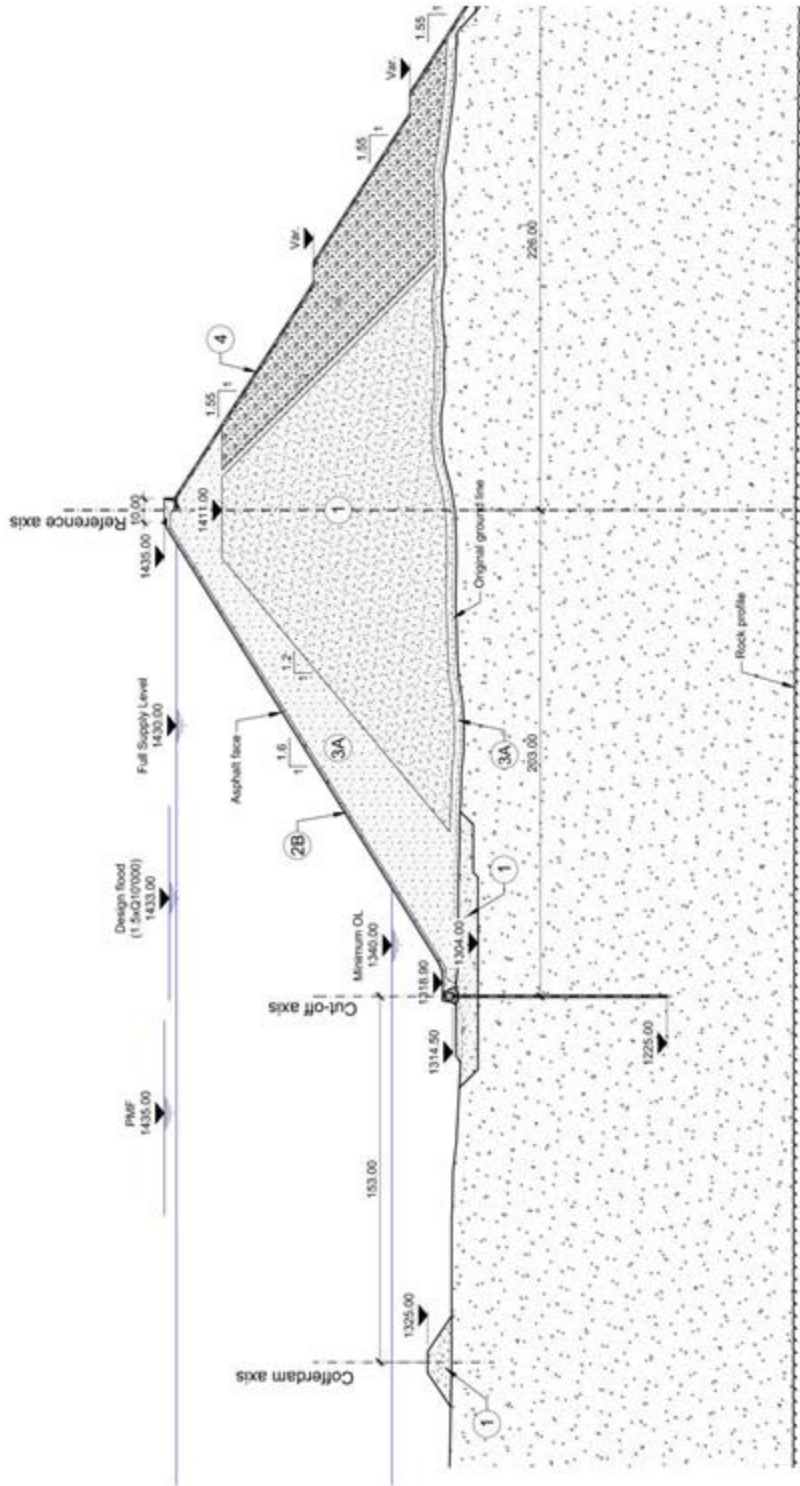
სადრენაჟო სისტემის ზოგადი სქემა წარმოდგენილია ქვემოთ ნახაზებზე (ნახაზებზე - 4.1.1 და 4.1.2 ყველაზე მნიშვნელოვანი ელემენტებია ნაჩვენები):

- L-6768-B-GE-GE-GE-DW-006, პროექტის ზოგადი სქემა, ნენსკრას AFRD და თანმდევი სტრუქტურები
- L-6768-B-CW-DA-GE-DW-002, ნენსკრას კაშხალი, განივი კვეთი ტიპიური 1 - ხეობის ზედაპირი
- L-6768-B-EW-DA-FO-DW-003, ნენსკრას კაშხალი, კაშხლის ზონირება საძირკვლის დონეზე, გეგმის მიმოხილვა

გაჟონვის საწინააღმდეგო და სადრენაჟო სისტემა კაშხლის საძირკვლის ჰორიზონტალური დრენაჟის ნაწილი იქნება (იხილეთ ნახაზები - 4.1.1 და 4.1.2).



ნახაზი 4.1.1 ზემოთ: 3A ტიპის დრენაჟის ძირითადი ფენისა და 2C ფილტრის ფენის გეგმა



ნახაზი 4.1.2 ნენსკრას AFRD - ტიპური მონაკვეთი ხეობის ზედაპირზე დრენაჟის დეტალით

## 4.2 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 4.1.1-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 4.1.1-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.

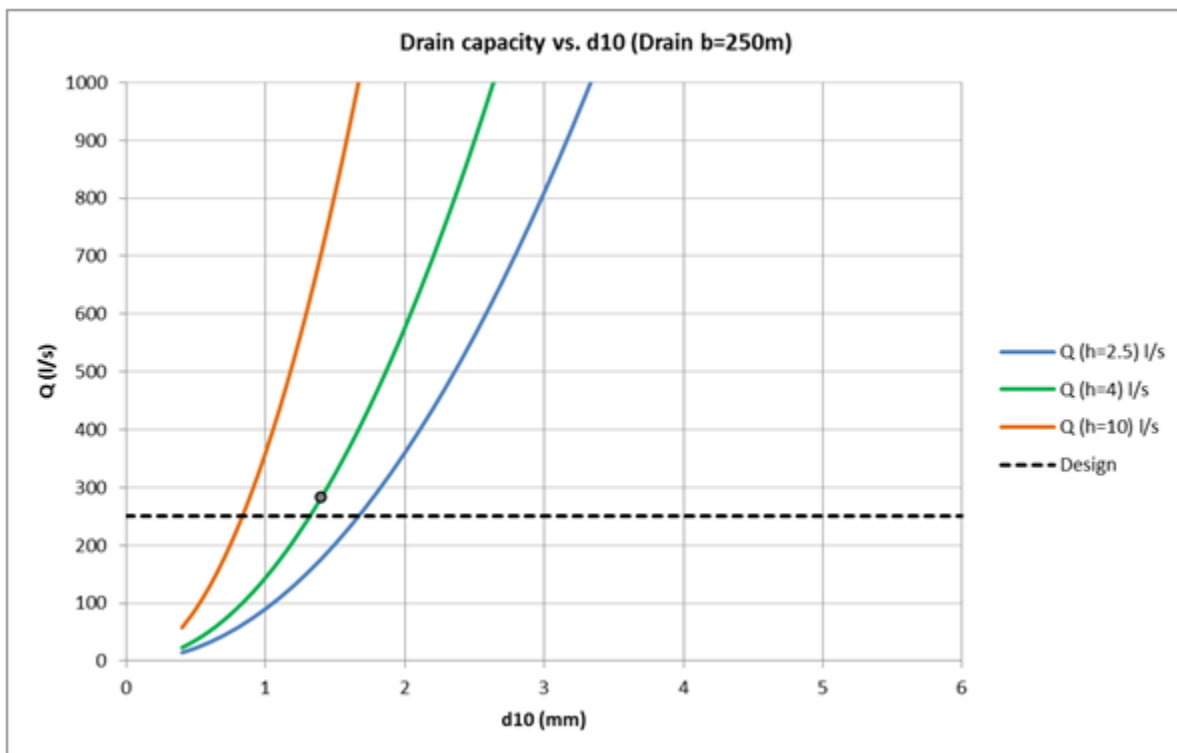
C არის ექსპერიმენტული კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია გრუნტის ტიპზე (0.012 ამ

შემთხვევაში).

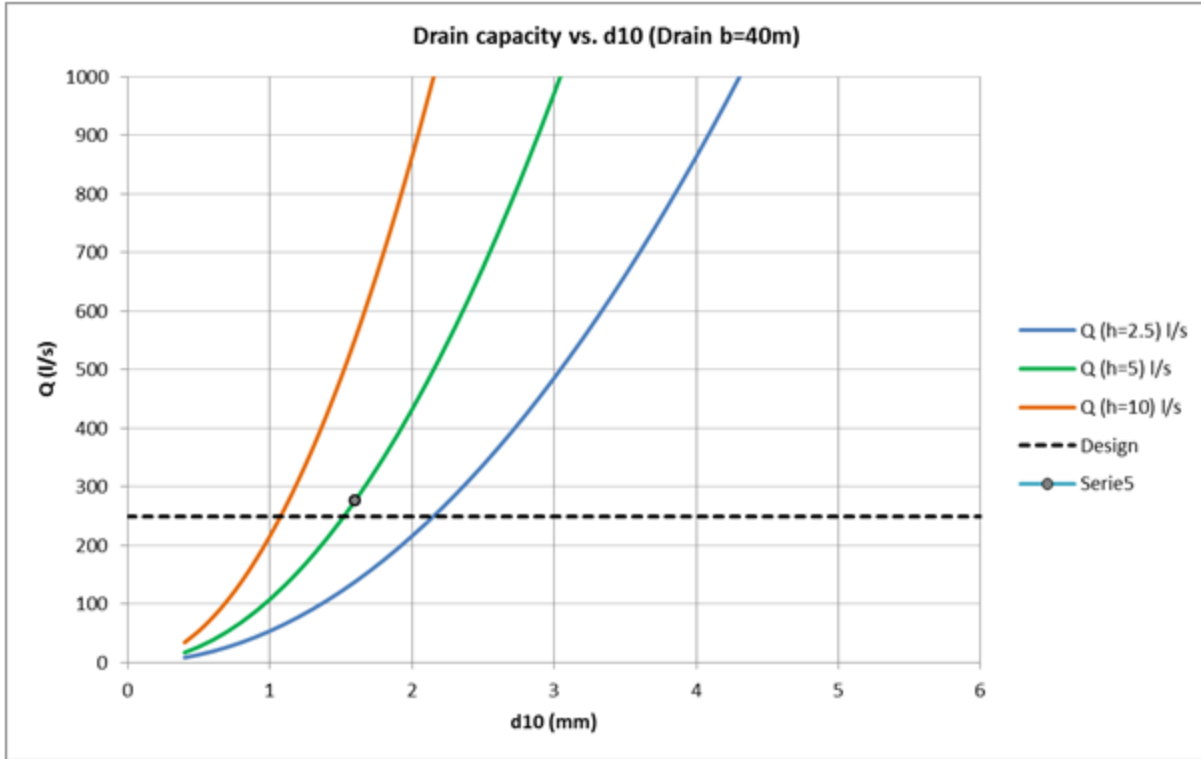
USACE-ის (კაშხლებში გაჟონვის ანალიზი და კონტროლი) მიხედვით, დრენაჟის საპროექტო გამტარობა ( $kC$ ) მინიმუმ 20-ჯერ უნდა გამოითვალოს აღნიშნული განტოლებით, რაც უზრუნველყოფს ფოროვანი წნევის სათანადო გაფრქვევასა და დრენაჟის გამტარუნარიანობას.

ნახაზებზე - 4.2.1 და 4.2.2 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. ცხრილ 4.2.1-ში წარმოდგენილია დიამეტრი და გამტარუნარიანობა, რომელიც საჭიროა საპროექტო დაცლის ევაკუაციისთვის (250 ლ / წმ).

იმის გათვალისწინებით, რომ გრუნტის საძირკველში გაჟონვა დიდწილად შეგროვდება კაშხლის ტერიტორიის ზედა ნაკადის ნახევარში, ზედა და ქვედა მხარეებისთვის შერჩეული საპროექტო დაცლა იგივეა.



ნახაზი 4.2.1 ზედა ტრაქტის დრენაჟის გამტარუნარიანობა



ნახაზი 4.2.2 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 4.2.1** დრენაჟის გაანგარიშებული და საპროექტო გამტარუნარიანობა და დაკავშირებული  $D_{10}$  გამოთვლების შედეგები აჩვენებს მსხვილი დრენირების საჭიროებას, რაც უზრუნველყოფს მთლიანი ჩამდინარე წყლების სათანადო ევაკუაციას. კაშხლის ქვედა ნაწილში, რომელსაც შედარებით მაღალი დაქანება, მაგრამ ვიწრო სიგანე აქვს, საჭიროებს უფრო მსხვილ გადინებას ( $D_{10} = 7mm$ ) ზემოთ მიმართულებით ( $D_{10} = 6mm$ ). თუმცა, იგივე დრენირება ( $D_{10} = 7mm$ ) შემოთავაზებული ზედა და ქვედა მხარეებზე, რომელიც უწყვეტად მიმდინარეობს.

კაშხლის საყრდენებში 3D რიცხვითი მოდელი [3.3] ავლენს გაჟონვის დაბალ მაჩვენებელს. აქედან გამომდინარე, გვერდითი ფერდობებზე წვრილი დრენირება (1 მ) შემოთავაზებული, რაც უზრუნველყოფს შესაძლო გაჟონვის დრენირებას ხსნარის საფარის გავლით, ასევე ზედაპირული / სუბზედაპირული ჩამონადენის გადინებას.

აღსანიშნავია, რომ ჩასაცლელი აუზი წარმოადგენს კაშხლის ძირში ყველაზე დაბალ დონეს და ამ ნაწილში ყველაზე დიდი რაოდენობით გაჟონვა შეგროვდება.

დრენაჟი შედგება 3A ტიპის მასალისგან, ძირითადად, იგივე მასალაა შერჩეული ქვანაყარი ტერიტორიის ზედა ნაწილისთვის. განსაკუთრებული ყურადღება დაეთმობა ამ მასალას, რომლის გრანულომეტრული შემადგენლობის საზღვრები წარმოდგენილია ნახაზ 5.2.3.4-ზე,

რათა ქვიშისა და ხრეშის რაოდენობა შემცირდეს და 10 მმ-ზე მაღალი D<sub>10</sub> შენარჩუნდეს (ბადიანი ფილტრი 3/8).

კარიერის აფეთქების შედეგად მიღებული გრანულომეტრული შემადგენლობა შემოწმდება კარიერის საველე ტესტირებით; ასევე შემოწმდება განთავსების მეთოდოლოგია ქვანაყარის მიხედვით.

## 5 შიდა ეროზია

### 5.1 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 გარეშემო. 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 უკუხევითი 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 გაგრძელდება თუ შეწყდება.
- **პროგრესირება.** შიდა ეროზიის დროს პროგრესირება არის პროცესი, როდესაც ჰიდრაულიკურ 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.

ფელმა და სხვებმა (2008) უზრუნველყვეს ქვანაყარში, გრუნტოვან საძირკვლებში დაქვანაყარიდან საძირკვლამდე წარმოქმნილი შიდა ეროზიის გამოწვევი გარღვევის მექანიზმების ეკრანირება, სხვადასხვა ტიპოლოგიის კაშხლებზე.

მშრალი ქვანაყარის შემთხვევაში, როგორც ნენსკრა AFRD კაშხლის შემთხვევაშია, მთლიანი გაფართოება, კარსტის წარმოქმნა და ქვანაყარში ფერდობის არასტაბილურობა შეიძლება გამოირიცხოს. მშრალი კაშხალი, როგორცაა AFRD ან CFRD, შეიძლება დააზიანოს მხოლოდ საძირკვლეში ან საძირკველსა და ქვანაყარს შორის კონტაქტის შედეგად წარმოქმნილმა შიდა ეროზიამ. ასეთ შემთხვევაში, საძირკველში გაჟღენთის გამო წვეროს დაჯდომა უმთავრეს რისკს წარმოადგენს.

## 5.2 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.



### 5.2.1 კონცენტრირებული გაჟონვა

ქვაცარილის 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 ჰიდრაულიკური მტვრევის დროს მილგაყვანილობის გარშემო დაბალი სტრესის გამო წარმოქმნილ ბზარში ან კაშხლის ზედა ნაწილებში მოხდეს დიფერენციალური დაწვევის გამო.

ეს ფენომენი შეიძლება შეფასდეს ბზარში ჰიდრაულიკური ძვრის ძაბვის განსაზღვრით, რომელიც ლაბორატორიული ტესტებით ადრე განსაზღვრულ კრიტიკულ ძვრის ძაბვასთან შედარდება.

ვინაიდან ამ ტიპის ფენომენი პლასტიკური მასალისგან შექმნილი წყალგაუმტარი ბირთვის მქონე მიწის კაშხლებისთვის არის დამახასიათებელი, ნენსკრა AFRD-ისთვის კონცენტრირებულ გაჟონვასთან დაკავშირებული მექანიზმი შეიძლება გამოვრიცხოთ.

ფენომენი, რომელიც შეიძლება დავაკავშიროთ AFRD-ისთვის გათვალისწინებულ მექანიზმთან, ასფალტის საფარში ბზარის გაჩენაა, მაგალითად, მაქსიმალური საანგარიშო მიწისძვრის შემდეგ. ასეთ შემთხვევაში, გაჟონვას დაბლოკავს დრენაჟის ფენა, რომელიც ბიტუმის ორ ფენას შორის არის განთავსებული (სენდვიჩის სისტემა), და გაჟღენთილი წყალი მოგროვდება საინსპექციო გალერეაში, სადაც მონიტორინგის სისტემა პრობლემის დაუყოვნებლივ შეტყობინებას უზრუნველყოფს. ასეთ შემთხვევაში, დაზიანებული ასფალტის ფენის აღდგენის მიზნით, დაგეგმილია წყლის დონის ნაწილობრივი შემცირება. ნებისმიერ შემთხვევაში, ზედა ნაწილის გვერდულაზე მოწყობილი 3A ტიპის ქვანაცარი შიდა ეროზიისადმი მიდრეკილი არ არის.

### 5.2.2 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 ჰიდრაულიკური გრადიენტები კაშხლის ქვეშ ზედა და უკუ მიმართულებით ნაწილაკებს შლის ეროზიის მცირე არხებით.

უკუხევიითი ეროზიისთვის ოთხი პირობა უნდა არსებობდეს: წყლის გადინების არხი ან წყარო, დაუცველი ან გაუფილტრავი გასასვლელი, წყლის გადინების არხში ეროზიული მასალა და მუდმივი სტაბილური გადახურვის ფორმები, რაც გრუნტის ქვეშა ეროზიას (მილების ფორმირებას) უწყობს ხელს. ეს მექანიზმი განსაკუთრებით საშიშია, რადგან ის ქვედა ჰორიზონტის მილის წყალსაცავის მიმართულებით შექმნას მოიცავს, რამაც შეიძლება დაბინძურებული (ეროზიული) ნაწილაკების გადაადგილება გამოიწვიოს.

უკუხევიითი ეროზიის მილები წარმოიქმნება, როდესაც „ვერტიკალური რხევა“ ან ნულოვანი ეფექტური სტრესული მდგომარეობა ჩნდება გრუნტში ზედა მიმართულებით გაჟონვის

საფუძველზე.

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.

კოვაკსის (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 ხახუნის (რომელიც არ ითვალისწინებს დრენირებულ შეჭიდულობის ძალას). შესაძლებელია ზღვრული წონასწორობის განტოლების ამოხსნა მილის შექმნისთვის გასასვლელის კრიტიკული გრადიენტის მისაღებად:

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

სადაც  $\gamma_b$  არის უკუხვევით 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 ( $\gamma_b = 10$ ,  $\beta = 45^\circ$ ,  $l = 32^\circ$ ,  $\alpha = -80^\circ$ ), კოვაკსის მეთოდით მიიღება კრიტიკული გრადიენტი, რომელიც დახლოებით უდრის 0.55 იმ შემთხვევაში, თუ გაჟონვის კუთხე კაშხლის ძირში არის დაახლოებით  $80^\circ$ .

კრიტიკული გრადიენტის შეფასების სხვა მეთოდები შემოთავაზებულია ICOLD ბიულეტენში B164 [16]: მათ შორის არის სელმეიერი (Sellmeier) (2012წ.), ჰოფმანი (Hoffman) (2013წ.) და შმერთმანი (Schmertmann) (2000წ.) ეს მეთოდები ეფუძნება ექსპერიმენტულ გამოკვლევებს, რომელიც არ მოქმედებს ნენსკრა AFRD-ის კონტექსტში, რადგან მათი ორიენტირია ერთგვაროვნების კოეფიციენტის მქონე გრუნტი 1-3 დიაპაზონში, რაც შორსაა ხეობის ზედაპირზე მოპოვებული Cu სიდიდეებისგან (ნიმუშების უმრავლესობაში  $C_u > 10$ ).

ნახაზ 5.2.2.1-ზე კაშხლის საძირკველში გაჟონვით გამოწვეული ჰიდრავლიკური გრადიენტების რუკა ნაჩვენებია 1-ელ ცხრილში მითითებულ გრუნტის თვისებების მიხედვით. ამ ნახაზში აღინიშნულია, თუ როგორ უტოლდება კაშხლის ძირში ჰიდრავლიკური გრადიენტები ნულს, რაც გამორიცხავს კაშხლის საძირკველში უკუხვევითი ეროზიის რისკს.

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, ჰიდრავლიკური გრადიენტები იზრდება;

ბ) ზემოთ მითითებული ჰიდრავლიკური გრადიენტების სიდიდეები მნიშვნელოვნად არ შეიცვლება მანამ, სანამ დიაფრაგმა არ შეაღწევს ქანში. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ,

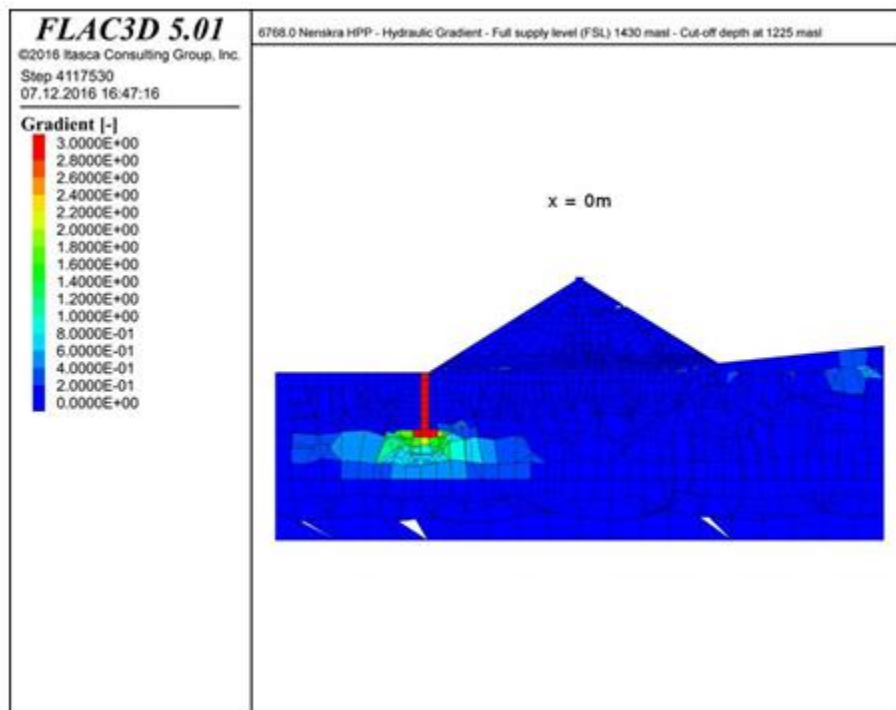
შედარებით ღრმა დიაფრაგმები, თუ ის ქანში არ შედის, უზრუნველყოფს მსგავსი გრადიენტების დიაფრაგმის ბოლოსთან სიახლოვეს. აქედან გამომდინარე, ჩამკეტი ცოკოლის სიახლოვეს გრადიენტების კონტროლის თვალსაზრისით სარგებლიანობა არ არსებობს, თუ დიაფრაგმა უფრო ღრმად შევა;

გ) დიაფრაგმის წვერზე შედარებით მაღალი გრადიენტები კრიტიკულად მნიშვნელოვანი არ არის, რადგანაც ეს გრადიენტები ვლინდება სავლე 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 მოძრაობას, იმაზე მეტყველებს, რომ მექანიზმი სტაბილურია, ანუ ნებისმიერი საწყისი ნაწილაკების მოძრაობა მზარდ წინააღმდეგობას განიცდის;

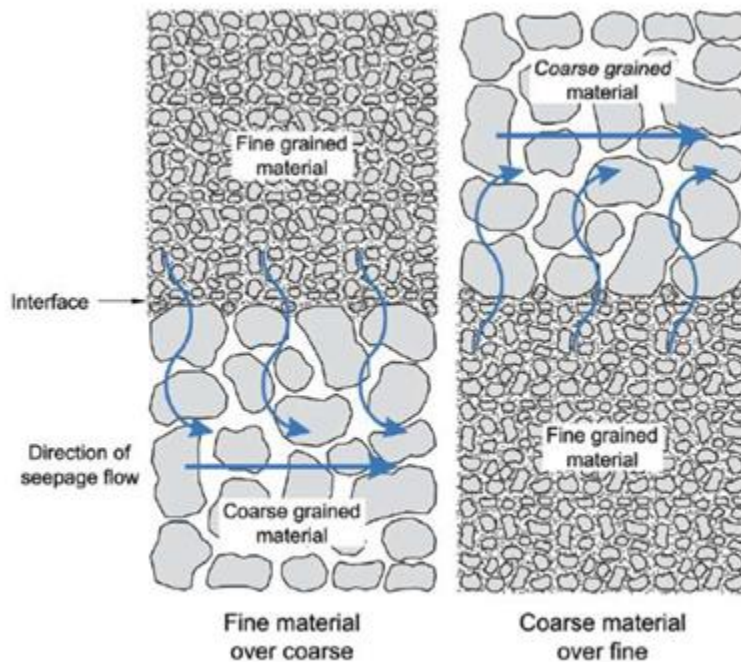
ვ) წყალშემკრები და სადრენაჟო სისტემა ფუნქციონირებას განაგრძობს კაშხლის ქვედა ბოლოში.



**ნახაზი 5.2.2.1** ჰიდრავლიკური გრადიენტი ხეობის ზედაპირზე (ჩამკეტი კედლის სიღრმე 1225 მ ზღვის დონიდან)

### 5.2.3 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 5.2.3.1** წვრილმარცვლოვანი მასალის მიგრაცია მსხვილმარცვლოვან მასალაში ინტერფეისზე პარალელური ნაკადის გამო (USBR)

**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.

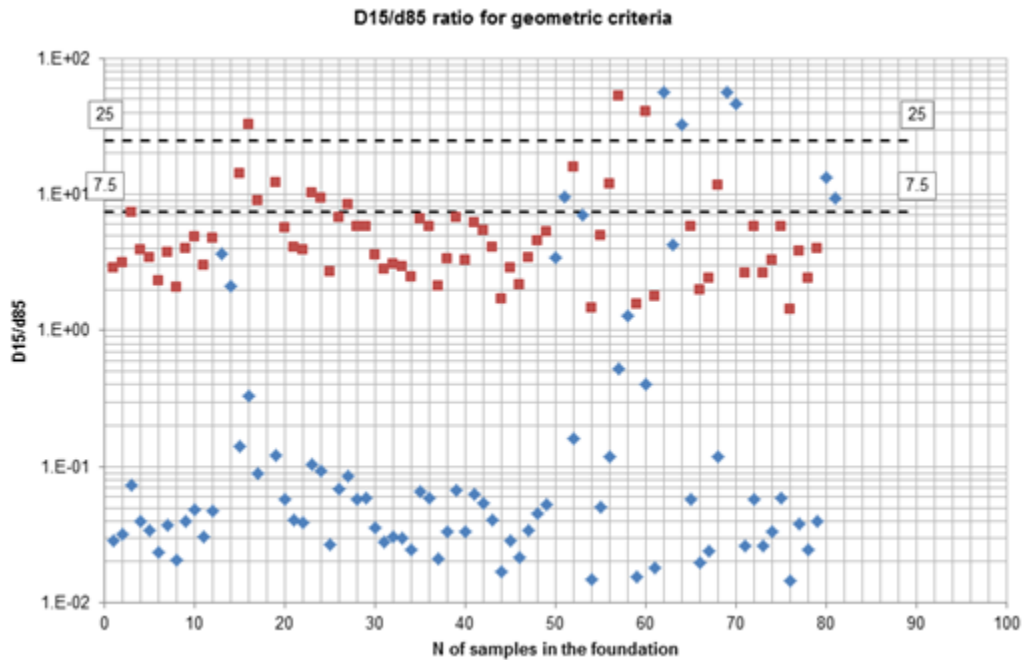
ბრაუნსმა (Brauns) (1985) [7] დაადასტურა, რომ  $D_{15}/d_{85}$  კოეფიციენტი ადგენს კონტაქტური ეროზიის ქცევას (დიდი ასოთი გამოხატულია მსხვილმარცვლოვანი გრუნტი, ხოლო პატარა ასოთი - წვრილმარცვლოვანი გრუნტი). 7.5-ზე ნაკლები  $D_{15}/d_{85}$  კოეფიციენტების პირობებში, კონტაქტური ეროზიის დაწყება ნაკლებად სავარაუდოა,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

რაც შეეხება AFRD სქემას, შეფასება ორიენტირებულია საბაზისო სამირკველსა და სადრენაჟო ფენას შორის კონტაქტზე. ნახაზ 5.2.3.2-ში ნაჩვენებია  $D_{15}/d_{85}$  სიდიდეები. (ალუვიური ქვიშრობისა და ალუვიური კონუსის/კოლოვიური დანალექის ნიმუშები) შედარებულია დრენაჟის 3A ტიპის მასალის  $D_{15}$ -სთან.

ზემოაღნიშნულიდან ნათელია, რომ ნიმუშების უდიდესი ნაწილი გეომეტრიული მდგომარეობის ლიმიტს ვერ აღწევს ( $D_{15}/d_{85} < 7.5$ ), რისთვისაც კონტაქტური ეროზიის რისკი გამორიცხულია ჰიდრავლიკური პირობებისგან დამოუკიდებლად.

ყოველ შემთხვევაში, რადგან მცირე რაოდენობის ნიმუშები ლიმიტს აღემატება, ასევე შეფასდა ჰიდრავლიკური მდგომარეობა.



**ნახაზი 5.2.3.2** ბრაუნის კონტაქტური ეროზიის კრიტერიუმები  $D_{15}/d_{85}$ -ზე დაყრდნობით. სამირკველის 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. სამირკველის მასალის კრიტიკული სიჩქარე ბრაუნის მიერ შემოთავაზებული გამოხატვის მიხედვით (1985) [7] უზრუნველყოფს ქვიშის ხრეშთან კონტაქტის მიახლოებით მნიშვნელობებს:

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

სადაც  $n_F$  არის მსხვილმარცვლოვანი გრუნტის (ხრეში) ფოროვნობა,  $\rho_s$  არის საბაზისო გრუნტის (ქვიშის) ნაწილაკების სიმკვრივე ( $კგ/მ^3$ ),  $\rho_w$  არის წყლის სიმკვრივე,  $g$  არის სიმძიმის ძალის

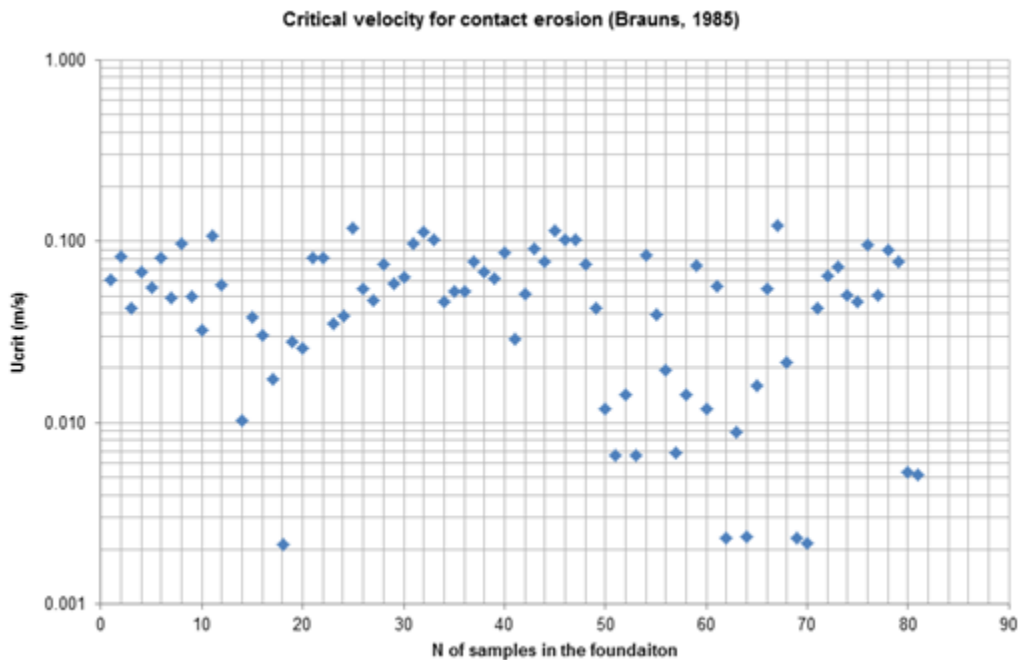
აჩქარება (9.81 მ/წმ<sup>2</sup>), ხოლო  $d_{50}$ - საბაზისო გრუნტის (ქვიშის) მარცვლის საშუალო ზომა. ცხრილ 4.2.3.1-ში მოცემულია საძირკვლის გრუნტის თითოეული ნიმუშისთვის გამოთვლილი კრიტიკული სიჩქარე; ძირითადი ნაწილი მოქცეულია 0.03-0.1 მ/წმ დიაპაზონში.

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 %.

ნახაზი 5.2.3.3-ის შედეგიდან შეიძლება დადგინდეს, რომ გარკვეული რაოდენობის ქულა კრიტიკული სიჩქარის სიდიდეს აღემატება, ამიტომ მიწისზედა მასალის (სადრენაჟო მასალის) შენახვის მახასიათებლები ყურადღებით უნდა შეფასდეს.



**ნახაზი 5.2.3.3** საძირკვლის გრუნტის ნაწილაკების ზომის განაწილება (ჭაბურღილები ზემოთ და ორმოები ქვემოთ) შედარებულია ქვანაყართან

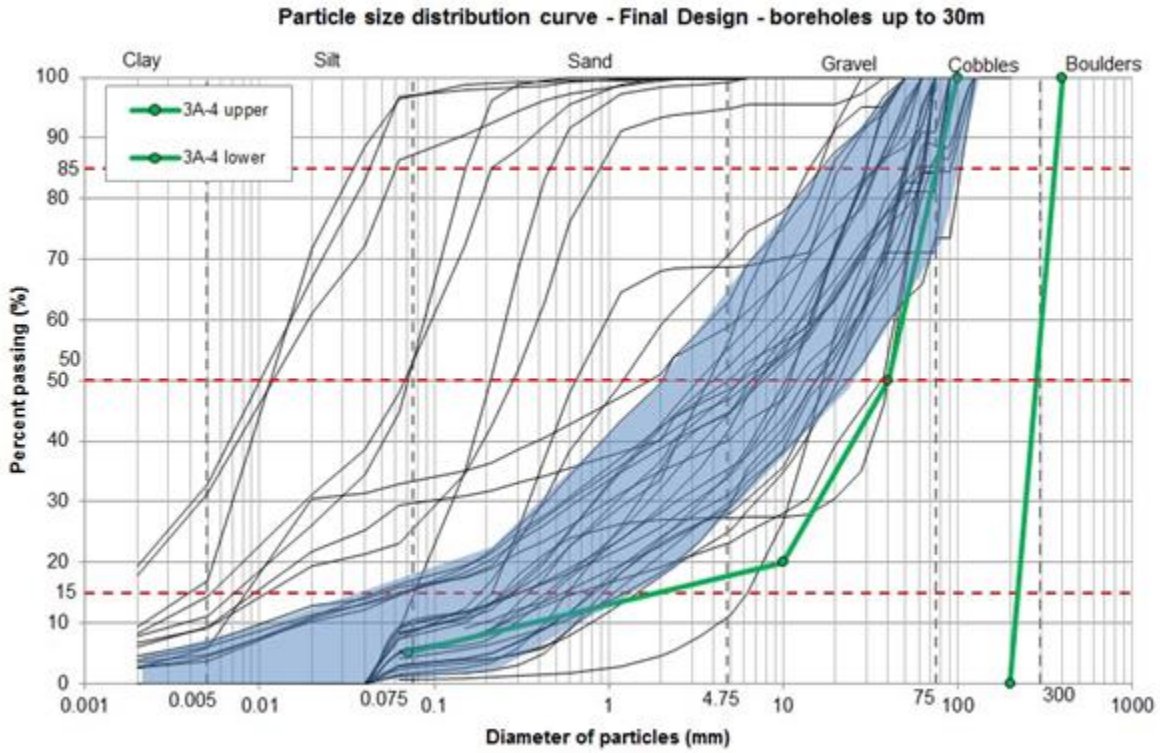
ნახაზ 5.2.3.4-ზე საძირკვლის გრუნტის გრანულომეტრულ შემადგენლობასა (GSD) და დრენაჟის 3A მასალის საპროექტო განაწილებას შორის შედარება არის ნაჩვენები. ზედა ნახაზზე წარმოდგენილია ჭაბურღილის ნიმუშების გრანულომეტრული შემადგენლობა, ხოლო ქვედა ნახაზზე ნაჩვენებია თხრილის ნიმუშების გრანულომეტრული შემადგენლობა. 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.

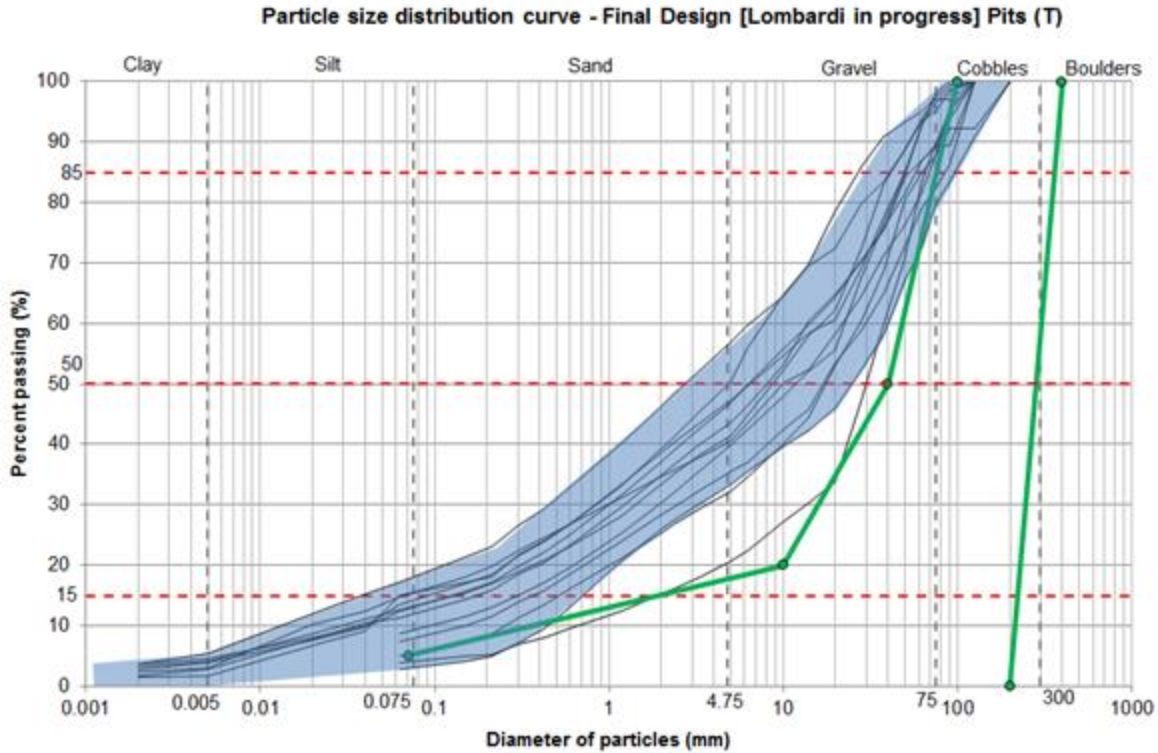
ფილტრაციის კრიტერიუმი შეფასდა საძირკვლის მასალებს შორის, თხრილების ლურჯად

შეფერადებული ზონების და 3A მასალის გათვალისწინებით. განიხილეს სავარაუდო სიდიდეები ყველაზე უარეს პირობებში:

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

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





**ნახაზი 5.2.3.4** საძირკვლის გრუნტის გრანულომეტრიული შემადგენლობა (ჭაბურღილები ზედა, ხოლო თხრილები ქვედა ნახაზზე, ლურჯად შეფერადებულ ზონებში) შედარებულია 3A ტიპის ქვანაყარს (საპროექტო შემადგენლობა არის მწვანე ფერში)

#### 5.2.4 გაჟღენთა

გაჟღენთა ხდება, როდესაც წყალი მიედინება შიდა არასტაბილურ ფართოდ გრადიენტურ ან ფრაქციის გამოტოვებით გრადიენტურ არა პლასტიკურ გრუნტში. გაჟონვის ნაკადი გრუნტის მცირე ნაწილაკებს გადაადგილებს მსხვილმარცვლოვანი ნაწილაკების ფორებში. მსხვილმარცვლოვანი ნაწილაკები არ გადაადგილდება და ეფექტური სტრესები უმეტესწილად მსხვილმარცვლოვანი ნაწილაკების სტრუქტურაში გადადის.

გაჟღენთა იწვევს გამტარიანობის გაზრდას, უფრო დიდი სიჩქარით გაჟონვას, და პოტენციურად უფრო მაღალ ჰიდრავლიკურ გრადიენტებს, რამაც შესაძლოა დააჩქაროს გაჟღენთის ინტენსიურობა. სტაბილური სიტუაციების მიღწევა შეიძლება წვრილმარცვლოვანი ფრაქციით, რომელიც წონასწორობას ინარჩუნებს გაჟონვისგან გამოწვეულ სტრესულ სიტუაციებში.

გაჟღენთა არის შიდა ეროზიის ფორმა, რომლის საშუალებითაც წვრილმარცვლოვანი ნაწილაკები შერჩევით ეროზიას განიცდიან მსხვილმარცვლოვანი ნაწილაკების სტრუქტურიდან. გაჟღენთისადმი მიდრეკილი მასალები „შინაგანად არასტაბილურ“ მასალებად ითვლება. ტიპური შიდა არასტაბილური გრუნტების ორი ტიპი არსებობს: ფრაქციის გამოტოვებით გრადიენტური გრუნტი, რომელშიც ნაწილაკის გრანულომეტრიული შემადგენლობა „ნაბიჯს“ ქმნის და ბრტყელკუდა გრუნტი, რომლის გრანულომეტრიულ

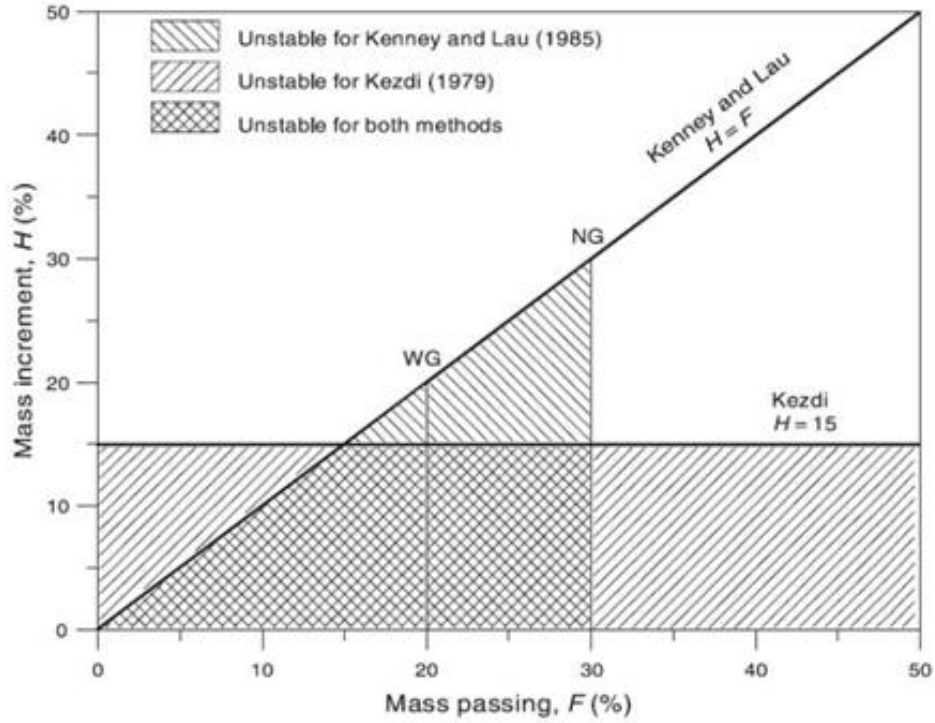


შემადგენლობაში შეიძლება მკვეთრი ცვლილება დაფიქსირდეს. გაჟღენთის პირობა ის არის, რომ წვრილმარცვლოვანი ნაწილაკები მსხვილმარცვლოვანი ნაწილაკების სტრუქტურის ცარიელ სივრცეებში არსებულ შევიწროვებულ მონაკვეთებზე პატარა უნდა იყოს.

რაც შეეხება ამ მექანიზმს, სამი კრიტერიუმი უნდა დაკმაყოფილდეს იმისთვის, რომ მექანიზმი ამუშავდეს, როგორც შეჯამებული აქვს ვან და ფელს (Wan and Fell) (2008წ.) [29]. პირველი ორი არის "გეომეტრიული" კრიტერიუმი და უკავშირდება გრუნტის გრანულომეტრულ შემადგენლობას, ხოლო მესამე "ჰიდრაულიკური" კრიტერიუმია და უკავშირდება ჰიდრაულიკურ ძალებს, რომელიც იწვევს გრუნტის წვრილმარცვლოვანი ნაწილაკების მოძრაობას.

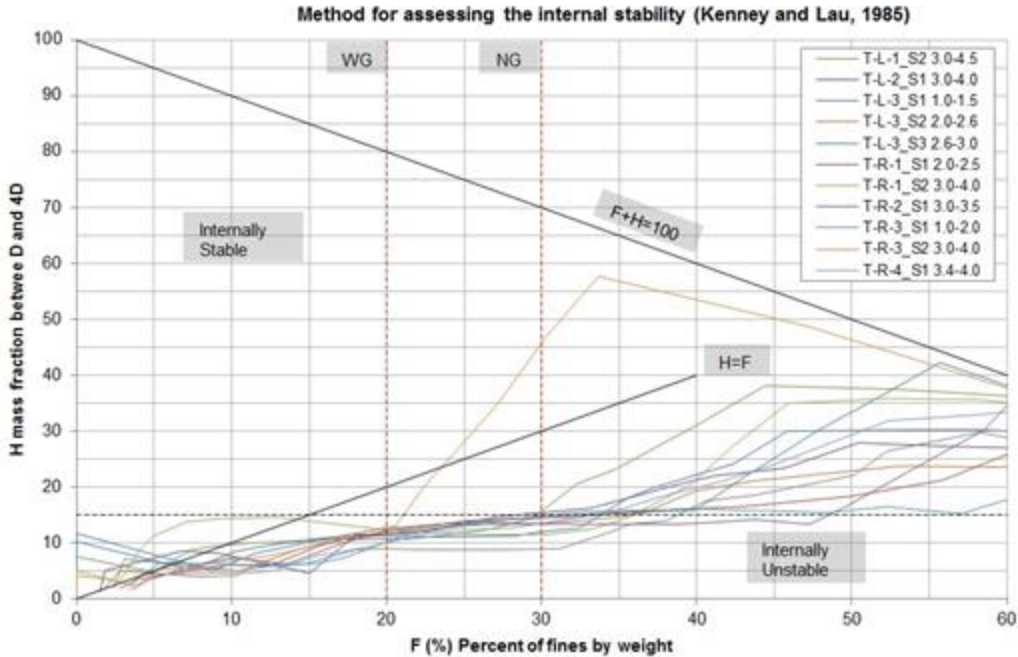
1. გრუნტის ნაწილაკები ზომით მსხვილმარცვლოვან ნაწილაკებს შორის შევიწროვებულ მონაკვეთებზე პატარა უნდა იყოს, რაც ქმნის გრუნტის პირველად ქსოვილს.
2. გრუნტის ნაწილაკების რაოდენობა იმაზე ნაკლები უნდა იყოს, ვიდრე საჭიროა პირველადი ქსოვილის ცარიელი სივრცეების ამოსავსებად.
3. გრუნტის სტრუქტურაში გამავალი ნაკადის სიჩქარე საკმარისი უნდა იყოს იმისათვის, რომ გრუნტის თავისუფალი ნაწილაკები გადაიტანოს გრუნტის უფრო დიდ ნაწილაკებს შორის არსებულ სივრცეებში.

1-ლი და მე-2 კრიტერიუმებისთვის, გათვალისწინებულია კენისა და ლაუს (Kenney and Lau) (1985წ., 1986წ.) მიდგომა. ეს მეთოდი ადგენს F სიდიდეებს, შერჩეული მარცვლის ზომებზე პატარა მასობრივი წილები D სიდიდეს გრუნტისთვის (მიღებულია ჩვეულებრივი ნაწილაკის გრანულომეტრული შემადგენლობიდან) H საპირისპიროდ, 4D-ზე ნაკლებ მასობრივ წილებს. ნაწილაკების გადაადგილებისთვის, D-დან 4D-მდე დიაპაზონში ნაწილაკების მასაში დეფიციტი უნდა არსებობდეს. თუ გრუნტი ნახაზ 5.2.4.1-ზე ( $H < F$ ) საზღვრის მარჯვენა მხარეს არის, ეს გრუნტი შინაგანად არასტაბილურია, თუ ის შეამცირებს წვრილმარცვლოვან ფრაქციას; F, 0.2 არის ფართოდ გრადიენტური გრუნტის, ხოლო F, 0.3 - ვიწროდ გრადიენტური გრუნტის აღმნიშვნელი. მეთოდი შემუშავდა ფილტრაციისა და გარდამავალი ზონებისთვის, რაც ითვალისწინებს 5%-ზე ნაკლები ოდენობის წვრილმარცვლოვანი გრუნტის 0.075 მმ გადინებას.



**ნახაზი 5.2.4.1** კენის და ლაუს (1985წ.) და კეზდის (1979წ.) კრიტერიუმების სინთეზი. NG, ვიწროდ გრადიენტური, WG, ფართოდ გრადიენტური (ლი და ფამინი, 2008წ)

ნახაზ 5.2.4.2-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 5.2.4.2** შინაგანად არასტაბილურობის შეფასება კენისა და ლაუს მიდგომის მიხედვით, რომელიც გამოიყენეს თხრილების 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 ჰიდრაულიკური გრადიენტის ქვეშ,  $i_{cr}$ , ავტორებმა კრიტიკული გრადიენტი,  $i_c$ , განსაზღვრეს ნებისმიერი არასტაბილური გრუნტისთვის, და ეს მაჩვენებელი მიიღეს წვრილმარცვლოვანი ნაწილაკების მიერ განცდილი ეფექტური სტრესის თანაფარდობით

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

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 კოეფიციენტთან 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 ICT-ის ფორმულირება მკაცრად გამოიყენება ვერტიკალური ზედა ნაკადის ღია დაუფარავი ზედაპირისკენ დენადობის პირობებში. განსახილველ შემთხვევაში, თავად კაშხლის მიერ უზრუნველყოფილ დაფარულობას უფრო მაღალი დასაშვებ გრადიენტებამდე მივყავართ.

აქედან გამომდინარე, დიაფრაგმის ბოლოს შეფასებული მაღალი გრადიენტები მნიშვნელოვან პრობლემას არ წარმოადგენს, რადგანაც ეს გავლენას ახდენს მაღალ სიღრმეში მდებარე გრუნტებზე, რომლებიც მკაცრად შეფუთულია. უარეს შემთხვევაში, ეს გრუნტები განიცდის ნაწილაკების ადგილობრივ მიგრაციას კაშხლისთვის რისკის შექმნის გარეშე.

დამატებითი უსაფრთხოების ზომის სახით, საბაზისო ფილტრის ფენა განთავსდება ზედა ბოლოს ქვეშე სამირკვლის გრუნტსა და დრენაჟის 3A მასალებს შორის, 80მ სიგრძეზე.

ფილტრის კონსტრუქცია მომდევნო მუხლში განიხილება.

#### 5.2.4.1 გაჟღენთის რისკის შეფასების ანალიზი

გაჟღენთის ფენომენის შესახებ უფრო ღრმა შესწავლისთვის, გაჟღენთის რისკის შეფასების ანალიზი ჩატარდა შემდეგი საერთაშორისო გაიდლაინების რეკომენდაციების გათვალისწინებით:

- ICOLD B164 (2013) არსებული კაშხლების, ჯებირების და დამბების, ასევე მათი სამირკვლების შიდა ეროზია [16];
- USBR, USACE (2015) კაშხლებისა და ჯებირების უსაფრთხოების რისკის ანალიზის საუკეთესო პრაქტიკა [28];
- Fell R., Foster M., Cyganiewicz J., Sills G., Vroman N., Davidson R. (2009). „შიდა ეროზიის გამო მიწის კაშხლების გაუმართაობის ალბათობის შეფასების და მილგაყვანილობის სახელმძღვანელო დოკუმენტის ერთიანი მეთოდები“, UNICIV ანგარიში, ტომი 1 და 2. (R-446) ახალი სამხრეთ უელსის უნივერსიტეტი [9].

მიუხედავად იმისა, რომ ასეთი ანალიზი, როგორც წესი, გამოიყენება მაღალი დონის სკრინინგისთვის, რომლის დროსაც დგინდება რომელი პოტენციური წარუმატებლობის რეჟიმია მნიშვნელოვანი ან რომელიც ტარდება რისკების სწრაფი შეფასების მიზნით ისე, რომ რისკის შემცირებასთან დაკავშირებული კვლევები და ღონისძიებები პრიორიტეტული გახდეს, მეთოდი სასარგებლოდ მიიჩნევა ფენომენის სრულად გაგების თვალსაზრისით.

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]*

წარუმატებლობის ყოველწლიური ალბათობის შეფასების პროცესი, როგორც გაიდლაინები გვთავაზობს [16] [9], შემდეგ ზოგად ეტაპებს მოიცავს:

ეტაპი 1 - ყველა ინფორმაციის (არსებული და ახალი პროექტის შესახებ ზოგადი ინფორმაცია) განხილვა;

ეტაპი 2 - წარუმატებლობის ყველა პოტენციური ბილიკის იდენტიფიკაცია კაშხლის ტერიტორიაზე, საძირკველში და საძირკვლის ტერიტორიაზე. წარუმატებლობის ყველა შესაძლო ბილიკთან ერთად, საძირკველში შიდა ეროზიის მექანიზმის განსაზღვრა, კერძოდ, საუბარია იმ ეროზიაზე, რომელიც მხოლოდ საძირკველში ან კაშხლის საძირკვლის ეროზიულ ელემენტზე ხდება;

ეტაპი 3 - წარუმატებლობის ყოველი პოტენციური ბილიკის დაშლა მოვლენათა ხეების (დიაგრამის) სახით;

ეტაპი 4 - დატვირთვის დაყოფა და დატვირთვის ალბათობის შეფასება თითოეულ დატვირთულ მდგომარეობაში;

ეტაპი 5 - მოვლენათა ხეზე თითოეული წერტილისთვის პირობითი ალბათობის შეფასება. ამის მიღწევა შესაძლებელია სახელმძღვანელო ცხრილების ან კონკრეტული შეფასებების გზით;

ეტაპი 6 - შიდა ეროზიით გამოწვეული წარუმატებლობის და წარუმატებლობის თითოეული წყაროსთვის მილგაყვანილობის შეუძლებლობის ალბათობის გამოთვლა;

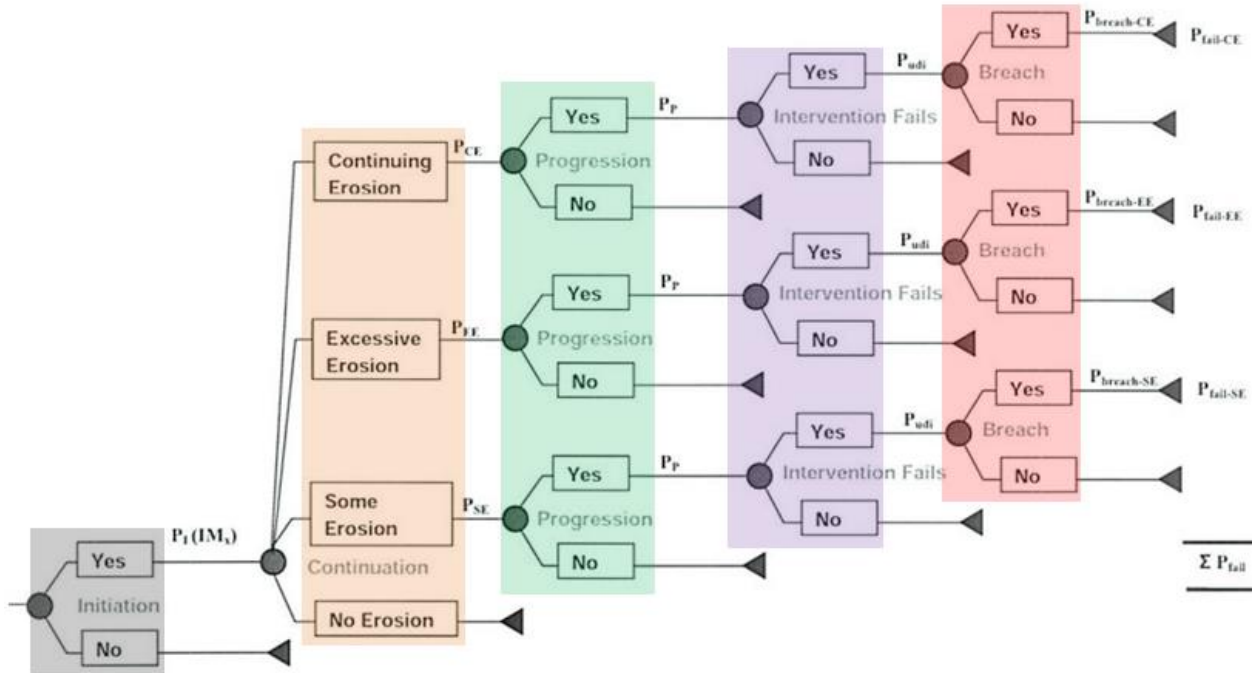
ეტაპი 7 - წარუმატებლობის ყოველწლიური ალბათობის (APF) გამოყენება თანმდევი რისკების ანალიზისა და შეფასებისთვის.

წინა ჩამონათვალში მოყვანილი მოვლენების ხის ანალიზი საყოველთაოდ გამოყენებადი ინსტრუმენტია კაშხლისა და ჯებირის უსაფრთხოების რისკის ანალიზში, რისკის განსაზღვრის, დახასიათებისა და შეფასების მიზნით. მოვლენების ხეზე წარმოდგენილია მოვლენების ლოგიკური განვითარება, რომელიც იწყება თავდაპირველი მოვლენით და გრძელდება მთელი რიგი შედეგებით. მოვლენების ტიპური განვითარება შეიძლება იწყებოდეს თავდაპირველი მოვლენით, რასაც მოჰყვება სისტემის რეაქცია და პოტენციური შედეგები [28].

მოვლენათა ხე შედგება ურთიერთდაკავშირებული კვანძებისა და განშტოებების თანმიმდევრობისგან. თითოეული კვანძი განსაზღვრავს შემთხვევით ცვლადს, რომელიც წარმოადგენს გაურკვეველ ბუნებრივ მოვლენას ან მდგომარეობას. კვანძიდან წარმოქმნილი განშტოებები წარმოადგენენ თითოეული შესაძლო ბუნებრივ მოვლენას ან მდგომარეობას, რომელიც შეიძლება მოხდეს. თითოეული განშტოებისთვის ფასდება ალბათობა, თითოეული სავარაუდო მოვლენის ან მდგომარეობის წარმოსადგენად. ეს ალბათობა პირობითია წინა მოვლენების დადგომისას, რომელიც ხის მარცხენა მხარეს არის წარმოდგენილი. მოვლენათა ხეზე რისკები, როგორც წესი, წლიური მაჩვენებლით გამოითვლება (მაგალითად, წელიწადში რღვევის ალბათობა ან რესურსის შემცირების წლიური მაჩვენებელი), დატვირთვის პირობების დასახასიათებლად წლიური ალბათობის გამოყენებით.

მოვლენათა ხის პირობითი სტრუქტურა შესაძლებლობას იძლევა, რომ მოვლენების ნებისმიერი თანმიმდევრობა გაანგარიშდეს თითოეულ განშტოებაში ალბათობების გამრავლებით. მოვლენათა ხის განშტოებითი სტრუქტურა, რომლის აუცილებელი პირობაა

კვანძიდან წარმოქმნილი ყველა განშტოების ორმხრივი ექსკლუზიურობა და სრულყოფილება, მოვლენათა ნებისმიერი კომბინაციის ალბათობის გაანგარიშების საშუალებას იძლევა (მაგალითად, პოტენციური წარუმატებლობის რეჟიმისთვის სულ წარუმატებლობის ალბათობა) სხვადასხვა განშტოების შეჯამებით.



**ნახაზი 5.2.4.1.1** 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

ქვემოთ შეჯამებულია მოვლენათა ხის რამდენიმე ძირითადი განმარტება [28]:

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

**განშტოების ალბათობა.** განშტოებით 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.

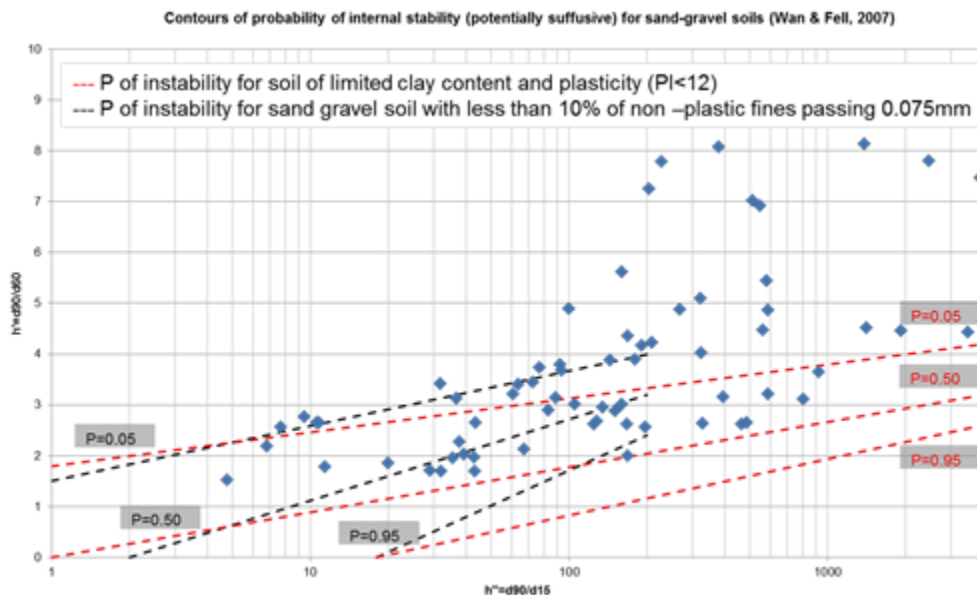
**ბილიკი.** მოვლენათა უნიკალური თანმიმდევრობა, რომელიც წარმოადგენს მოვლენათა კომპლექტს.

**ნახაზი 5.2.4.1.1-ზე** ნაჩვენებია გაჟღერების მექანიზმის ანალიზი. ლოგიკურ ხეზე არჩევითი

კვანძი არის:

- **დაწყების მექანიზმის** შეფასება (ნაცრისფერშიმოვლენათა 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 უკუხევითი ეროზია შეუკავშირებელი გრუნტის საძირკველში და ბზარის ეროზია საძირკველის შეკავშირებულ გრუნტში.

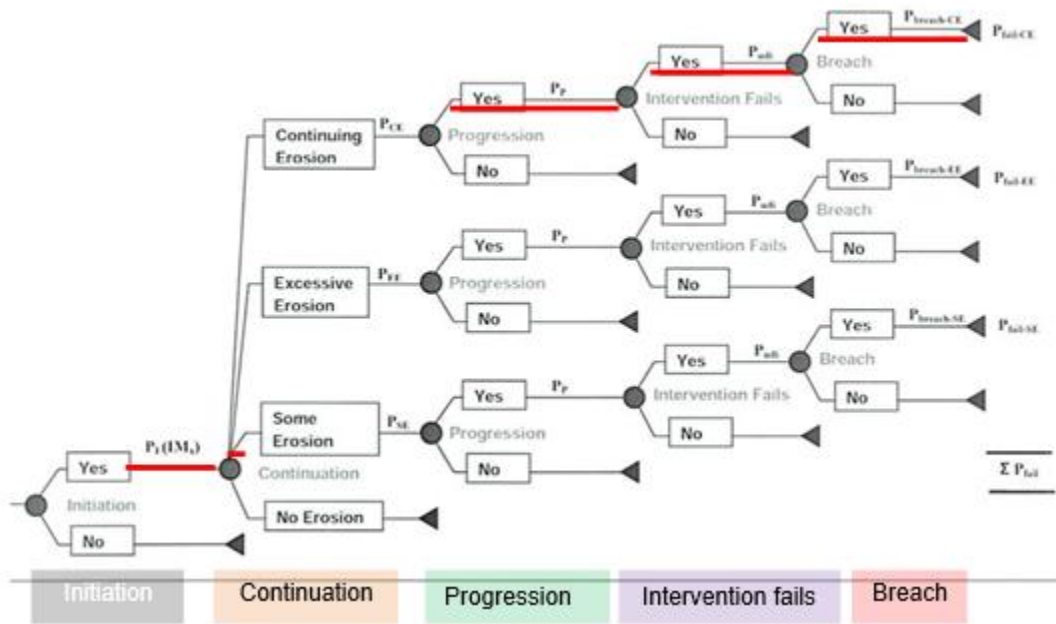
დაწყების ალბათობა შეფასებულია, როგორც შეუკავშირებელი გრუნტის მუდმივი ფენა, რომელიც განსაზღვრავს საძირკველის გრუნტის შიდა არასტაბილურობის ლბათობის დროს. წინა ტერმინი შერჩეულია 1.0 ხეობის ზედაპირის გრუნტის სტრატეგრაფიის გამო, ხოლო ეს უკანასკნელი ტერმინი შეფასებულია როგორც 0.5 გრანულომეტრიული განაწილების მრუდის (GDC) ფორმის საფუძველზე ვან და ფელის (Wan & Fell) მეთოდით (2007წ.), რომელიც ნაჩვენებია ნახაზ 5.2.4.1.2-ზე. თითოეული კვანძისთვის მინიჭებული სიდიდეები ასევე შეჯამებულია ნახაზ 3.2.4-ზე.



**ნახაზი 5.2.4.1.2** შიდა არასტაბილურობის შეფასება Wan & Fell (2007წ.) მეთოდის მიხედვით

- საძირკველში შიდა ეროზიის **გაგრძელების** ალბათობის შეფასება (ნარინჯისფერში მოვლენათა ხეზე). გაგრძელების ალბათობა დაკავშირებულია იმ სცენარის ალბათობასთან, რომლიც გაჟონვის ნაკადის გასასვლელი გაუფილტრავი რჩება. მოცემულ შემთხვევაში, სცენარია „საძირკველის ფილტრის ჰორიზონტალური დრენირება, რომელიც პირდაპირ ასწევს ეროზიას დაქვემდებარებულ საძირკველის მასალას“ (საძირკველის 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, საერთაშორიო რეკომენდაციებით აღიარებული ერთაერთი მექანიზმია გარესაფარის გამოცვლა ან ჩამოხსნა. ფაქტორები, რომელიც ამ პარამეტრზე ახდენს გავლენას, არის ქვანაყარის ხარისხი, ქვედა ფერდოს სისველე და წყლის დონის ფაქტობრივი მომატება.



**ნახაზი 5.2.4.1.3** მოვლენათა ხის სტრუქტურა. წარუმატებლობის შეფასების ალბათობისთვის გამოყენებული ბილიკი ნაჩვენებია წითელ ფერში

ზემოთ მითითებული პროცედურა და თითოეული სიდიდის შედეგები შეჯამებულია ცხრილ 5.2.4.1.1-ში.

მოვლენათა ხის განშტოება	სიმბოლო	იმ ფაქტორის აღწერა რომელიც გავლენას ახდენს თითოეულ განშტოებაში ალბათობის	პროცედურა
-------------------------	---------	--	-----------



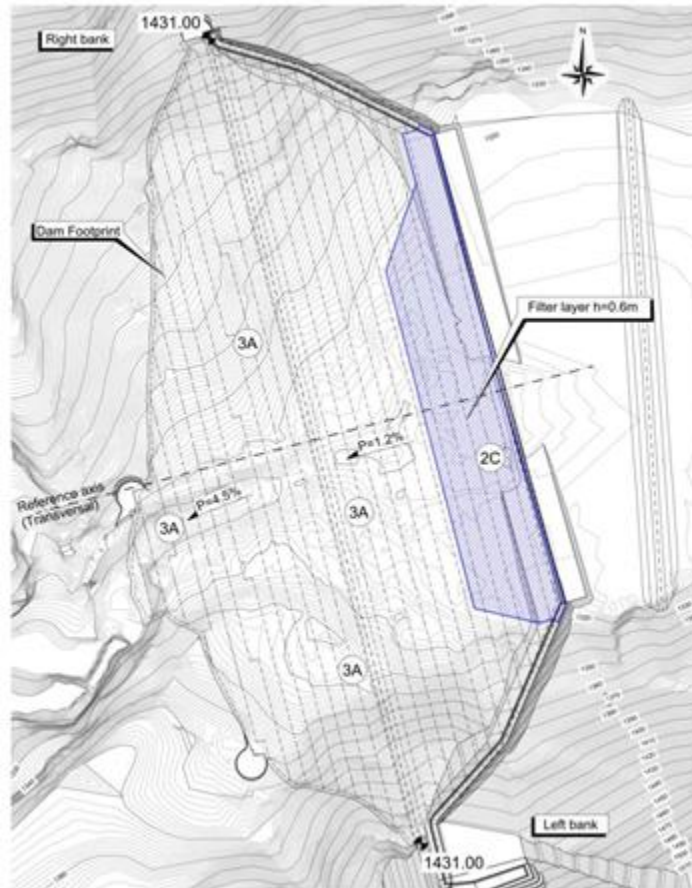
დაწყების მექანიზმი	$P_I$	<p>გაჟღენტის დაწყების ალბათობა:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- მუდმივი ფენის არსებობა (<math>P_{CL}</math>)</li> <li>- შიდა არასტაბილურობის შეფასება (<math>P_{IUS}</math>)</li> </ul>	$P_I = P_{CL} \times P_{IUS} = 1.0 \times 0.5 = 0.5$
გაგრძელება	$P_{CE}$	<p>ეროზიის 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>- თვალსაჩინო 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>	$P_{UDI} = P_{NOL} + [(1 - P_{NOL}) \times P_{ND} + (1 - P_{NOL}) \times (1 - P_{ND}) \times P_{UI}] =$ $0.8 + [(1 - 0.8) \times 0.1 + (1 - 0.8) \times (1 - 0.1) \times 0.8] = 0.8 + [0.02 + 0.14] = 0.96$
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 5.2.4.1.1** შიდა ეროზიის ალბათობის შეფასების შეჯამება საძირკვლის გრუნტის გაჟღენტის შემთხვევაში, საერთაშორისო რეკომენდაციების შესაბამისად, 21-ე ნახაზზე არსებული ბილიკის მიხედვით. თითოეული ალბათობის შეფასება განხორციელდა [9]-ში მოცემული მეთოდისა და ცხრილების გამოყენებით

წარუმატებლობის ალბათობა შეიძლება შევიტანოთ USACE-ის მიერ შემოთავაზებულ წარუმატებლობის კატეგორიაში [28]: "დისტანციური: ყოველწლიური წარუმატებლობის ალბათობა 1/1,000,000-ზე უფრო დისტანციურია. რამდენიმე მოვლენა ერთდროულად ან სერიებად უნდა მოხდეს რომ წარუმატებლობა გამოიწვიოს, და მათი უმეტესობა, თუ ყველა არა, უმნიშვნელო ალბათობით ხასიათდება ისე, რომ წარუმატებლობის ალბათობა უმნიშვნელოა". ძირითადად შემდეგი ფაქტორები ახდენენ გავლენას გამოთვლაზე: ზედა ბარიერის არსებობა, რომელიც ზღუდავს ნაკადს და მისი საიმედოობა, ამ ტიპის გრუნტის უუნარობა სახურავის შენარჩუნებაზე და ნაკადის გაუფილტრავი გასასვლელის დისტანციური სიტუაცია.

### 5.3 საბაზისო ფილტრის პროექტი

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, საბაზისო ფილტრის ფენა განთავსდება საძირკვლის გრუნტსა და 3A სადრენაჟო მასალას შორის, ზედა ფსკერის ტერიტორიაზე, ჩამკვეტ 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 5.3.1-ზეა ნაჩვენები.



ნახაზი 5.3.1 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) კრიტერიუმი  $D_{15}/d_{85} < 4$  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 „ქვიშისა და ხრეშის ფილტრების გრადაცია“-ში (ეროვნული საინჟინრო სახელმძღვანელო, ნაწილი 633, 1994 და 2015წწ.) შემოთავაზებული პროცედურის მიხედვით, შერარდისა და დანინგანის (Sherard and Dunningan) (1985, 1989წწ.), ასევე და ტერზაღისა და პეკის (Terzaghi & Peck) (1948წ.) მიდგომების საფუძველზე.

ფილტრაციის პროექტი განხორციელდა თხრილის ნიმუშების ნაწილაკების გრანულომეტრული შემადგენლობის (PSD) გათვალისწინებით; ტიპური მრუდი განიხილება როგორც საძირკვლის გრუნტის ნიმუში. საძირკვლის ყველა არსებულ გრანულომეტრულ შემადგენლობას (PSD) და საშუალო მრუდს შორის შედარება ნაჩვენებია ნახაზ 5.3.2-ზე (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 5.3.1-შია შეჯამებული. ნახაზ 5.3.2-ზე ნაჩვენებია ფილტრის ზოლი, ხოლო მისი სიდიდეები შეჯამებულია ცხრილ 5.3.2-ში.

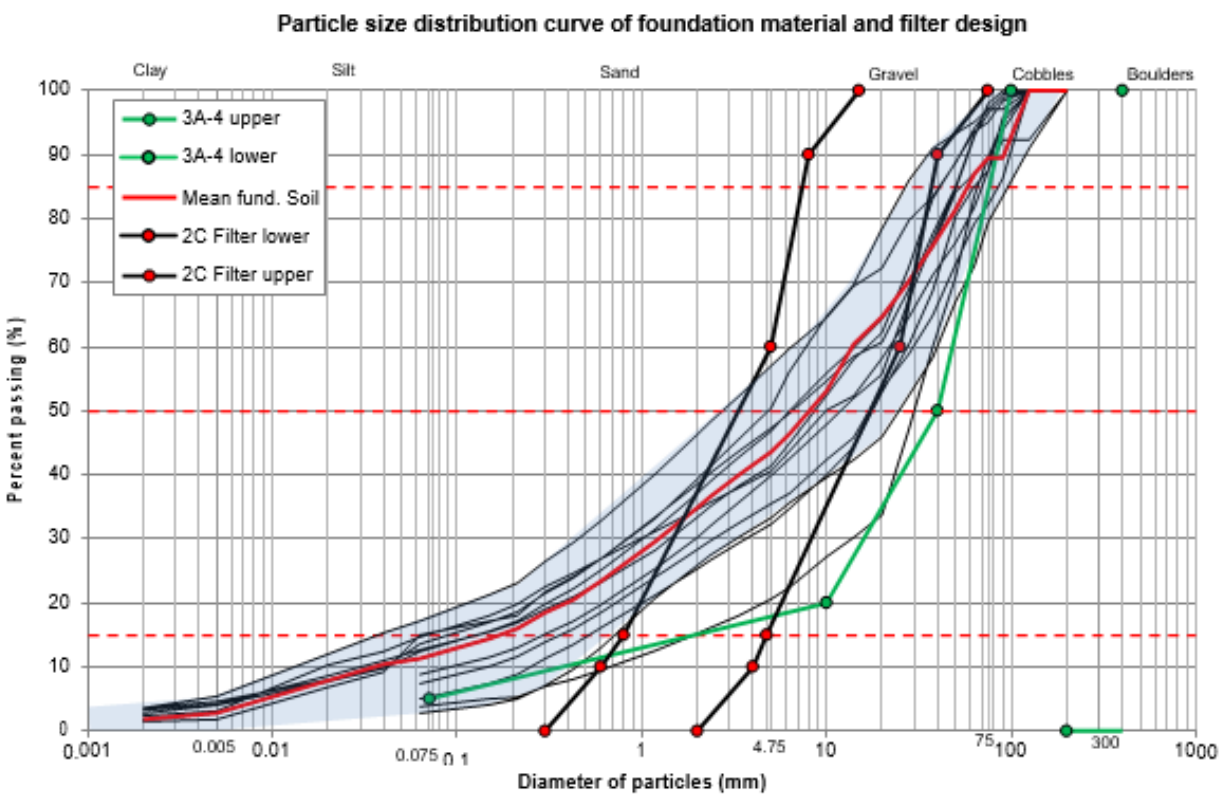
ფილტრის კრიტერიუმები	განგარიშება გრანულომეტრული შემადგენლობის პარამეტრებზე	შედეგები
----------------------	---	----------

<p><b>შეკავება/ფილტრაცია</b> D<sub>15,MAX</sub> (ზედა ზღვარი)</p>	<p>საბაზისო გრუნტის კატეგორია 3 ხელახალი შეფასების შემდეგ: n°200 ბადიან ფილტრზე უფრო წვრილმარცვლოვანი გრუნტის (0.0.75მმ) 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 A = 28 მმ (n°200 ბადიანი ფილტრის გავლით)</p>	<p>საკონტროლო წერტილი 1</p>
<p><b>გამტარობა</b> D<sub>15,MIN</sub> (ქვედა ზღვარი)</p>	$D_{15,MIN} > 4 \cdot d_{15} = 4 \cdot 0.2 = 0.8 mm$ <p>d<sub>15</sub> მიუთითებს თავდაპირველი გრანულომეტრული შემადგენლობის საბაზისო გრუნტზე</p>	<p>საკონტროლო წერტილი 2</p>
<p><b>რამდენიმე ფრაქციის გამოტოვებით ფილტრაციის თავიდან აცილება</b> ფილტრის ზოლი C<sub>U</sub>  ფილტრის ზოლის კოეფიციენტი D<sub>10MAX</sub> and D<sub>60MAX</sub></p>	<p>ფილტრის ლიმიტი C<sub>U</sub> (ერთიანობის კოეფიციენტი) 6-ზე ნაკლები უნდა იყოს. ფილტრის ზოლის მაქსიმალურ და მინიმალურ სიდიდეებს შორის მაქსიმალური კოეფიციენტი უნდა იყოს 5-ზე ნაკლები.</p> $D_{10,MAX-TRIAL} = \frac{D_{15}}{1.2} = 4.1 mm \quad D_{60,MAX} = 6 \cdot D_{15} = 25 mm$	<p>საკონტროლო წერტილი 3 და 4</p>
<p><b>ნაწილაკის მაქსიმალური და მინიმალური  ზომა</b> ფილტრის ზოლის ზღვრები D<sub>5,MIN</sub> and D<sub>100,MAX</sub></p>	$D_{5,MIN} = 0.075 mm \quad D_{100,MAX} = 75 mm$	<p>საკონტროლო წერტილი 5</p>
<p><b>სეგრეგაცია</b> კავშირი D<sub>90,MAX</sub> and D<sub>10,MIN</sub></p>	$D_{10,MIN-TRIAL} = D_{15,MIN}/1.2 mm$ $D_{90,MAX} = 25 \text{ if in the range } 0.5 \div 1.0 mm$	<p>საკონტროლო წერტილი 6 და 7</p>

**ცხრილი 5.3.1** 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

ფილტრის 2C ქვედა საზღვარი		ფილტრის 2C ზედა საზღვარი	
ბადიანი ფილტრის დიამეტრი (მმ)	გამავლობა (%)	ბადიანი ფილტრის დიამეტრი	გამავლობა (%)
0.30	0.0	2.00	0.0
0.60	10.0	4.00	10.0
0.85	15.0	4.75	15.0
4.75	60.0	25.00	60.0
8.00	90.0	37.50	90.0
16.00	100.0	75.00	100.0

ცხრილი 5.3.2 ფილტრის ზოლის ზედა ნაწილი



ნახაზი 5.3.2 ფილტრის 2C ნაწილაკის გრანულომეტრული 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 ჰიდრავლიკური 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. წყალსაცემი აუზი წარმოადგენს კაშხლის ფუძეზე ყველაზე დაბალ დონეს და გაჟონილი წყლის უმეტესობა ამ ნაწილში შეიკრიბება.
- სადრენაჟო ფენა, რომელიც ძირითადად ზონის 3A მასალისაგან შედგება, ორ ფუნქციას შეასრულებს: საყრდენებიდან წამოსული გრუნტის წყლის დრენირება და კაშხლის საძირკველში გაჟონილი წყლის ბლოკირება. საბაზისო დრენირების საჭირო სიმძლავრის გარანტირების მიზნით (კაშხლის ტერიტორიაზე წყლის დონის ამღლების თავიდან აცილებით), 3A მასალის წვრილმრაცვლოვანი შემადგენლობა შემოწმდება წარმოების პროცესში.
- 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: ჰიდრავლიკური გრადიენტები კაშხლის ძირში ნულს უტოლდება; ამით კაშხლის საძირკველის ქვეშ უკუხევითი ეროზიის რისკი გამოირიცხება.
- კონტაქტური ეროზია: 3A სადრენაჟო მასალა პასუხობს შეკავების კრიტერიუმებს,

რასაც ვერ ვიტყვით საძირკვლის 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, საძირკვლის გრუნტსა და დრენაჟს შორის.

რისკის შეფასების ანალიზი ჩატარდა ალბათობების მოვლენების ხის ანალიზის საფუძველზე, ICOLD B164, USBR, USACE და Fell და სხვების გაიდლაინების მიხედვით. ამ ანალიზმა აჩვენა, რომ კაშხლის წარუმატებლობის გაანგარიშებული ალბათობა შეესაბამება USACE-ის მიერ შეთავაზებული ალბათობის კატეგორიას [28] „დისტანციური“.

ამ ანალიზის საფუძველზე, შეიძლება დავასკვნათ, რომ კაშხლის გრძელვადიანი დაცვა შიდა ეროზიისგან/გრუნტისქვეშა ეროზიისგან (მილების ფორმირებისგან) გარანტირებულია.

პროექტი ასევე ითვალისწინებს, რომ საძირკველის ქვეშ არსებულმა საბაზისო დრენაჟმა შეძლოს საკმარისი რაოდენობის ჩამდინარე წყლების გატარება, საძირკველში გაჟონილი წყლის დრენირების მიზნით; ჩამდინარე წყლების შეკრება ეკოლოგიურად მნიშვნელოვანია.

მინუსიო, 2016 წლის დეკემბერი

Ing. M. Agosti, Ing. G. Coret, Ing. C. Cremer  
Ing. A. Balestra, Dr. Ing. R. Bremen

დანართი „ა“  
2C ფილტრის პროექტი



### Particle size distribution curve of foundation material and filter design

