

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
სამშენებლო ფაკულტეტი

ახალნორვეგიული მეთოდით მშენებარე
მიწისქვეშა ჰიდროტექნიკური ნაგებობების
სიმტკიცის ანალიზი ღირებულების
მინიმიზაციისა და საიმედოობის
უზრუნველყოფის პირობებში

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
საგრანტო პროექტი №41

ნომინაცია - გამოყენებითი

პროექტის ხელმძღვანელი:

ზურაბ გედენიძე

პროექტის მენეჯერი:

ვიტალი დვალიშვილი

თბილისი
2011

სარჩევი

შესავალი	3
1. გვირაბების გაყვანის ახალავსტრიული და ახალნორვეგიული მეთოდები და მათი რეალიზება ჰიდროტექნიკური გვირაბების მშენებლობისას	5
2. მტკვარი ჰესის სადაწნეო დერივაციული გვირაბი	11
3. ახლად გამოიშვაკებული გრუნტის მასივის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ანალიზი.	16
4. გვირაბის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ანალიზი სამთო წნევისა და მოკეთების საკუთარი წონის გათვალისწინებით.	26
5. გვირაბის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ანალიზი მოკეთების საკუთარი წონისა და ჰიდროსტატიკური წნევის გათვალისწინებით.	39
6. გვირაბის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ანალიზი დატვირთვების სრული კომპლექსის (სამთო წნევები, მოკეთების საკუთარი წონა და ჰიდროსტატიკური დაწნევა) გათვალისწინებით.	49
დასკვნები.	58
ლიტერატურა	59

შესავალი

ჰიდროტექნიკური გვირაბების დაპროექტება და მშენებლობა კლდოვან ქანებში რთული საინჟინრო და, ამავე დროს, სპეციფიკური ამოცანა არის. ეს სპეციფიკურობა გამოიხატება იმაში, რომ ძირითად სამშენებლო მასალას გვირაბების გაყვანისას წარმოადგენს არა ბეტონი, არამედ თვით კლდოვანი ქანები. მათი ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები, ფენათა განლაგება, აგრეთვე გრუნტის წყლების ხასიათი ხშირად ბოლომდე გაურკვეველია და თავს იჩენს მხოლოდ გვირაბის გაყვანისას. ამ გაურკვეველობებისგან გამოწვეული პრობლემების გადალახვა, როგორც წესი, ხდება უშუალოდ მშენებლობის პროცესში. სწორედ ამიტომ, გვირაბის გაყვანისა და მოკეთების მეთოდების სწორი შერჩევა ინჟინრების უმთავრესი ამოცანაა.

ბუნებრივია, საქართველოში დღემდე ჰიდროტექნიკური გვირაბების დაპროექტება და მშენებლობა მიმდინარეობდა და დღესაც მიმდინარეობს იმ ნორმატივების მიხედვით, რომლებიც საბჭოთა კავშირში შემუშავდა. ამ ნორმატივების ბოლო ვერსია იყო СНиП 2.06.09-84 [1].

ხსენებულ ნორმატივებში არ არის ასახული თანამედროვე ტექნოლოგიებით აგებული გვირაბების ანგარიშები. კერძოდ, არ არის ჩამოყალიბებული ახალავსტრიული და ნორვეგიული მეთოდებით აგებული ჰიდროტექნიკური გვირაბების დაპროექტებისადმი მიდგომა.

ხსენებული მეთოდების უგულვლყოფის ერთ-ერთი მიზეზია ამ მეთოდების გამოყენებით ასაგები ნაგებობების დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის პრაქტიკულად შეუსწავლევლობა. მათი უსაფრთხო ექსპლუატაცია კი განპირობებულია მათივე სიმტკიცით და საიმედოობით, რომლებიც აუცილებლად უნდა დასაბუთდეს თანამედროვე საანგარიშო მეთოდებით.

პროექტის ძირითადი მიზანია საქართველოში მიწისქვეშა ჰიდროტექნიკური ნაგებობების მშენებლობის პროცესში პროგრესული ნორვეგიული მეთოდის გამოყენების მიზანშეწონილობის დასაბუთება. ხსენებული მეთოდის გამოყენება საქართველოს მიწისქვეშა ჰიდრომშენებლობაში ჯერ არ მომხდარა, თუმცა, როგორც საერთაშორისო პრაქტიკა ადასტურებს, ის უდავოდ ყველაზე მოწინავეა თანამედროვე ჰიდრომშენებლობაში. ამ მეთოდის მიხედვით მიწისქვეშა

გამონამუშევრის ბეტონირება, ახალავსტრიული მეთოდის ანალოგიურად, ხდება შხეფბეტონის გამოყენებით, მაგრამ ტრადიციული ბეტონის ნაცვლად გამოიყენება ე.წ. ფიბროფოლადბეტონი, რომელშიც ფიბროფოლადის დანამატი ფაქტიურად არმატურის როლს ასრულებს. გარდა ამისა, მეთოდს სხვა ტექნოლოგიური ხასიათის თავისებურებებიც გააჩნია, რომლებიც აგრეთვე იქნება გათვალისწინებული პროექტის რეალიზებისას. მეთოდის დანერგვა საშუალებას მოგვცემს მოვახდინოთ კაპიტალდაბანდების მინიმიზება ნაგებობის მაღალი საიმედობის შენარჩუნებით.

აღნიშნული მიზნის მისაღწევად თანმიმდევრულად იქნა განხილული შემდეგი ძირითადი ამოცანები:

- ახლად გამომუშავებული გრუნტის მასივის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ანალიზი და ჩამონგრევის თაღის სავარაუდო ზონების დადგენა;
- რეალური ჰიდროტექნიკური გვირაბის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ანგარიში გრუნტის მასივთან ერთად;
- ნაგებობების მოკეთების კონსტრუქციის შერჩევა მაღალი სიმტკიცის ფიბროფოლადიანი ნაშხეფბეტონების გამოყენებით;
- პრაქტიკული რეკომენდაციების დამუშავება პროგრესული ნორვეგიული მეთოდით აგებული გვირაბების ანგარიშების ჩასატარებლად.

პროექტის შედეგები საშუალებას მოგვცემს შესამჩნევად შევამციროთ მიწისქვეშა ჰიდროტექნიკური ნაგებობების მშენებლობის ვადები და სამუშაოების შრომატევადობა ტრადიციულ მეთოდებთან შედარებით და, ამავე დროს, შენარჩუნდეს მაღალი საიმედობა.

1. გვირაბების გაყვანის ახალავსტრიული და ნორვეგიული მეთოდები და მათი რეალიზება ჰიდროტექნიკური გვირაბების მშენებლობის დროს

მიწისქვეშა ჰიდროტექნიკური ნაგებობები მიეკუთვნება სამთო ტიპის ჰიდროკვანძების განსაკუთრებულად საპასუხისმგებლო ობიექტებს. როგორც წესი, კაპიტალდაბანდების მნიშვნელოვანი ნაწილი მსხვილი ჰიდროკვანძების მშენებლობაში მოდის სწორედ მიწისქვეშა ნაგებობებზე. ამავე დროს, ჰიდროელექტროსადგურების მშენებლობის ხანგრძლივობა პრაქტიკულად განისაზღვრება მიწისქვეშა ნაგებობების მშენებლობის ხანგრძლივობით. სწორედ ეს ორ ფაქტორი (მშენებლობის ღირებულება და ვადები), უფრო სწორად, მათი მაღალი მაჩვენებლები წარმოადგენს პრობლემის არსს ჩვენს პირობებში. საქმე იმაშია, რომ საქართველოში მიწისქვეშა ნაგებობები (კონკრეტულად გვირაბები) კვლავინდებურად შენდება კონსერვატულად, ქარგილების გამოყენებით, მაშინ, როდესაც ჯერ კიდევ XX საუკუნის სამოციანი წლებიდან მსოფლიოში წარმატებით გავრცელდა ე.წ. ახალავსტრიული მეთოდი, რომელიც ითვალისწინებს გვირაბების მოსახვას ნაშხეფბეტონით ქარგილების გარეშე. ამ მეთოდით მშენებლობა საგრძნობლად იაფდება და სრულდება გაცილებით შეკუმშულ ვადებში. ახალავსტრიული მეთოდის ლოგიკური გაგრძელება გახდა ე.წ. პროგრესული ნორვეგიული, ანუ ახალნორვეგიული მეთოდი, რომელიც ითვალისწინებს ნაშხეფ ბეტონში ფიბროფოლადის დამატებას არმირების ეფექტის მისაღებად და სხვა ტექნოლოგიურ სიახლეებს.

მოკლედ განვიხილოთ ორივე ზემოდნახსენები მეთოდი.

ახალავსტრიული მეთოდი

გვირაბების გაყვანის ახალავსტრიული (NATM - The New Austrian Tunneling Method) ანუ შხეფ-ბეტონით მათი მოპირკეთების მეთოდი (SCL – Sprayed Concrete Lining Method) დამუშავდა გასული საუკუნის 50-ანი წლების ბოლოსა და 60-ანი წლების დასაწყისში პროფესორ ლადისლავ ფონ რაბცევიჩისა (Ladislaw von Rabcewicz) და

მისი კოლეგების ლეოპოლდ მიულერის (Leopold Müller) და ფრანც პაჩერის მიერ (Franz Pacher) [2]. გვირაბის გაყვანის ხსენებული მეთოდი განსაკუთრებით ეფექტურია სუსტი და ნახევრადკლდოვანი ქანების შემთხვევაში.

მეთოდის არსი მდგომარეობს იმაში, რომ მაქსიმალურად იყოს გამოყენებული გვირაბის გამონამუშევრის გარემომცველი ქანების ბუნებრივი სიმტკიცე თვით გვირაბის დასაცავად.

როგორც ცნობილია, სამთო წნევა, რომელიც წარმოიშობა ძირითადად გვირაბის თაღში და კედლებში, გვირაბის გახსნის შემდეგ პირველ ხანებში უფრო ინტენსიურად იზრდება, ვიდრე შემდგომ პერიოდში, რომლის განმავლობაში ხდება მისი სტაბილიზაცია.

ამ პროცესის ხელშეწყობისათვის ახალავსტრიული მეთოდი ითვალისწინებს დაახლოებით 25-30 მმ სისქის ტორკრეტის მიშხეფებას გვირაბის პერიმეტრზე გაყვანისთანავე და, საჭიროებისამებრ, ანკერული ჩამაგრებების გამოყენებას. ამ მიშხეფებულ ფენას თვით ლ. რაბცვეიჩი “დამხმარე თაღს” (“Auxiliary Arch”) უწოდებს. დეფორმაციების სტაბილიზაციის შემდეგ ეწყობა გვირაბის მოკეთების შიგა რგოლი, რომელიც ასევე შეიძლება შხეფ-ბეტონით გაკეთდეს და იყოს საჭიროების შემთხვევაში, არმირებული.

ყოველივე ზემოთქმულიდან გამომდინარე, შეიძლება ითქვას, რომ გვირაბების გაყვანის ახალავსტრიული მეთოდი შემდეგ პრინციპებს:

- გვირაბის გარემომცველი ქანების სიმტკიცის გამოყენება გვირაბის ჩამონგრევისგან დასაცავად;
- შხეფბეტონის გამოყენება გვირაბის პირველად გასამაგრებლად
- გვირაბის დეფორმაციებზე მუდმივი დაკვირვება თანამედროვე აპარატურის საშუალებებით;
- პირველადი შხეფბეტონის თხელი ფენის გამაგრება ანკერჭანჭიკებით, არმატურის ბადით და ფოლადის წიბოებით.

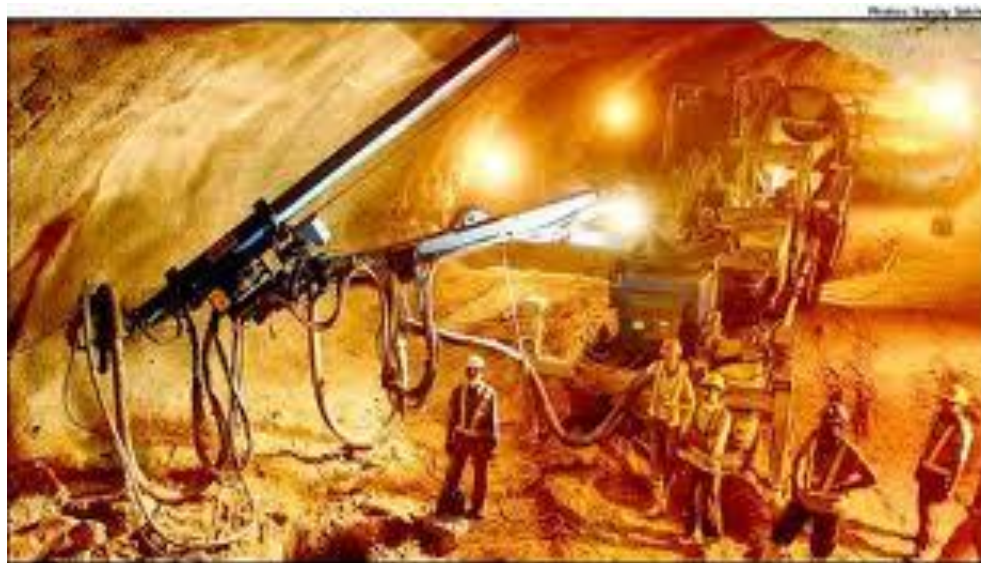
საინტერესოა ის, რომ თვით “ინჟინრებისა და არქიტექტორების ავსტრიული ასოციაცია”, სადაც წარმოიშვა ეს მეთოდი, მის არსს მოკლედ შემდეგნაირად აყალიბებს: *“ახალავსტრიულ მეთოდში გვირაბის გარემომცველი კლდოვანი ქანები ან არაკლდოვანი გრუნტები აღიქმება, როგორც ერთი მთლიანი წრიული ფორმის საყრდენი კონსტრუქცია. ეს დასკვნა ეყრდნობა გვირაბის გარემომცველი*

ქანების დაძაბული მდგომარეობის ანალიზს, რომელი აჩვენებს, რომ ამ ქანებს თვით გააჩნიათ საკმარისი საწყისი სიმტკიცე იმისათვის, რომ “ღაიცვას თავისი თავი” ჩამონგრევისაგან”.

ნახ.1 და ნახ. 2-ზე ნახვენებია ინტერნეტრესურსებიდან მოპოვებული ორი ფოტო, რომელიც ასახავს ახალავსტრიული მეთოდის რეალურად გამოყენების პროცესს.



ნახ. 1-1. გვირაბის გაყვანა ექსკავატორის საშუალებით



ნახ. 1-2. შხეფბეტონის გამოყენება გვირაბის გამაგრებისას

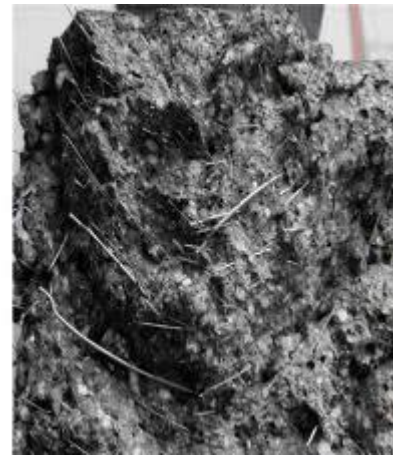
ახალავსტრიული მეთოდით მეთოდით, გარდა სატრანსპორტო გვირაბებისა, ბევრი ჰიდროტექნიკური გვირაბია განხორციელებული. მაგალითისთვის შეიძლება მოვიყვანოთ ავსტრიაში კაუნერტალის (Kaunertal) ჰიდროენერგეტიკულ სქემით განხორციელებული 70 მ სიგრძის და დაახლოებით 4 მ დიამეტრის სადაწნეო ჰიდროტექნიკური გვირაბი, რომელიც უკვე თითქმის 50 წელია შეუფერხებლად ფუნქციონირებს. რამოდენიმე ჰიდროტექნიკური გვირაბი აქვს განხორციელებული ავსტრიაშივე კომპანია “ტიროლერ ვასერკრაფტ“-ს (Tiroler Wasserkraft A.G. Prutz-Imst). ახალავსტრიული მეთოდით არის გაყვანილი ლოდანო-მოსანიო (Lodano-Mosagno) ჰიდროტექნიკური გვირაბი მდ. მაგიაზე (Maggia) შვეიცარიაში და ა.შ. ამჟამად ჩინეთში შენდება 200 კმ სიგრძის და 4,8 მ დიამეტრიც პინგლუს უდაწნეო გვირაბი (Pinglu Tunnel) ძალიან სუსტი გრუნტების პირობებში.

ნორვეგიული მეთოდი

გვირაბების გაყვანის ნორვეგიული მეთოდი (NMT), რომელსაც ხშირად პროგრესულ ნორვეგიულ ან ახალნორვეგიულ მეთოდს უწოდებენ, პრინციპულად არ განსხვავდება ახალავსტრიული მეთოდისაგან. ეს მეთოდი, როგორც განსაზღვრავს თვით ნორვეგიის გვირაბმშენთა ასოციაცია, არის სისტემა, რომელიც ეფუძნება ცოდნას, გამოცდილებას, მოქნილ გადაწყვეტილებებს და რისკის ურთიერთგანაწილებას. ნორვეგიული მეთოდი, განსხვავებით ახალავსტრიული მეთოდისაგან, შხეფბეტონებში იყენებს ფიბროფოლადის დანამატებს, რომლებიც შესამჩნევად აუმჯობესებს ბეტონის თვისებებს, განსაკუთრებით გაჭიმულ ზონებში (ნახ. 1-3).

თანამედროვე პრაქტიკა მიანიშნებს იმაზე, რომ გამაგრებული (ბოჭკოებით ან ფოლადით არმირებული) ნაშხეფ-ბეტონის სარტყელებს (RRS) შეუძლიათ ჩაანაცვლონ გვირაბის ტრადიციული მოკეთებანი განსაკუთრებულად სუსტი კლდოვანი ქანების შემთხვევაში. ეს მტკიცდება ასეულობით პრაქტიკული მაგალითით. ბოლო 15 წლის განმავლობაში ნორვეგიულ გვირაბებში ტრადიციული ჩამოსხმული ბეტონის ნაცვლად ბევრ შემთხვევაში გაკეთდა ბოჩკოებით ან ფოლადით არმირებული ნაშხეფ-ბეტონის სარტყელები.

გვირაბების გაყვანის ნორვეგიულ მეთოდი გამოიჩინა თანამედროვე ტექნოლოგიების და მანქანა-დანადგარების ფართო გამოყენებით. მაგალითად, ამ მეთოდით გვირაბის გაყვანისას გამოიყენება ოპერატორის მიერ მართული რობოტები, რომლებიც ახდენენ ბეტონის მიშხეფვას გამონამუშევრის ზედაპირზე.



ნახ. 1-3. ფიბროფოლადის ნიმუშები და ბეტონის ნიმუშები ფიბროფოლადის დანამატებით

ფიბროდანამატების გამოყენებით საკმარისი ხდება მხოლოდ ერთი ფენა ტორკრეტის გამოყენება, რაც ტრადიციული ბეტონის თაღის ღირებულების მხოლოდ ორ მესამედს შეადგენს.

ნორვეგიის გვირაბშენთა ასოციაციის მონაცემებით ნაშხეფბეტონებით გვირაბების მოკეთება, ტრადიციულ მონოლითურ რკინაბეტონის მოკეთებასთან შედარებით, საშუალებას იძლევა სამუშაოთა შესრულების ვადები შემცირდეს დაახლოებით ორჯერ, ხოლო სამუშაოთა ღირებულება 20-დან 50%0დგ. მაგალითისთვის შეიძლება მოვიყვანოთ ჰიდროკვანძი ინდოეთში მდ. თეესტაზე ქ. სიქიმთან ახლოს, სადაც გათვალისწინებული იყო სადაწნო გვირაბის (L=17კმ, D=9,5მ) მოპირკრთება ტრადიციული მეთოდით 30 სმ სისქის რკინაბეტონის კონსტრუქციით. ნორვეგიული მეთოდის გამოყენებით გვირაბის მოკეთება შესრულდა ძირითადად ნაშხეფბეტონის გამოყენებით. კერძოდ, გვირაბის სიგრძის 56% მოკეთებული იქნა მინიმალური სისქის (50 მმ) ნაშხეფბეტონით, 17% ანკერული გამაგრებით და (50-90) მმ ნაშხეფბეტონით, 22% კი (100-150) მმ ფიბრონაშხეფბეტონით და მხოლოდ 5% ტრადიციული მეთოდით.

ცხრ. 1-ში მოყვანილია კიდევ ართი მაგალითი ნორვეგიული მეთოდის უპირატესობისა. მასში მოცემულია რკინაბეტონით ტრადიციული მოკეთებისა და ფოლადის ბოჭკოებით არმირებული ნაშხეფბეტონით მოკეთების დანახარჯების შედარება ვანჯუნჰუის (Wanjunhui) სარკინიგზო გვირაბის გაგალითზე (ერთი გრძივი მეტრი)

ცხრილი 1

მოკეთების ტიპი	გრუნტის გამოღება		მუღმივი სამაგრი		დროებითი სამაგრი		საყალიბო სამუშაო	ანკერებით გამაგრება		jamuri Rirebule ba USD
	მოც.	ფასი	მოც	ფასი	მოც.	ფასი	ფასი	რაოდენობა	ფასი	
tradiciuli	98.4	2232	14.05	1367	1.81	93	47	68.63	72	3811
naSxef betoni	84.1	1906	4.15	635	0			183.52	193	2734

როგორც ვხედავთ, ამ შემთხვევაში, ნორვეგიული მეთოდის გამოყენება დაახლოებით 1000 დოლარით ამცირებს 1 გრძივი მეტრი გვირაბის ღირებულებას ტრადიციულ მეთოდთან შედარებით.

გარდა ამისა, ფოლადის ბოჭკოებით არმირებული ნაშხეფბეტონი აუმჯობესებს ტრადიციულ ბეტონის შემდეგ თვისებებს [3]:

- საწყისი სიმტკიცე $\uparrow 50 \%$
- სიმტკიცე კუმშვაზე $\uparrow 20 \%$
- სიმტკიცე გაჭიმვაზე $\uparrow 30 \%$
- სიმტკიცე გაჭიმვაზე ღუნვის დროს $\uparrow 100 \%$
- სიმტკიცე გაჭიმვაზე ხლეჩვის დროს $\uparrow 65 \%$
- დინამიკური სიმტკიცე $\uparrow 2000 \%$

ნორვეგიული მეთოდის ფართოდ გავრცელებაში თავისი როლი შეასრულა კლდოვანი ქანების კლასიფიკატორმა, ანუ ე.წ. Q – სისტემამ, რომელიც შექმნეს ნორვეგიის გეოტექნიკური ინსტიტუტის სპეციალისტებმა [4]. ეს სისტემა ეხმარება ინჟინრებს ზუსტად ამოირჩიონ კლდოვანი ქანების გამაგრების ტიპი და ხარისხი ყოველი კონკრეტული პროექტისათვის კონკრეტულ გეოლოგიურ პირობებში. სწორედ ხსენებული Q – სისტემა და ფიბროფოლადის ტორკრეტი წარმოადგენს იმ თავისებურებას, რომელიც ნორვეგიულ მეთოდს განასხვავებს ახალავსტრიული მეთოდისაგან.

2. მტკვარი ჰესის სადაწნეო დერივაციული გვირაბი

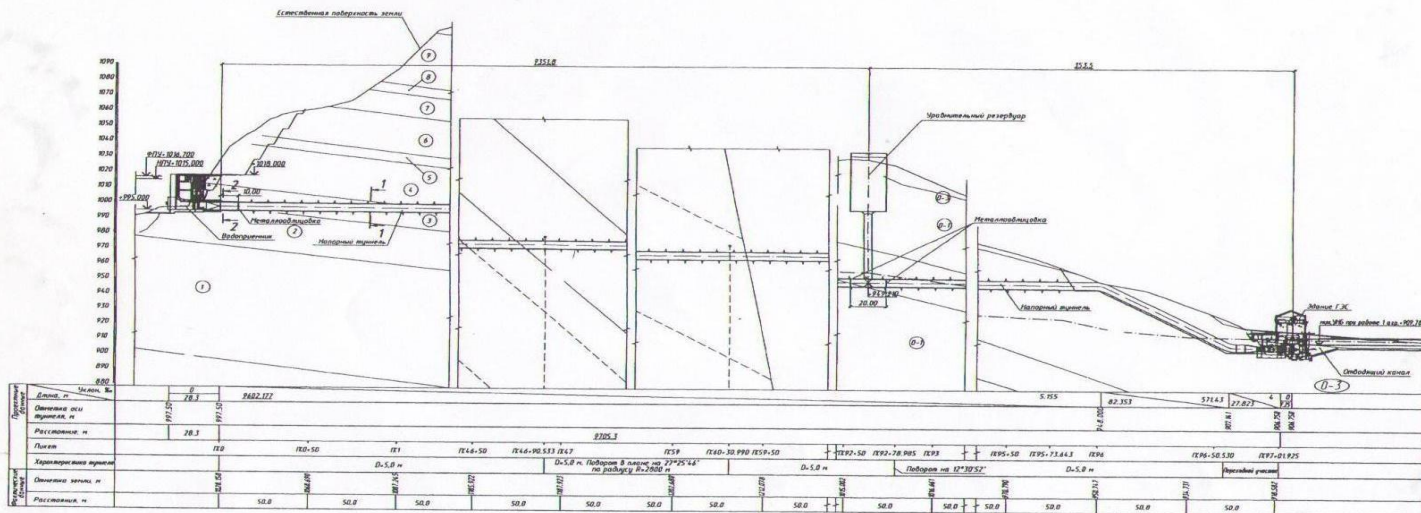
პროექტის ძირითადი მიზნის მისაღწევად, შესასწავლ ობიექტად აღებული იქნა მშენებარე მტკვარი ჰესის $L=9,6$ კმ სიგრძის სადაწნეო დერივაციული გვირაბი, რომლის საპროექტო დიამეტრი $d=5,0$ მ. თვით მტკვარი ჰესის კომპლექსის სქემატური გეგმა მოცემულია ნახ. 2-1-ზე, ხოლო გრძივი კვეთი სადაწნეო ტრაქტის დერძზე კი ნახ. 2-2 - ზე

წინასწარ ჩატარებული საინჟინრო-გეოლოგიური გამოკვლევების ანალიზის საფუძველზე დადგენილია, რომ გვირაბის განლაგების ზოლი აგებულია შუა და ზედა ეოცენის კლდოვანი და ნახევრადკლდოვანი გრუნტებით, ანდეზიტებით, ქვიშაქვებით, ტუფებით და არგილიტებით. საინჟინრო-გეოლოგიური გამოკვლევების დეტალური ანალიზის საფუძველზე დადგენილია, რომ გვირაბის ტრასა განლაგებულია სუსტ, საშუალო და მდგრად ქანებში.

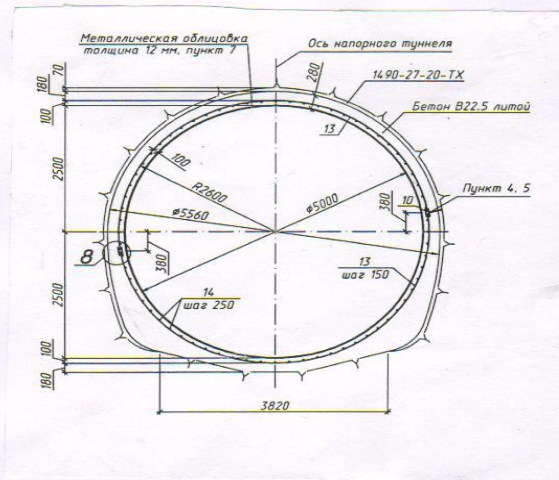
დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის საანგარიშოდ შერჩეული იქნა გვირაბის განივი კვეთი გარემომცველ ქანებთან ერთად, გამთანაბრებელი რეზერვუარის უშუალო სიახლოვეს. მოუკეთებელი (ახალგაყვანილი) გვირაბის საპროექტო ვარიანტის დიამეტრია 570.0 სმ., ხოლო მოკეთებული გვირაბის – 500.0 სმ. მოკეთების სისქე არის 28.0 სმ. გვირაბის ძირში ორივე მხარეს მოკეთების სისქე თითქმის ორმაგდება. მოკეთების შიდა ზედაპირიდან 10.0 სმ-ის სიღრმეზე პროექტით გათვალისწინებულია წრიული არმირება 150.0 სმ-იანი ბადის ბიჯით. მოკეთებისთვის დაგეგმილია B22.5 მარკის ბეტონის გამოყენება, ხოლო შიდა ზედაპირზე ლითონის მოპირკეთებაა გათვალისწინებული. კვეთის გეომეტრიული ზომები, არსებული პროექტის მიხედვით, მოცემულია ნახ. 2-3 – ზე.



ნახ. 2-1. მტკვარი ჰესის კომპლექსის სქემატური გეგმა [5]



ნახ. 2-2. გრძივი კვეთი მტკვარი ჰესის სადაწნეო ტრაქტზე



ნახ. 2-3. მტკვარი ჰესის სადაწნო გვირაბის განივიკვეთი გამთანაბრებელ რეზერვუართან

გვირაბის კვეთის ზონაში არის მწვანე მასიური საშუალო- და მსხველფრაქციანი ტუფები – 54%, რომელშიც ღია ნაცრისფერი და ნაცრისფერი წვრილფრაქციანი ქვიშაქვების ჩართვები და ლინზები – 34%, აგრეთვე ნაცრისფერი და ყავისფერ-ნაცრისფერი არგილიტების თხელი (1.0 - 15სმ) ფენების (12%) და ნაცრისფერი წვრილი და საშუალოფრაქციული ქვიშაქვების პაკეტებია (0.1 – 2.0 მ). სიმაგრის კოეფიციენტი $f = 4.1$.

3. ახლად გამომუშავებული გრუნტის მასივის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ანალიზი

შემოთავაზებული გვირაბის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის საანგარიშო სქემა რამდენიმე საფეხურიანია. მათი თანმიმდევრობა ზუსტად ასახავს მშენებლობის რეალურ პროცესს გვირაბის გაყვანიდან ექსპლუატაციაში შესვლის ჩათვლით.

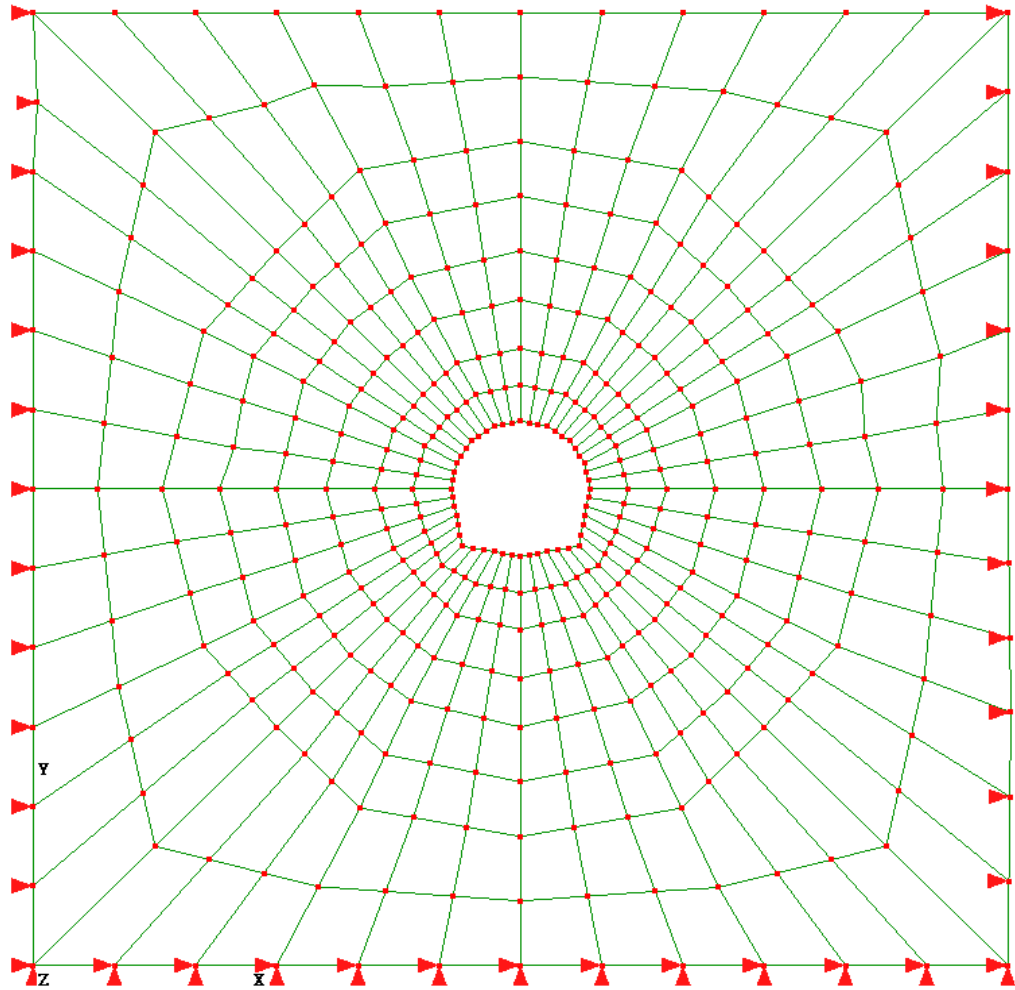
ანალიზის პირველ საფეხურზე იანგარიშება გრუნტის მასივი გაყვანილი გვირაბის გარშემო (მოკეთების გარეშე). ანგარიშის მიზანია დადგინდეს რამდენად არის შესაძლებელი გვირაბის გარემომცველი ქანების მდგრადობის დაკარგვა ნაშხეფბეტონით გამაგრებამდე.

ანგარიშები ჩატარდა პროგრამული კომპლექსი LISA –ს საშუალებით, რომლის თეორიული ალგორითმი ეფუძნება სასრული ელემენტების მეთოდს.

საანგარიშო სქემა მოცემულია ნახ. 3-1-ზე. ის წარმოადგენს სწორკუთხედს, რომლის შუაში არის გაყვანილი გვირაბის შესაბამისი დიამეტრის ($d=5,7$ მ) სიცარიელე. სწორკუთხედის ზომებია 40X40 მ. სქემა დაყოფილია 384 სწორკუთხა ელემენტად, რომლებიც ერთმანეთთან გაერთიანებულია 432 კვანძის საშუალებით. გვირაბის ღერძის ღონიდან გრუნტის თავისუფალ ზედაპირამდე მანძილი 85 მეტრია ($\nabla 1030.00 - \nabla 945.00$).

სასაძღვრო პირობები შემდეგნაირია: მარცხნიდან და მარჯვნიდან სქემის საზღვრებში განლაგებული 24-ვე კვანძის გადაადგილებები შეზღუდულია (ხისტად არის ჩამაგრებული) X ღერძის მიმართულებით, ხოლო ფუძეში განლაგებული 13 კვანძის გადაადგილებები კი შეზღუდულია ორივე, X და Y ღერძების მიმართულებებით. სქემის ზედა საზღვრის 11-ვე კვანძი თავისუფალია.

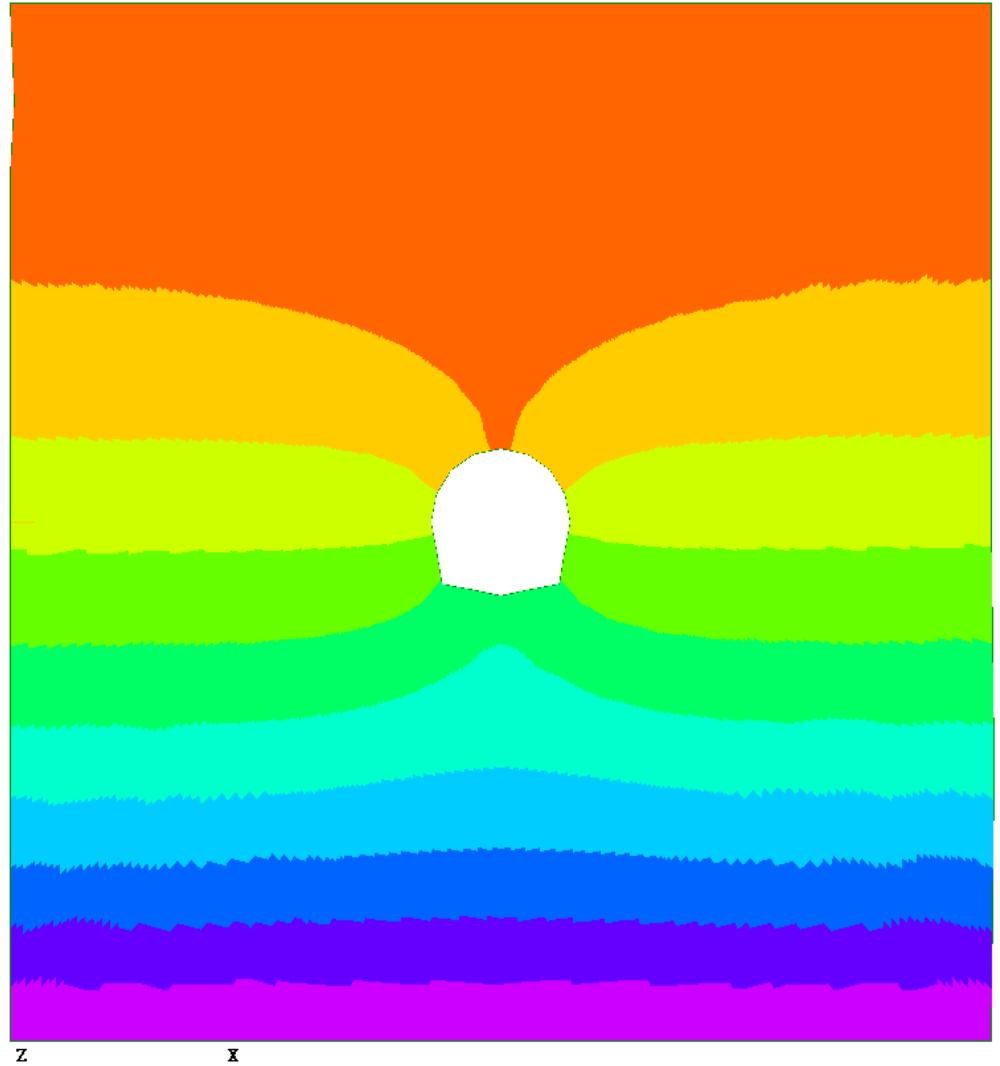
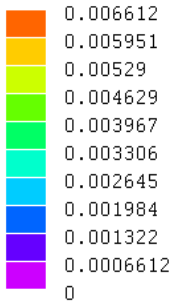
საანგარიშო სქემა დატვირთულია მხოლოდ გვირაბის გარემომცველი გრუნტების წონით. მათი (მასიური საშუალო- და მსხვლფრაქციანი ტუფები ქვიშაქვების ჩანართებით და ლინზებით) საანგარიშო ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლებად შემდეგი სიდიდეებია აღებული: დრეკადობის მოდული – $E = 2.850.000$ ტ/მ²; პუასონის კოეფიციენტი $\nu = 0,2$, მოცულობითი წონა $\gamma = 2,4$ ტ/მ³.



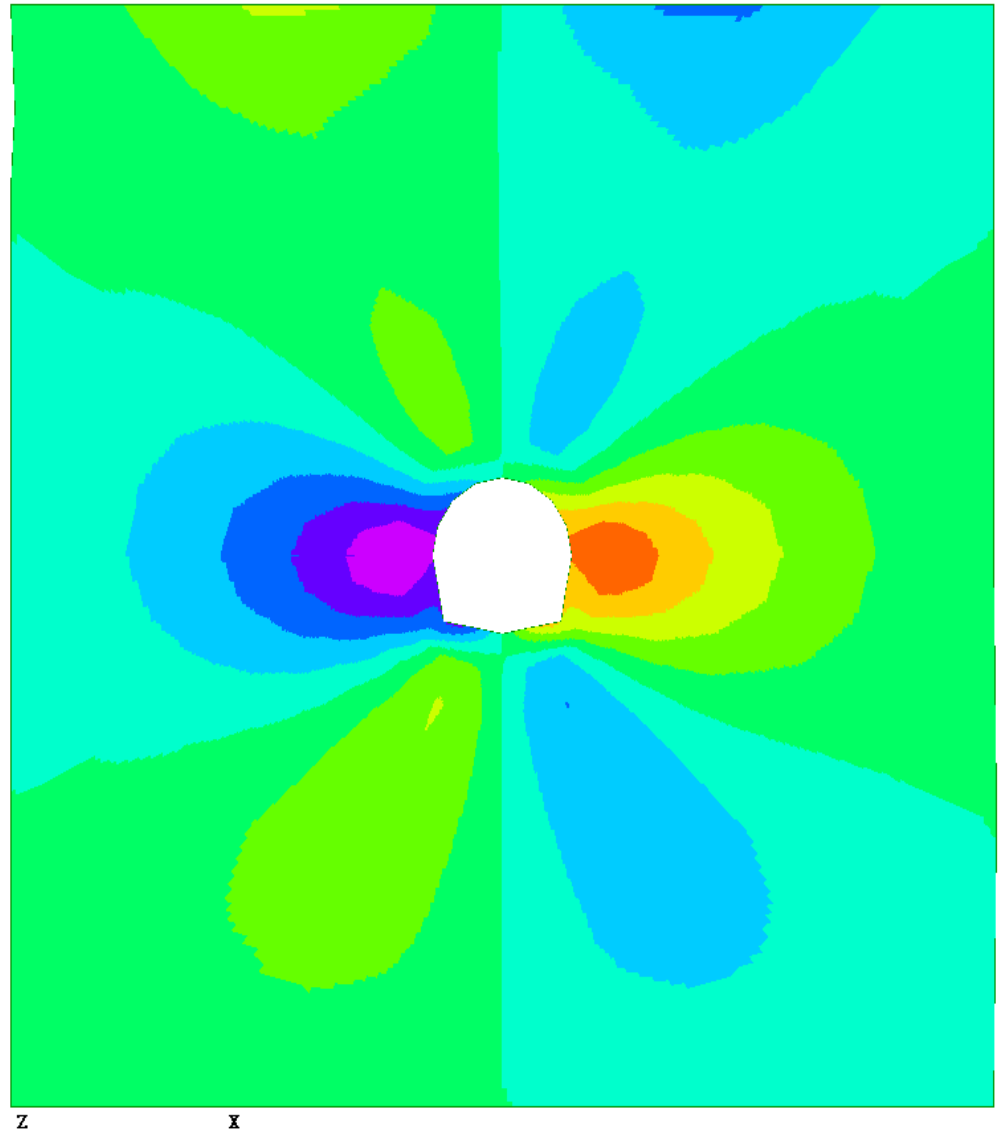
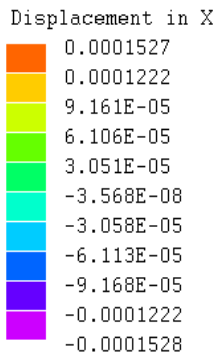
ნახ. 3-1. გვირაბის გარემომცველი მასივის საანგარიშო სქემა მოკეთების გარეშე (კვანძების რიცხვი $M=432$, ელემენტების რიცხვი $N=384$)

ნახ. 3-2 დან ნახ. 3-9 –ის ჩათვლით მოცემულია ანგარიშის შედეგები, კერძოდ, საკვანძო წერტილების გადაადგილების მაგნიტუდები, ჰორიზონტალური და ვერტიკალური გადაადგილებები, ძაბვების კომპონენტები და მთავარი ძაბვები.

Displacement Magnitude

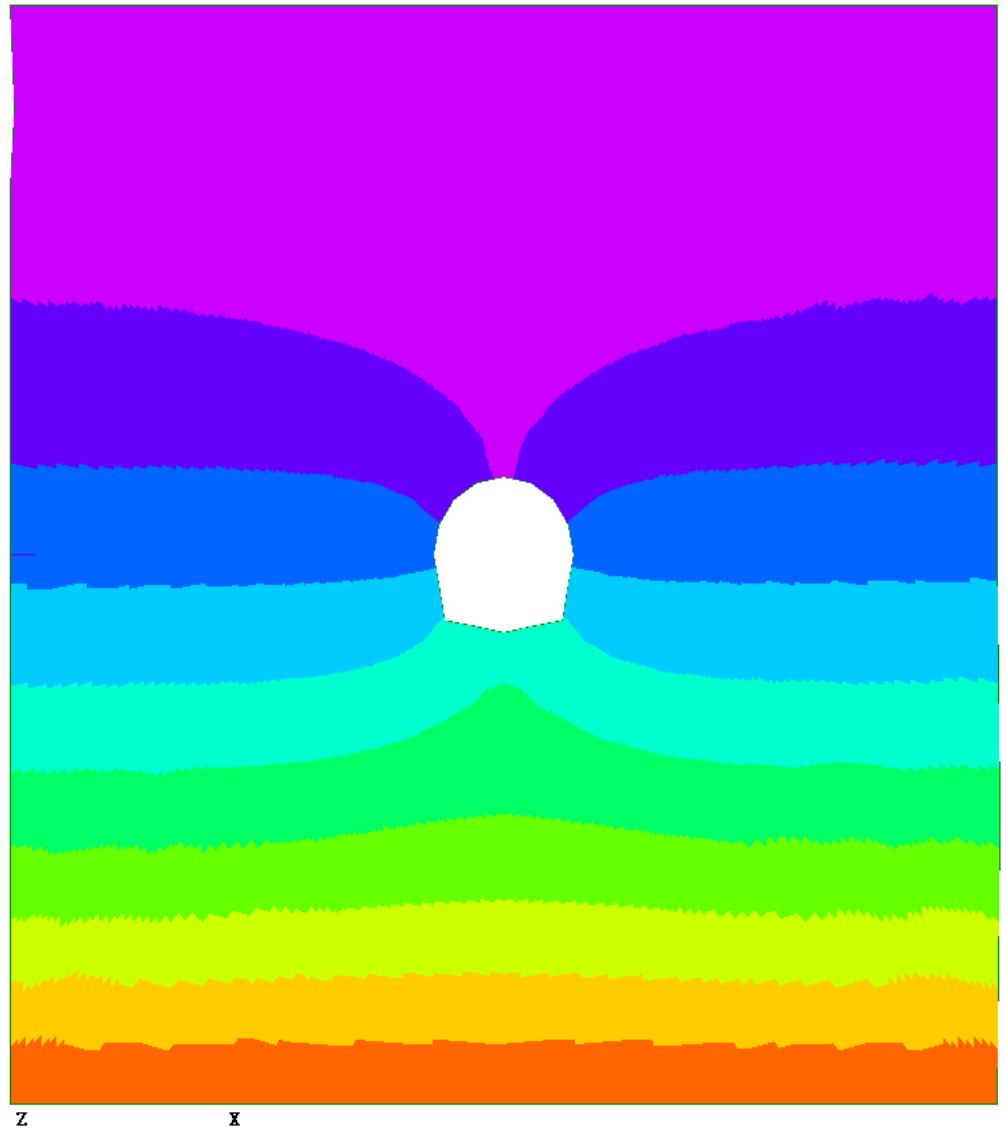
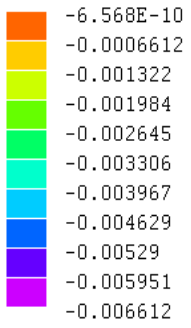


ნახ. 3-2. გვირაბის გარემომცველი ქანების გადაადგილებათა მაგნიტუდების იზოზონები (გადაადგილებების მნიშვნელობები მოცემულია მეტრებში)

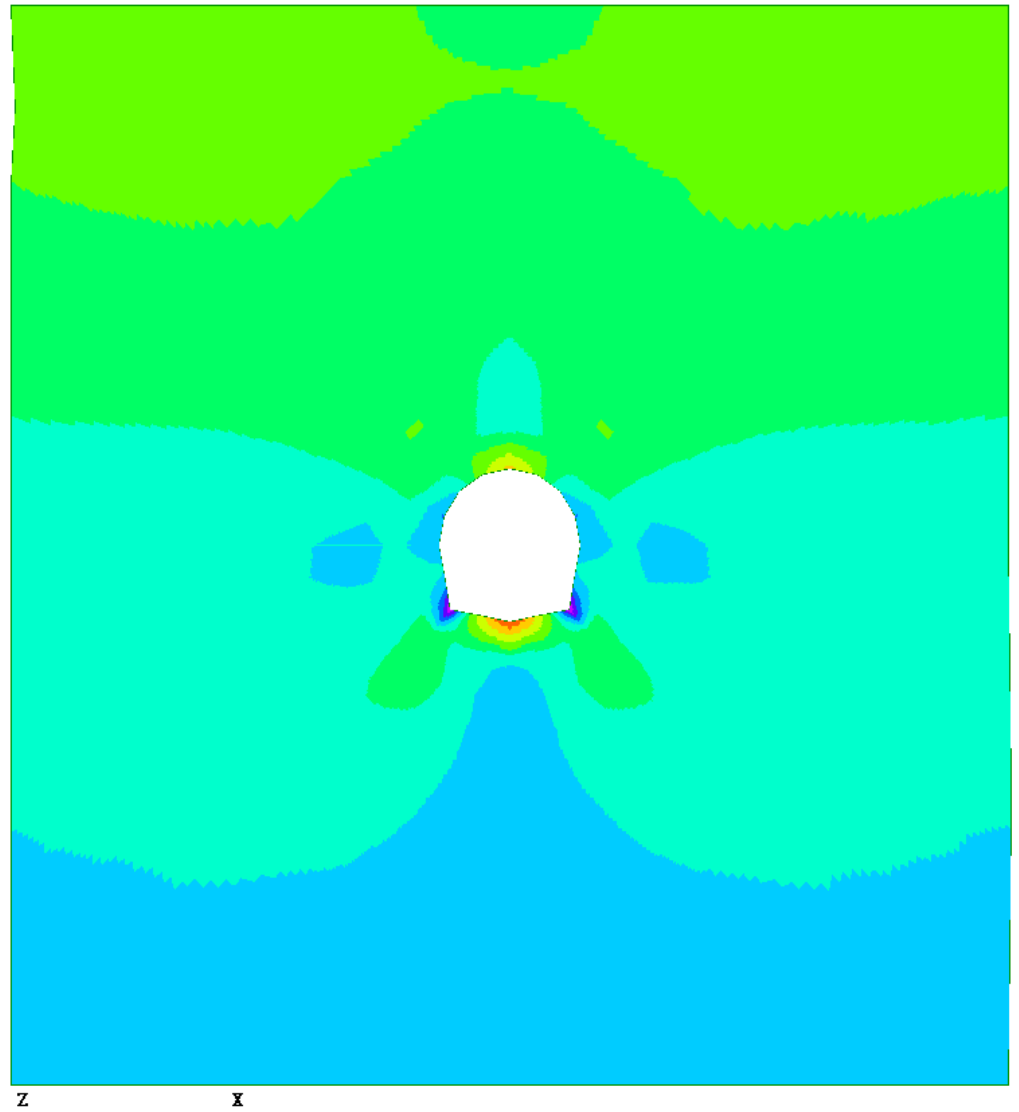
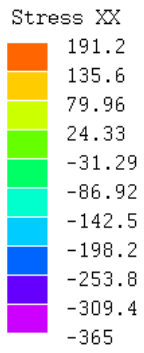


ნახ. 3-3. გვირაბის გარემომცველი ქანების კორიზონტალურ (X მიმართულებით) გადაადგილებათა იზოზონები (გადაადგილებების მნიშვნელობები მოცემულია მეტრებში)

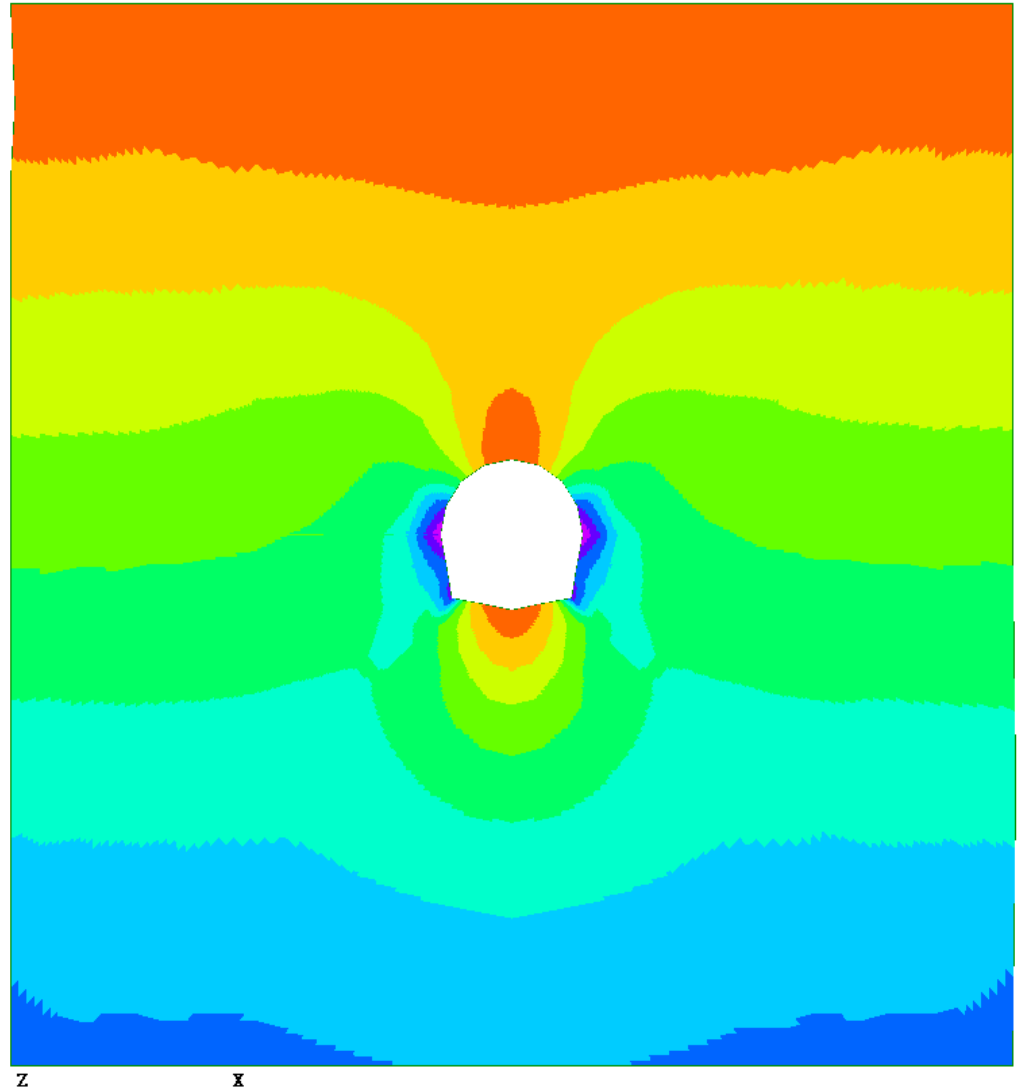
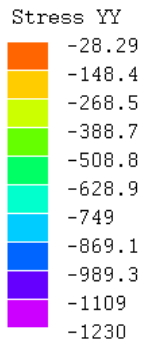
Displacement in Y



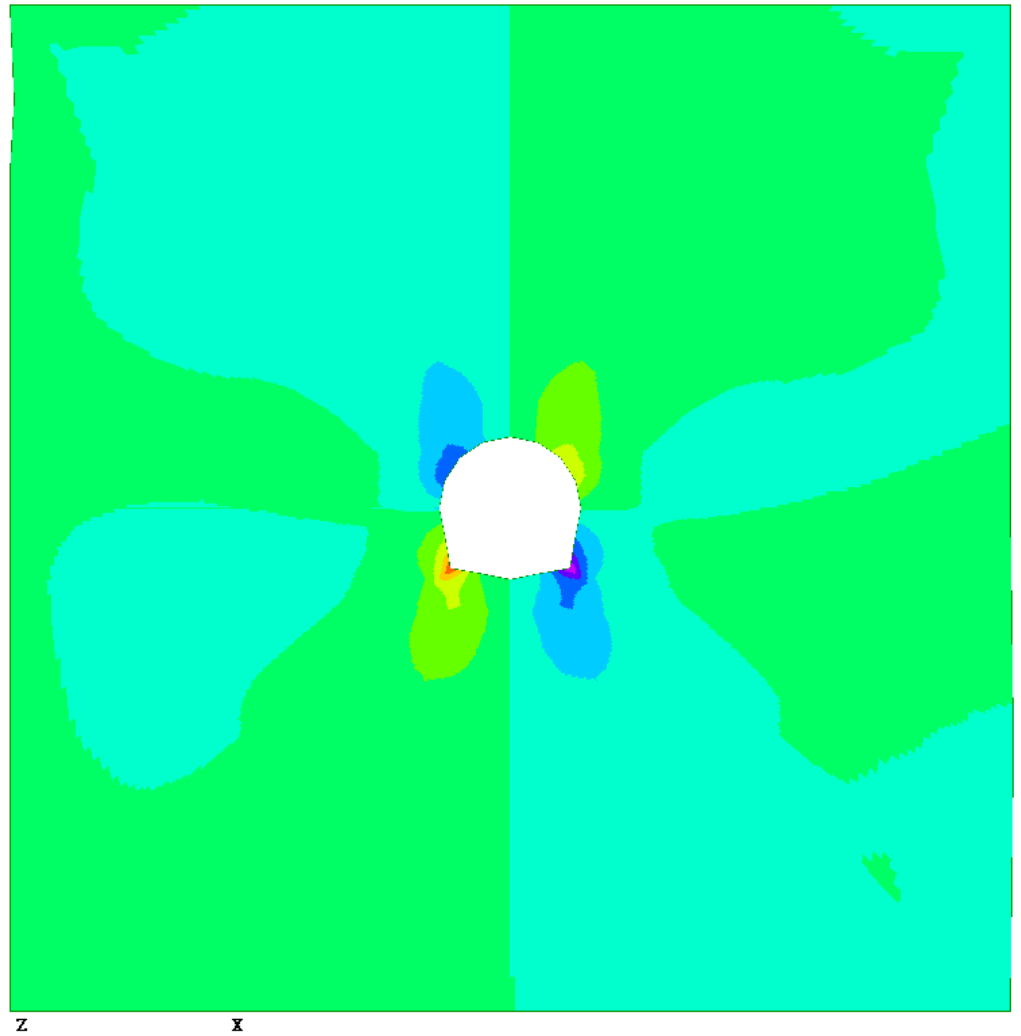
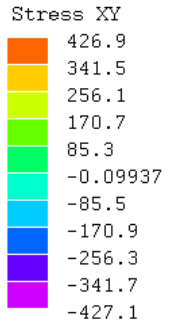
ნახ. 3-4. გვირაბის გარემომცველი ქანების კორიზონტალურ (Y მიმართულებით) გადაადგილებათა იზოზონები (გადაადგილებების მნიშვნელობები მოცემულია მეტრებში)



ნახ. 3-5. გვირაბის გარემომცველი ქანებში σ_x დაბეჭდვის იზოზონები (დაბეჭდვის მნიშვნელობები მოცემულია ტ/შ² - ში)

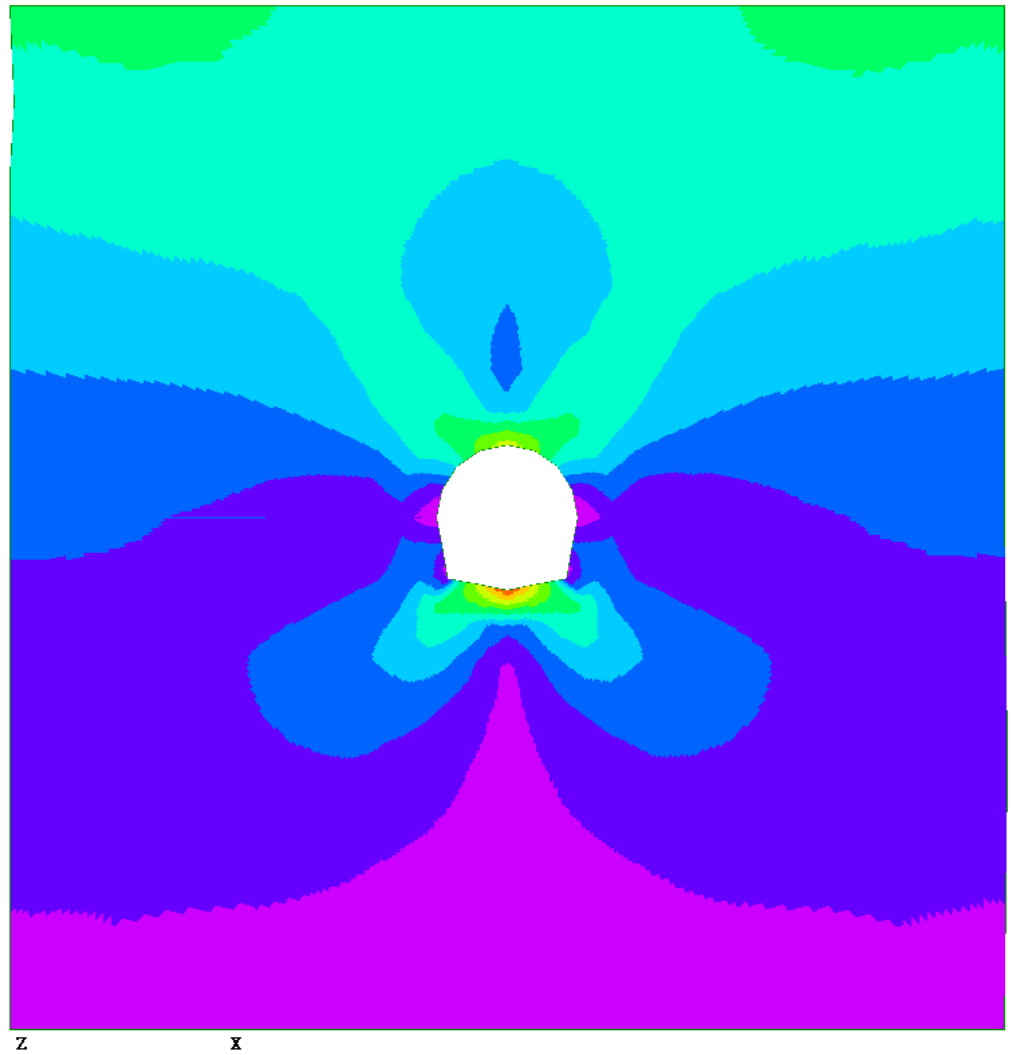
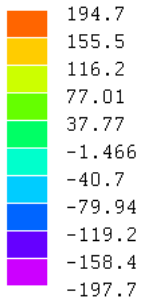


ნახ. 3-6. გვირაბის გარემომცველი ქანებში σ_y დაბეჭდვის იზოზონები (დაბეჭდვის მნიშვნელობები მოცემულია ტ/შ² - ში)



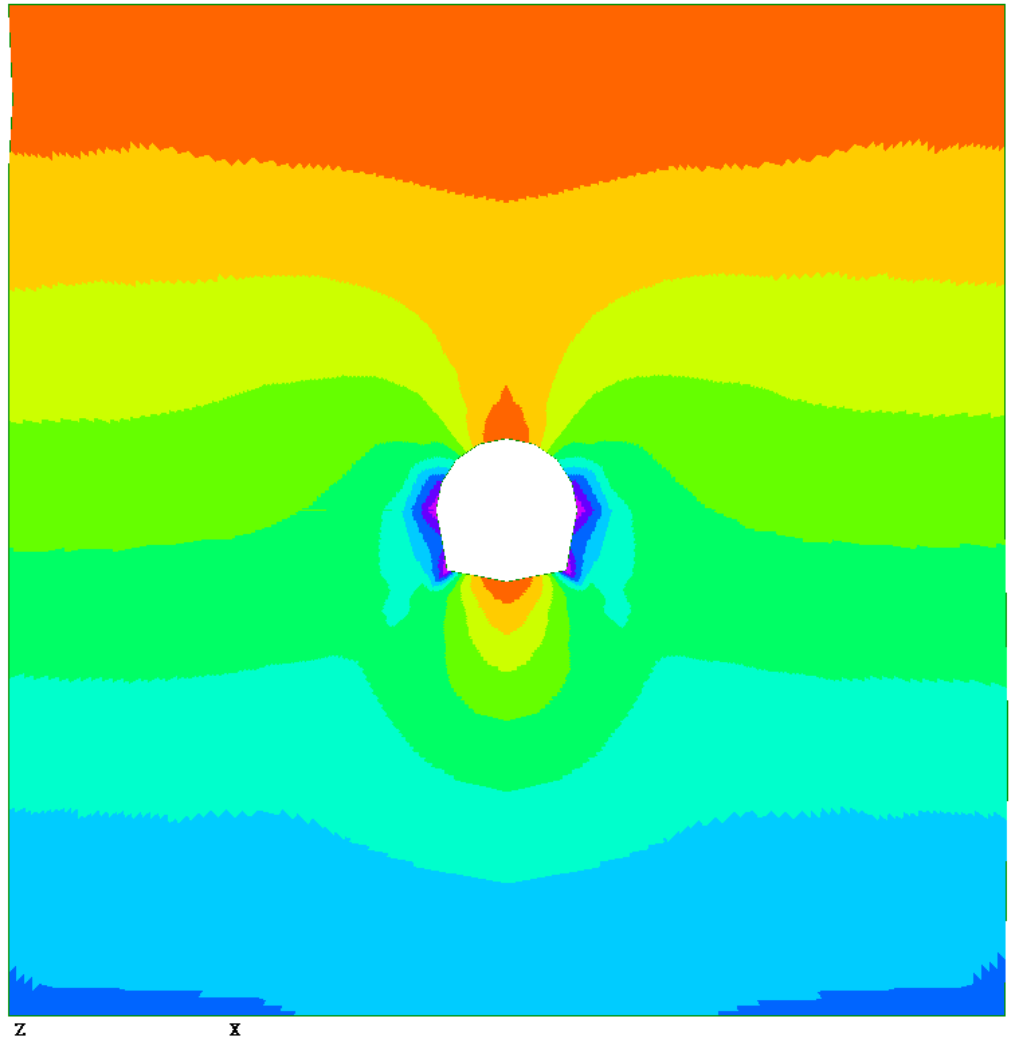
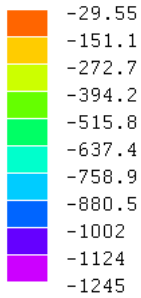
ნახ. 3-7. გვირაბის გარემომცველი ქანებში τ_{xy} დაბეჭდვის იზოზონები (დაბეჭდვის მნიშვნელობები მოცემულია ტ/მ² - ში)

Principal Stress 1



ნახ. 3-8. გვირაბის გარემომცველი ქანებში მთავარი σ_1 დაბეჭდვის იზოზონები
(დაბეჭდვის მნიშვნელობები მოცემულია ტ/მ² - ში)

Principal Stress 2



ნახ. 3-9. გვირაბის გარემომცველი ქანებში მთავარი σ_2 ძაბვების იზოზონები (ძაბვების მნიშვნელობები მოცემულია ტ/მ² - ში)

მიღებული შედეგების ანალიზმა აჩვენა, რომ გვირაბის გარემომცველი ქანების არცერთ ზონაში ძაბვების მნიშვნელობები არ აჭარბებს საშუალო- და მსხველფრაქციანი ტუფების სიმტკიცის ზღვარს არც კუმშვაზე, არც გაჭიმვაზე ($R_k = \sim -410$ კგ/სმ² (4100 ტ/მ²) და $R_g = \sim 40$ კგ/სმ² (400 ტ/მ²)). გვირაბის კონტურზე და მის უშუალო სიახლოვეს არ დაფიქსირდა გამჭიმავი ნორმალური და მთავარი ძაბვები, გარდა მცირე მონაკვეთისა გვირაბის ფუძის ცენტრში და მის სიახლოვეს:

ჰორიზონტალური ნორმალური დაბვა $\sigma_x = 8,0 - 19,0$ კგ/სმ² და მთავარი დაბვა $\sigma_1 = 7,7 \div 19,5$ კგ/სმ² (ნახ. 3-5 და 3-8). თავისთავად, გაჭიმვის ეს ზონა იმყოფება გვირაბის ფუძეში და ჩამონგრევისათვის არავითარ საშიშროებას არ წარმოადგენს. გვირაბის დანარჩენი პერიმეტრი და მისი სიახლოვე მთლიანად მკუმშავ ზონაში იმყოფება. მაქსიმალურ მნიშვნელობებს ისინი აღწევენ გვირაბის ორივე მხარს შუა ნაწილში: $\sigma_y = -74,9 \div -110,9$ კგ/სმ² და $\sigma_z = -75,9 \div -112,4$ კგ/სმ² (ნახ. 3-6 და 3-9). მაქსიმალური ჩაღუნვები, როგორც მოსალოდნელი იყო, თავს იჩენს ზუსტად გვირაბის თაღის კლიტის ზონაში: დაახლოებით 0,66 სმ (ნახ. 3-2 და 3-4), რაც არ გამოიწვევს გვირაბის ჩამონგრევას, რადგან ეს ზონა ძირითადად მკუმშავი დაბვების ზონას წარმოადგენს.

4. გვირაბის დაბვულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ანალიზი სამთო წნევისა და მოკეთების საკუთარი წონის გათვალისწინებით

ანალიზის მეორე საფეხურზე ჩატარდა გვირაბისა და გარემომცველი ქანების დაბვულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ანგარიში სამთო წნევისა და მოკეთების საკუთარი წონის გათვალისწინებით. ამავე დროს, მოკეთების საპროექტო B22.5 ბეტონის ნაცვლად, ანგარიშებში გამოყენებული იქნა ფიბროდანამატებიანი ბეტონის (ნორვეგიული ვარიანტი) ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები.

ანალიზის დაწყებამდე გაანგარიშებული იქნა უშუალოდ სამთო წნევების სიდიდეები, რომლებიც მოქმედებენ გვირაბის მოკეთების თაღზე და გვერდებზე. ანგარიში ჩატარდა მ. პროტოდიაკონოვის მეთოდით [1,6,7].

გვირაბზე ვერტიკალური სამთო წნევის ანგარიში.

პირველ რიგში ტარდება ვერტიკალური სამთო წნევის ანგარიში გვირაბის ბრტყელ გადახურვაზე (სწორკუთხა ფორმის გვირაბის შემთხვევა) და შემდეგ ხდება მიღებული შედეგის გადაყვანა თაღური ფორმის გადახურვაზე.

ვერტიკალური სამთო წნევა გვირაბის ბრტყელ გადახურვაზე იანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$Q'_v = \gamma_1 \frac{b^2}{3f_k} \quad \text{სადაც } \gamma_1 \text{ არის გრუნტის}$$

მოცულობითი წონა;

$$\gamma_1 = 2,4 \text{ ტ/მ}^3$$

b - სწორკუთხა ფორმის გვირაბის სიგანე, რომელსაც ვუშვებთ რეალური (საპროექტო) გვირაბის დიამეტრის (d) ტოლად. რადგან მოპირკეთებული გვირაბის დიამეტრი ტოლია 5,0 მ-ის, ხოლო მოპირკეთების სისქე – 0,35 მ-ის, მაშინ

$$b = 5,7 \text{ მ.}$$

f_k - გრუნტის სიმაგრე. საპროექტო მონაცემებით $f_k = 4,1$.

თუ ჩავსვავთ აღნიშნულ მონაცემებს სამთო წნევის სიდიდის გამოსახულებაში, მივიღებთ:

$$Q'_v = 2,4 \frac{5,7^2}{3 \times 4,1} = 6,234 \text{ ტ}$$

თაღოვანი გადახურვის, ანუ წრიული კვეთის გვირაბის შემთხვევაში

$$Q_v = 0,7Q'_v = 0,7 \times 6,234 = 4,36 \text{ ტ}$$

ჩამონგრევის თაღის სიმაღლე:

$$h = \frac{b}{2f_k} = \frac{5,7}{2 \times 4,1} = 0,70 \text{ მ}$$

გვირაბზე ჰორიზონტალური (გვერდითი) სამთო წნევის ანგარიში.

ჰორიზონტალური სამთო წნევა სწორკუთხა გვირაბზე იანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$E'_H = \frac{1}{2} h_0 (2q_0 + \gamma_1 h_0) \text{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_k}{2} \right),$$

სადაც

$$q_0 = \frac{2}{3f_k} \gamma_1 \left[b + h_0 \text{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_k}{2} \right) \right];$$

$$\varphi_k = \arctg f_k$$

თუ ჩავსვსვთ $f_k = 4,1$ φ_k -ს გამოსახულებაში, მივიღებთ:

$$\varphi_k = 76^{\circ}42', \text{ ხოლო } \operatorname{tg}^2\left(45^{\circ} - \frac{76^{\circ}42'}{2}\right) = 0,01325$$

$$h_0 = b = 5,7 \text{ მ}$$

ჩავსვათ ყველა ცნობილი მნიშვნელობა q_0 -ის გამოსახულებაში:

$$q_0 = \frac{2}{3 \times 4,1} \times 2,4 [5,7 + 5,7 \times 0,01325] = 2,21$$

ჩავსვათ გამოთვლილი მნიშვნელობები E'_H -ის გამოსახულებაში და მივიღებთ:

$$E'_H = \frac{1}{2} \times 5,7 (2 \times 2,21 + 2,4 \times 5,7) \times 0,01325 = 0,675 \text{ ტ}$$

წრიული კვეთის გვირაბის შემთხვევაში, ჰორიზონტალური სამთო წნევა იანგარიშება ფორმულით;

$$E_H = 0,7 E'_H$$

თუ ჩავსვათ E'_H -ის მნიშვნელობას, მივიღებთ:

$$E_H = 0,7 \times 0,675 = 0,473 \text{ ტ}$$

ვიანგარიშეთ რა ვერტიკალური Q_v და ჰორიზონტალური E_H სამთო წნევები, ისინი უნდა მოვდეთ საანგარიშო სქემაში გვირაბის მოპირკეთების გარე პერიმეტრის შესაბამის წერტილებში და შესაბამისი მიმართულებებით.

გვირაბის მოსახვაზე მოქმედი სამთო წნევის გრაფიკული გამოსახულება ნაჩვენებია ნახ. 4-1 – ზე.

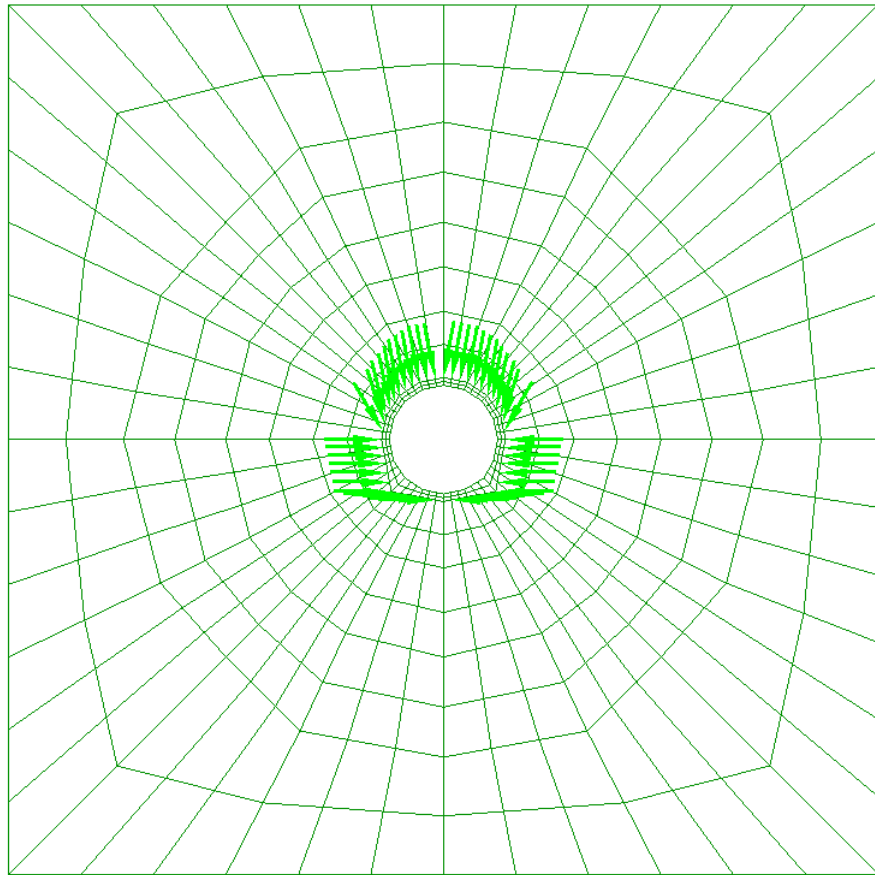
გვირაბის მოსახვის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის საანგარიშოდ უნდა დავაზუსტოთ ნორვეგიულ მეთოდში გამოყებად ფიბროდანამატებიანი ბეტონის დრეკადობის მოდული. რაც შეეხება პუასონის კოეფიციენტს, ის პრაქტიკულად არ იცვლება და ტოლია ტრადიციული ბეტონის შესაბამისი მნიშვნელობის. დრეკადობის მოდულის მნიშვნელობები კი იცვლება $(2,0 \div 2,2) \times 10^6$ ტ/მ²-დე [8]. საანგარიშოდ ავიღეთ გასაშუალებული მნიშვნელობა – $2,1 \times 10^6$ ტ/მ².

სამთო წნევებისა და მოკეთების საკუთარი წონის გათვალისწინებით, გვირაბის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის საანგარიშო სქემა მოცემულია ნახ. 4-2-

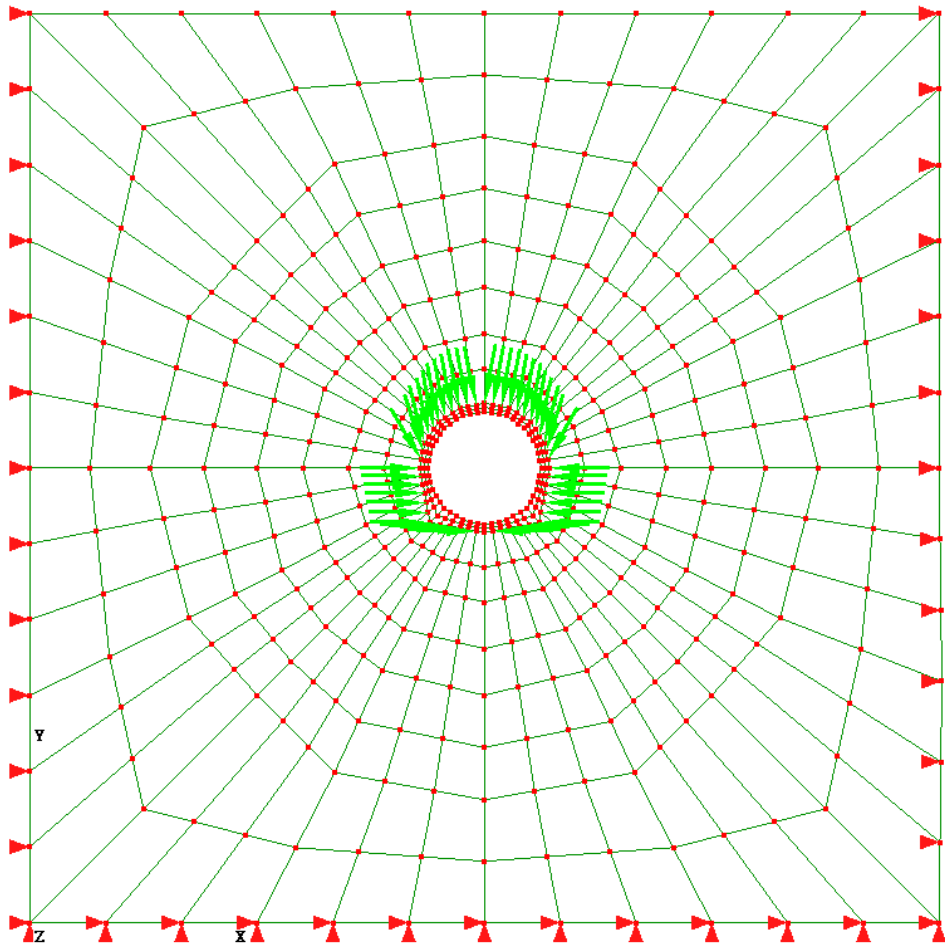
ზე. ის წარმოადგენს სწორკუთხედს, რომლის შუაში არის გაყვანილი ფიბრობეტონით მოკეთებული გვირაბი დიამეტრით $d=5,0$ მ. სწორკუთხედის ზომებია 40×40 მ. სქემა დაყოფილია 480 სწორკუთხა ელემენტად, რომლებიც ერთმანეთთან გაერთიანებულია 528 კვანძის საშუალებით. გვირაბის ღერძის დონიდან გრუნტის თავისუფალ ზედაპირამდე მანძილი 85 მეტრია ($\nabla 1030.00 - \nabla 945.00$).

სასაზღვრო პირობები შემდეგნაირია: მარცხნიდან და მარჯვნიდან სქემის საზღვრებში განლაგებული 24-ეე კვანძის გადაადგილებები შეზღუდულია (ხისტად არის ჩამაგრებული) X ღერძის მიმართულებით, ხოლო ფუძეში განლაგებული 13 კვანძის გადაადგილებები კი შეზღუდულია ორივე, X და Y ღერძების მიმართულებებით. სქემის ზედა საზღვრის 11-ეე კვანძი თავისუფალია.

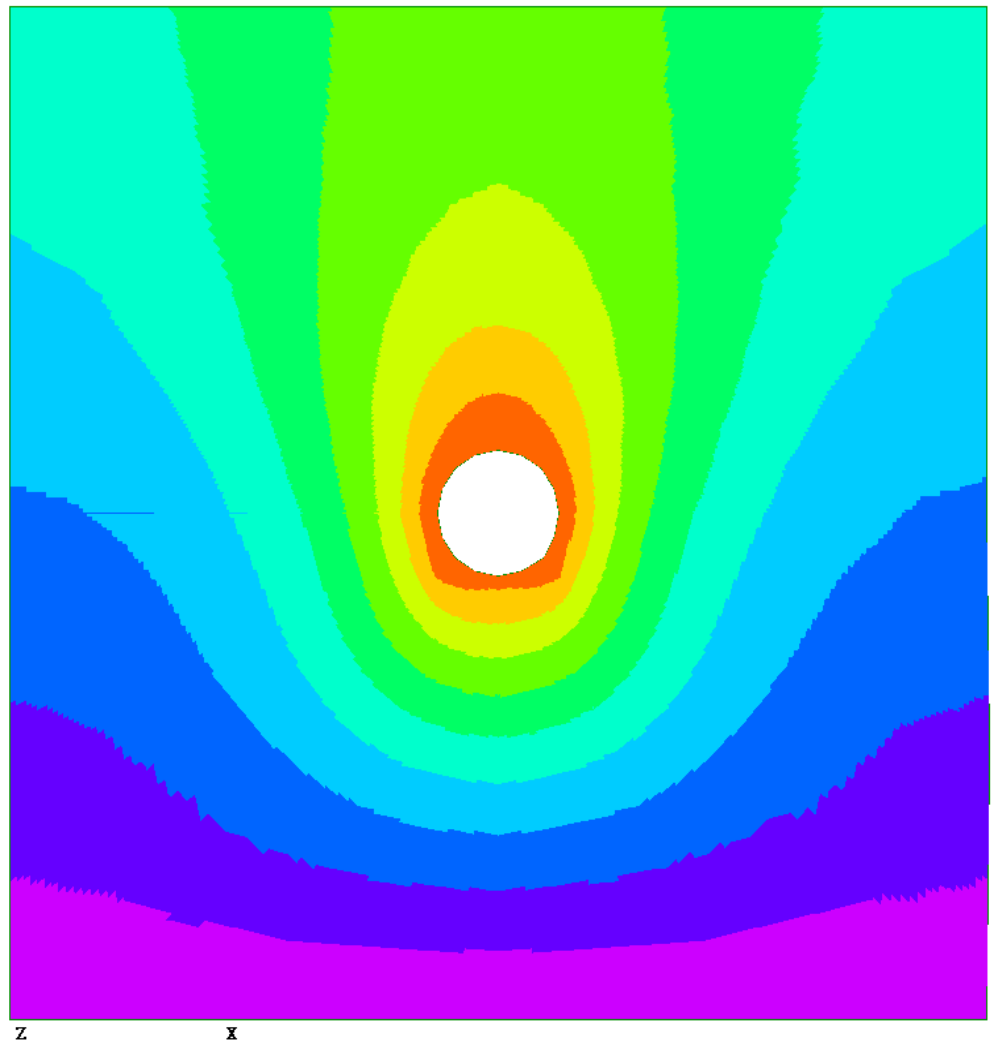
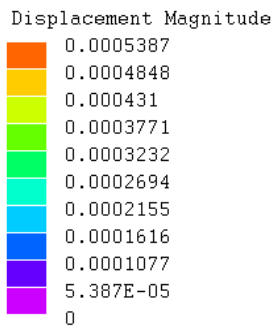
მიღებული შედეგები წარმოდგენილია ნახ. 4-3 -დან ნახ. 4-10 – ის ჩათვლით. თუ მივიღებთ მხედველობაში იმას, რომ ფიბრობეტონის სიმტკიცე გაჭიმვაზე ტოლია $250 - 330$ კგ/სმ² ($2500 - 3300$ ტ/მ²)-ისა [8], გვირაბის მოკეთების არცერთი მონაკვეთი არ განიცდის სახიფათო, არც გამჭიმავი და არც მკუმშავი, ძაბვების ზემოქმედებას. [შენიშვნა: გადაადგილებები მოცემულია მეტრებში (მ), ხოლო ძაბვების მნიშვნელობები - ნიუტონი/მ² (N/მ²) – ში. 1 ნიუტონი (N) = $0,0001$ ტ. მაგალითისთვის, $-1.053E+05$ N/მ² = -10.53 ტ/მ² = -1.053 კგ/სმ² = -0.1053 მპა].



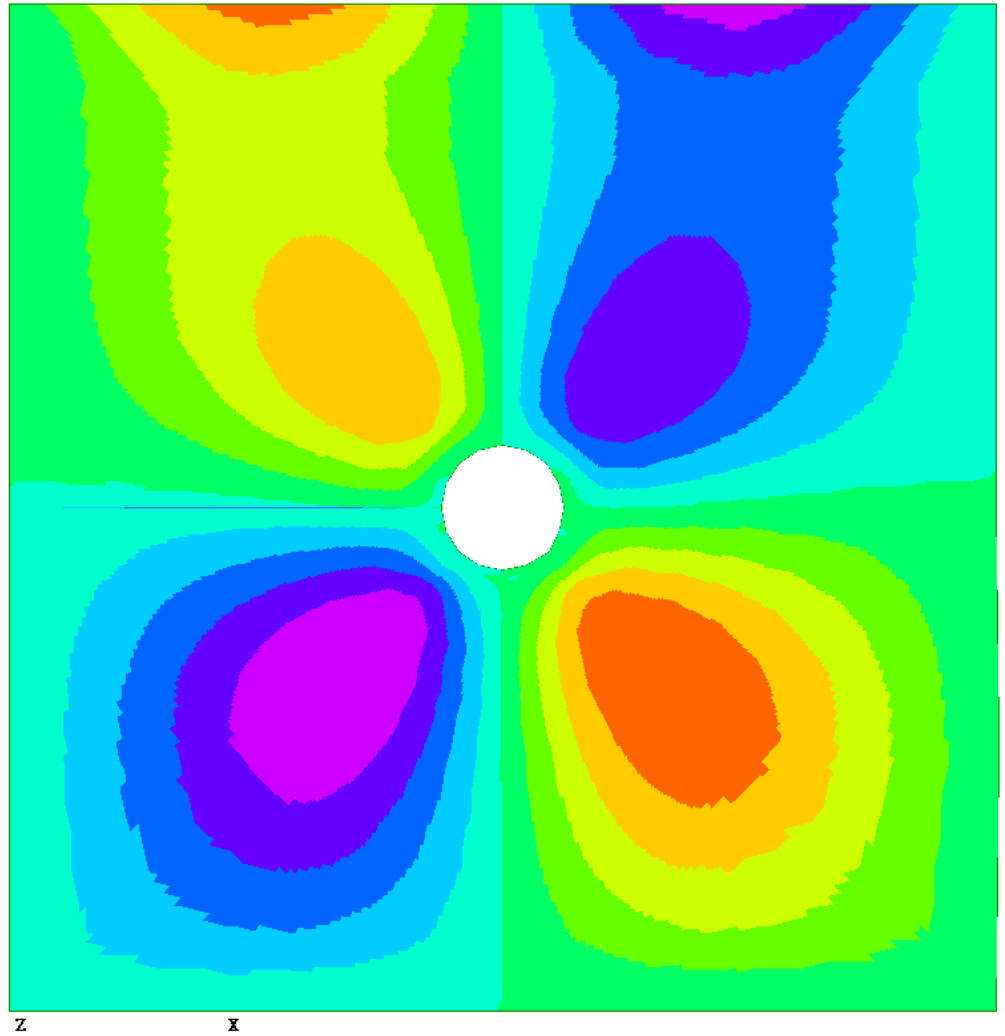
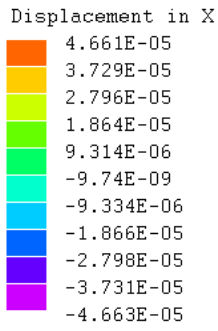
ნახ. 4-1. გვირაბზე მოქმედი სამთო წნევის გრაფიკული გამოსახულება



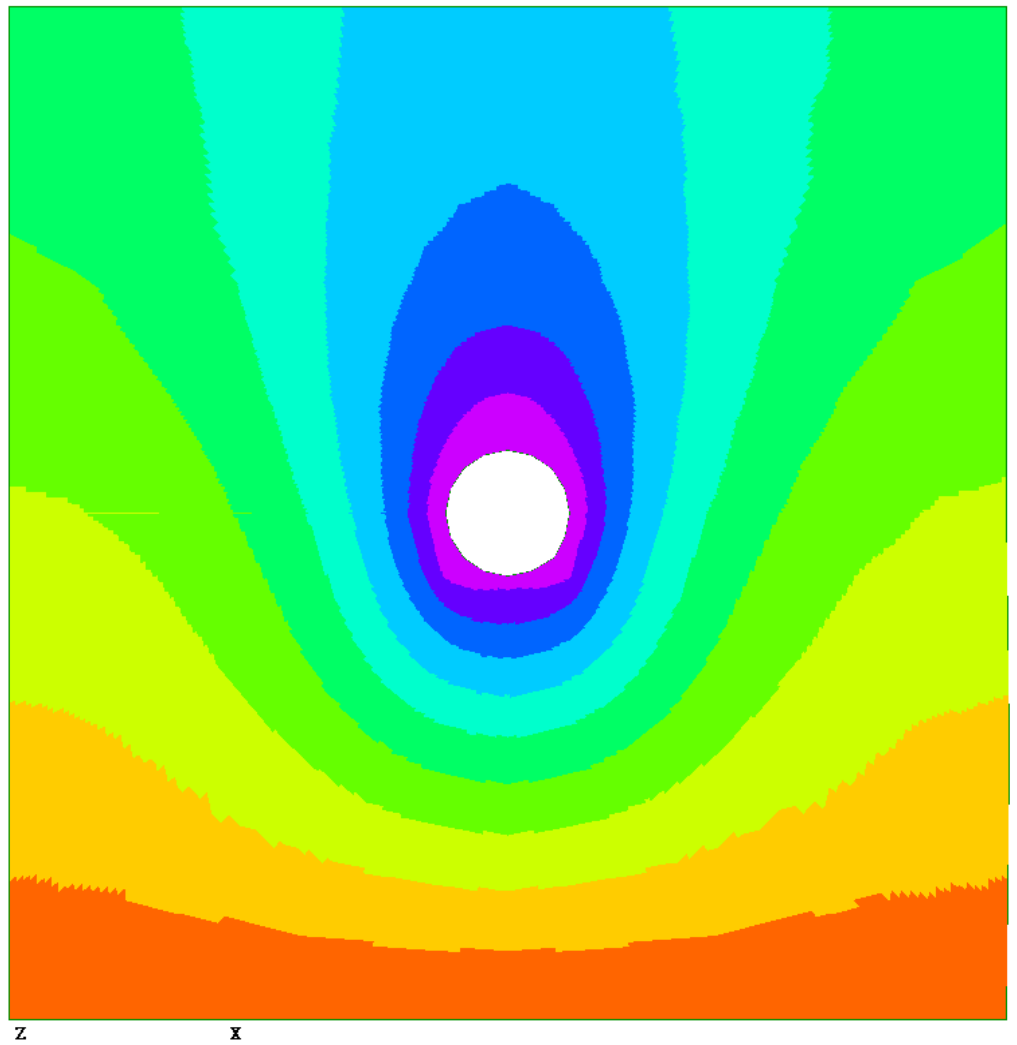
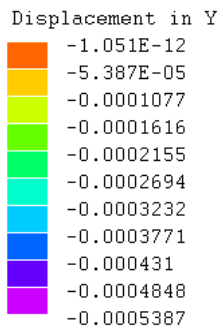
ნახ. 4-2. მოკეთებული გვირაბისა და გარემომცველი მასივის საანგარიშო სქემა
 (კვანძების რიცხვი $M=528$, ელემენტების რიცხვი $N=480$)



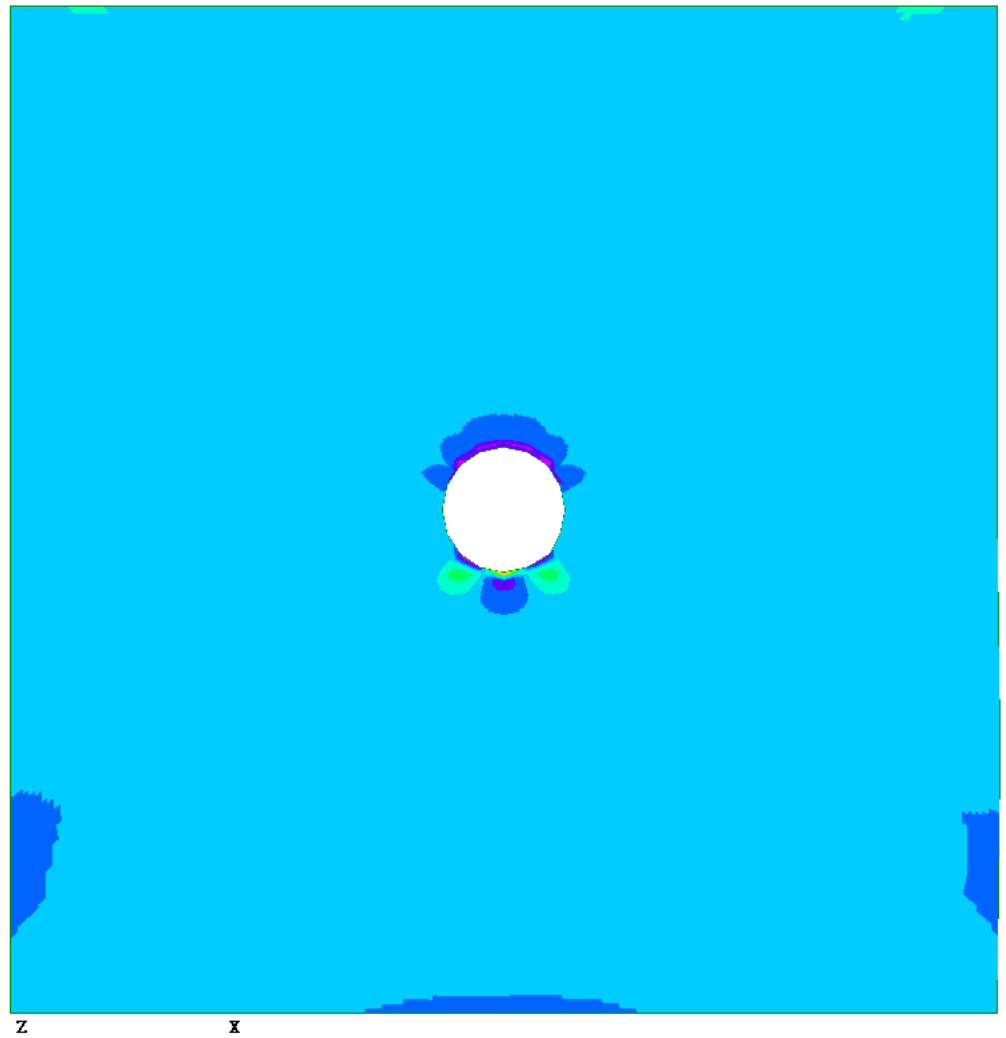
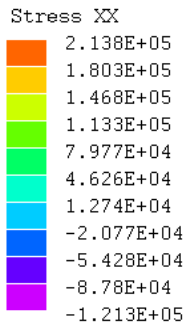
ნახ. 4-3. გვირაბის მოკეთებისა და გარემომცველი მასივის გადაადგილებათა მაგნიტუდების იზოზონები (გადაადგილებების მნიშვნელობები მოცემულია მეტრებში)



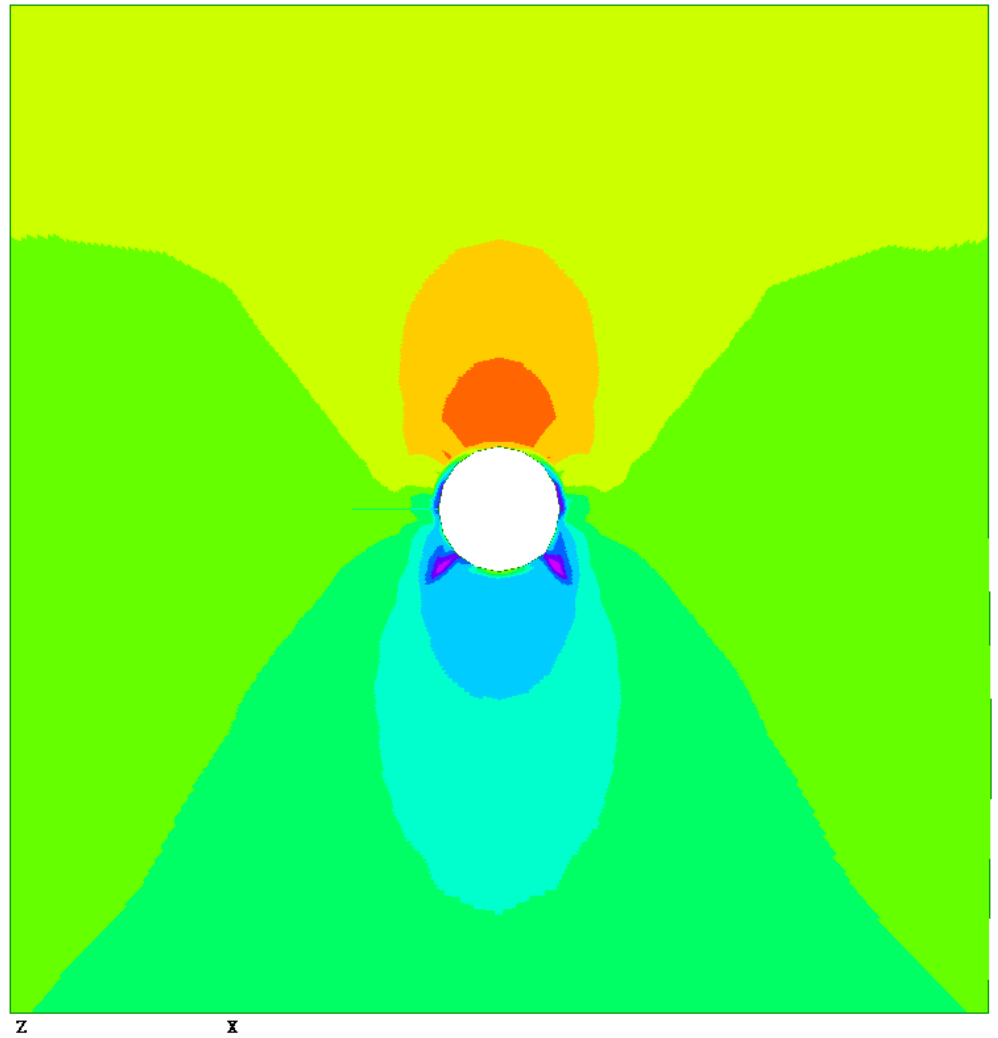
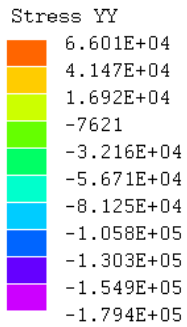
ნახ. 4-4. გვირაბის მოკეთებისა და გარემომცველი მასივის კორიზონტალურ (X მიმართულებით) გადაადგილებათა იზოზონები (გადაადგილებების მნიშვნელობები მოცემულია მეტრებში)



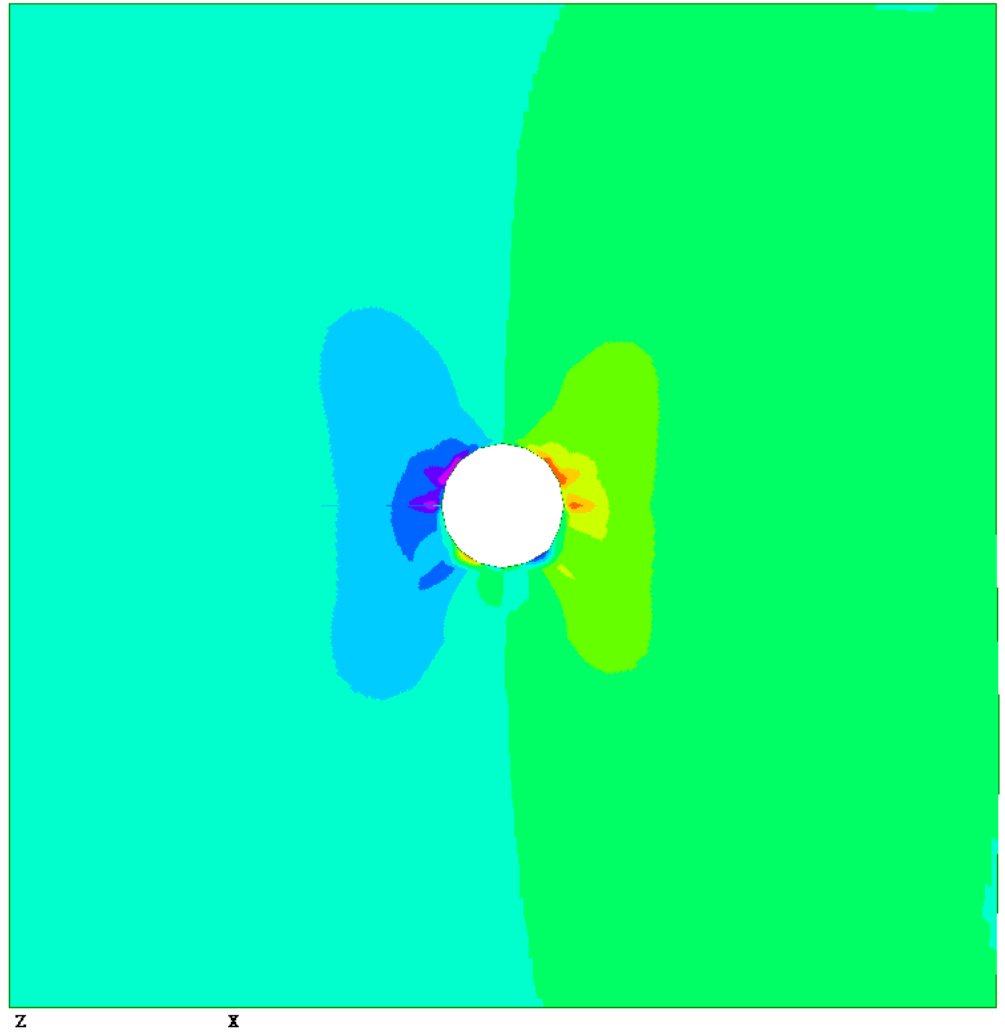
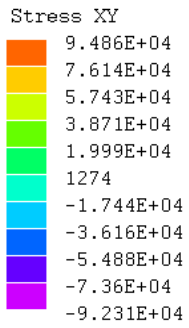
ნახ. 4-5. გვირაბის მოკეთებისა და გარემომცველი მასივის ვერტიკალურ (Y მიმართულებით) გადაადგილებათა იზოზონები (გადაადგილებების მნიშვნელობები მოცემულია მეტრებში)



ნახ. 4-6. გვირაბის მოკეთებასა და გარემომცველ მასივში ჰორიზონტალური σ_x დაბეჭდვის იზოზონები (დაბეჭდვის მნიშვნელობები მოცემულია N/m^2 - ში)

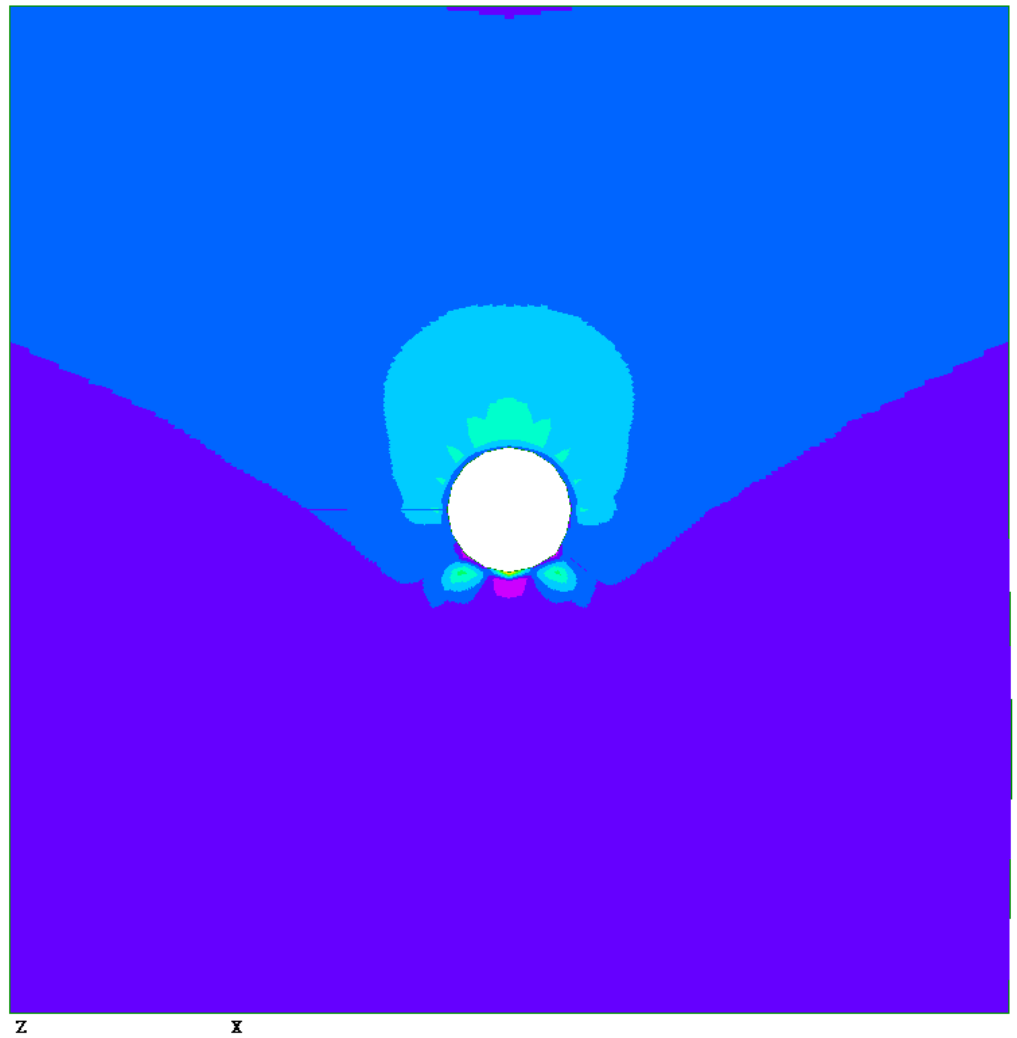
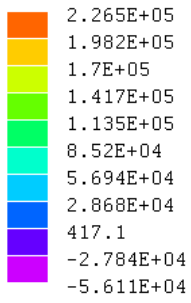


ნახ. 4-7. გვირაბის მოკეთებასა და გარემომცველ მასივში ვერტიკალურ σ_y დაბეჭდვის იზოზონები (დაბეჭდვის მნიშვნელობები მოცემულია N/m^2 - ში)



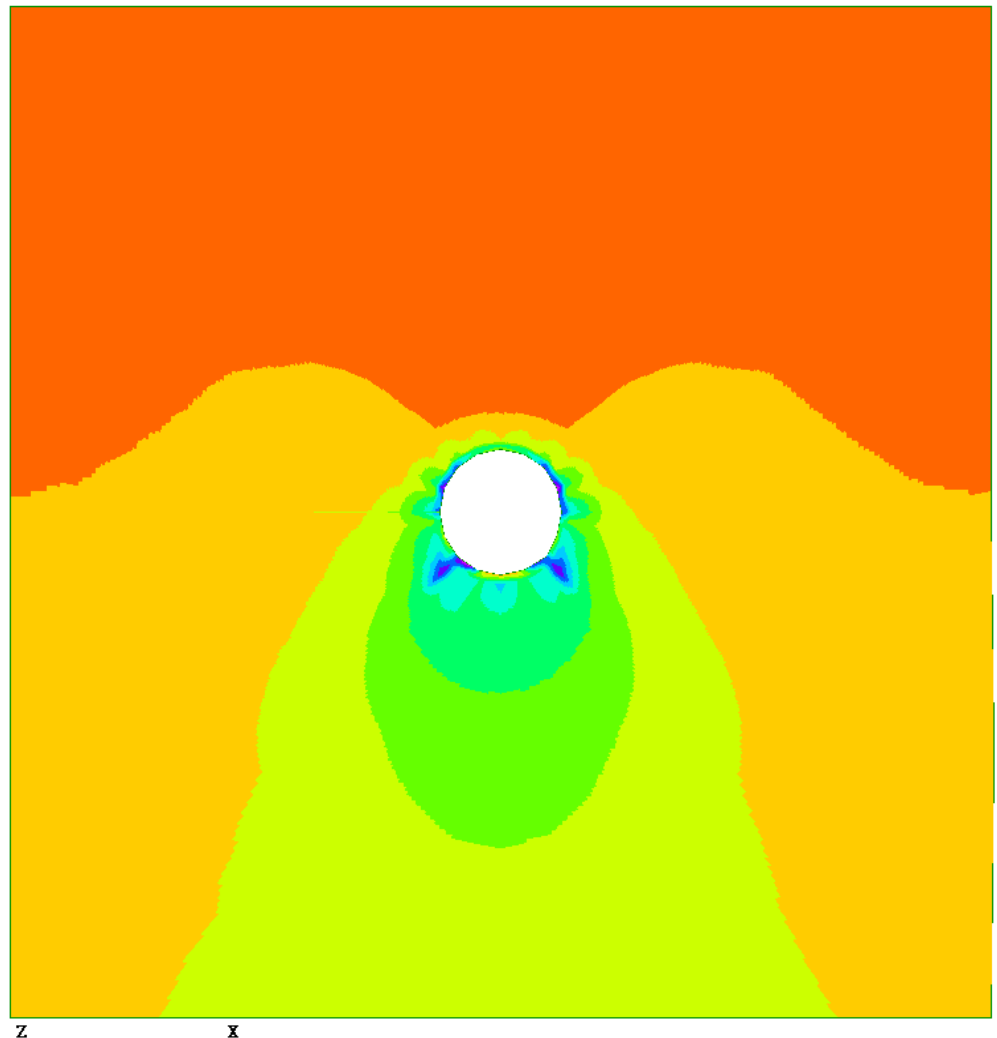
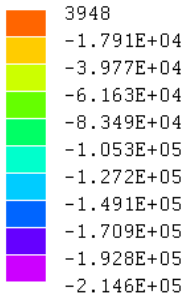
ნახ. 4-8. გვირაბის მოკეთებასა და გარემომცველ მასივში მხები τ_{xy} ძაბვების იზოზონები (ძაბვების მნიშვნელობები მოცემულია N/m^2 - ში)

Principal Stress 1



ნახ. 4-9. გვირაბის მოკეთებასა და გარემომცველ მასივში მთავარი σ_1 დაბეჭდვის იზოზონები (დაბეჭდვის მნიშვნელობები მოცემულია N/m^2 - ში)

Principal Stress 2



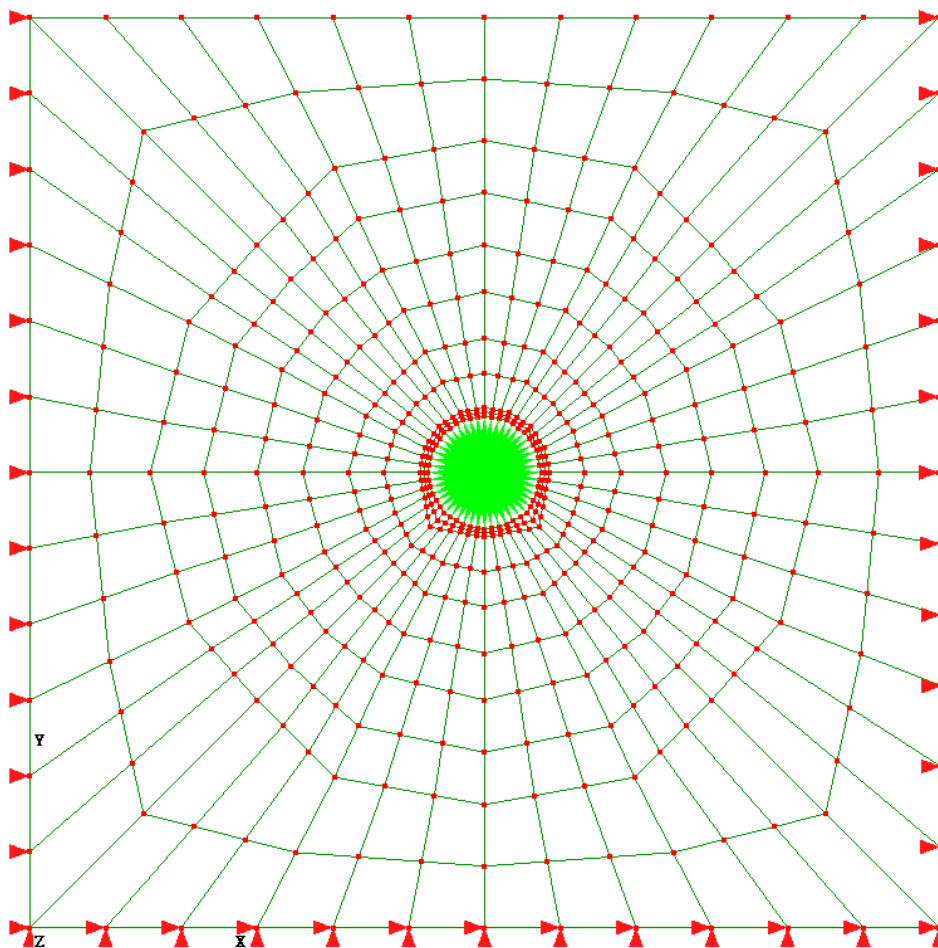
ნახ. 4-10. გვირაბის მოკეთებასა და გარემომცველ მასივში მთავარი σ_2 ძაბვების იზოზონები (ძაბვების მნიშვნელობები მოცემულია N/m^2 - ში)

5. გვირაბის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ანალიზი მოკეთების საკუთარი წონისა და ჰიდროსტატიკური წნევის გათვალისწინებით

ანალიზის მესამე საფეხურზე ჩატარდა გვირაბისა და გარემომცველი ქანების დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ანგარიში მხოლოდ საკუთარი წონისა და გვირაბის შიგა პერიმეტრზე ჰიდროსტატიკური დაწნევის მოქმედების შემთხვევაში.

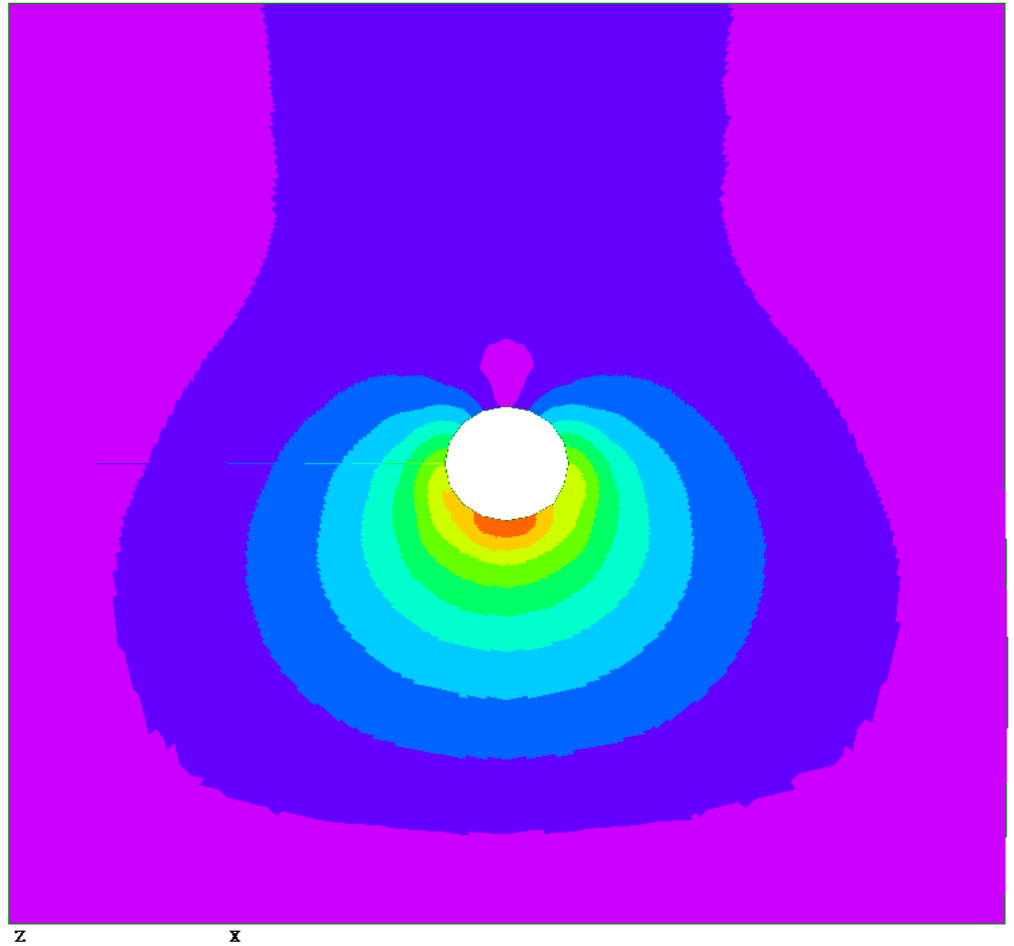
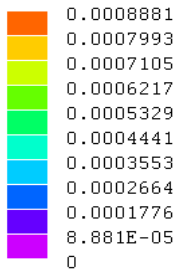
ამ დაწნევის სიდიდე აღებული იქნა 70.0 მ-ის ტოლი. ეს არის სხვაობა წყალსაცავის ნორმალურ შეტბორილ დონესა და გამთანაბრებელ რეზერვუართან აღებულ საანგარიშო კვეთში გვირაბის ღერძის ნიშნული: ($\nabla 1015.00 - \nabla 945.00$). საანგარიშო სქემა მოცემულია ნახ.5-1-ზე.

მიღებული შედეგები წარმოდგენილია ნახ. 5-2-დან ნახ. 5-9-ის ჩათვლით.

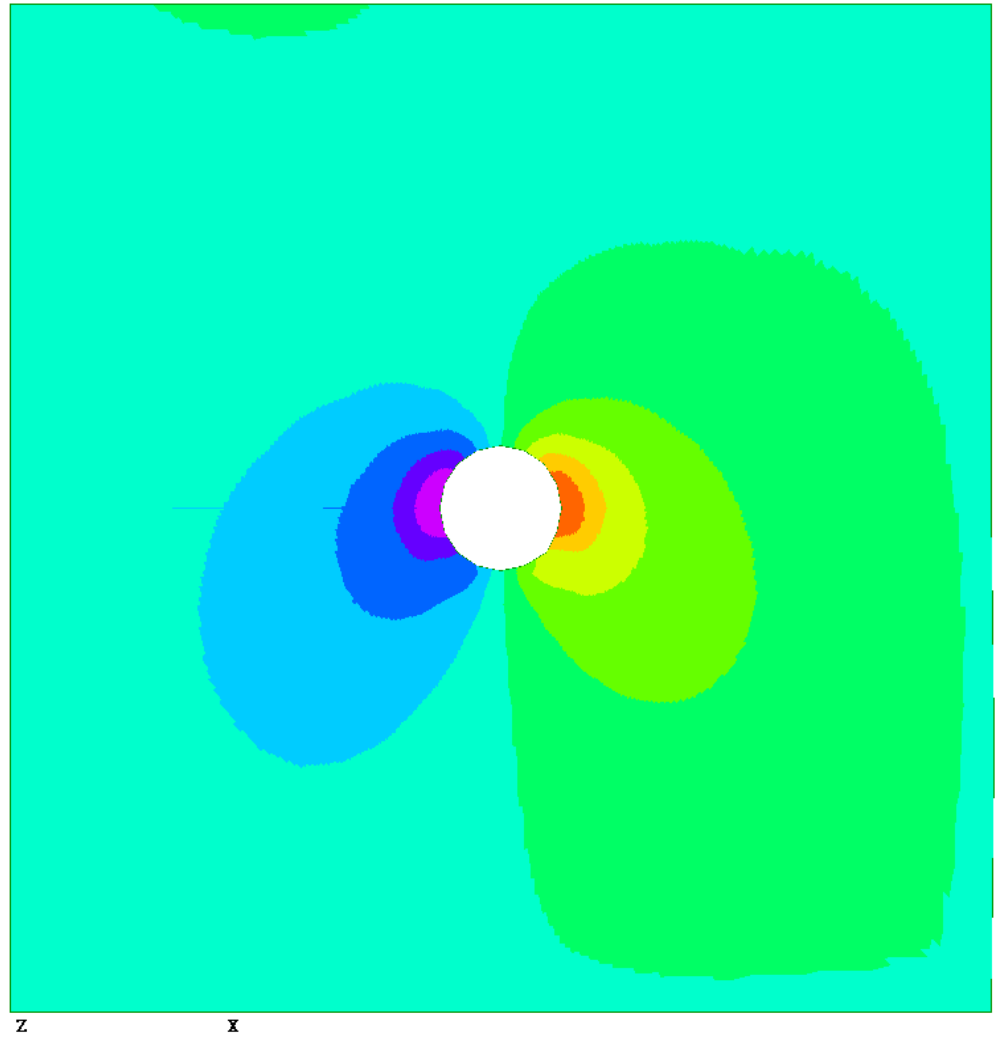
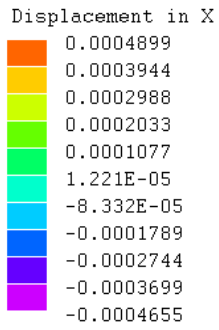


ნახ. 5-1. მოკეთებული გვირაბისა და გარემომცველი მასივის საანგარიშო სქემა მოკეთების საკუთარი წონისა და ჰიდროსტატიკური წნევის გათვალისწინებით(კვანძების რიცხვი $M=528$, ელემენტების რიცხვი $N=480$)

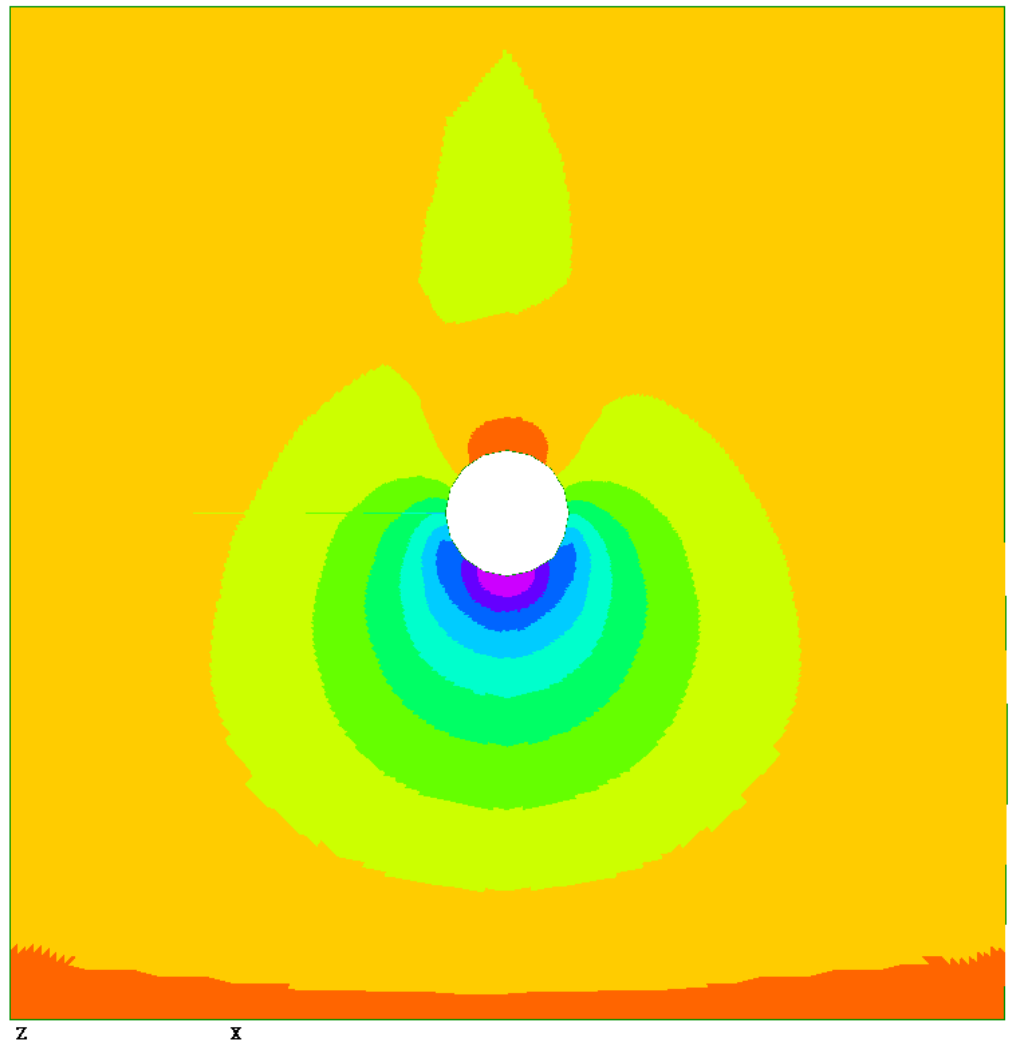
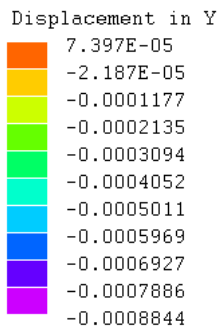
Displacement Magnitude



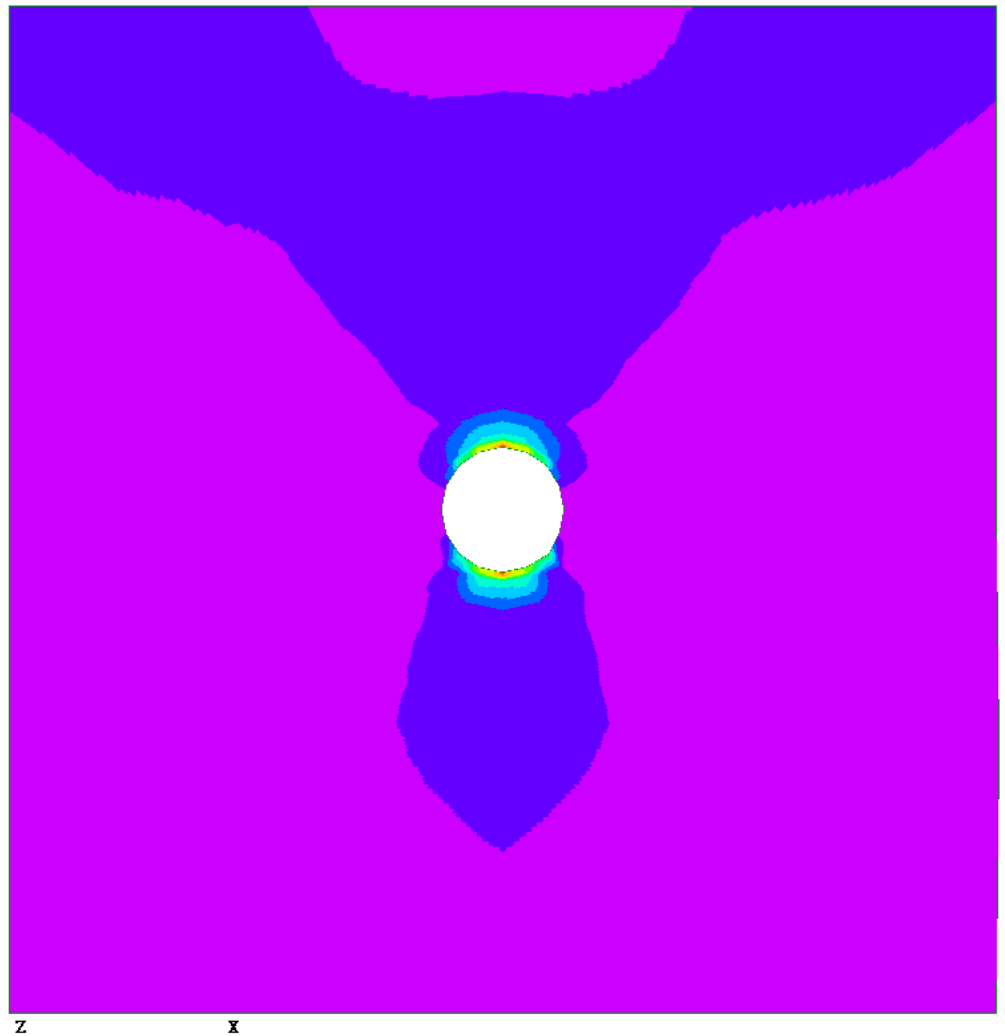
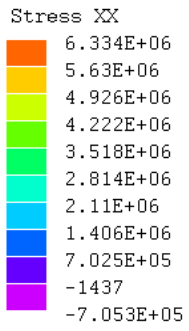
ნახ. 5-2. გვირაბის მოკეთებისა და გარემომცველი მასივის გადაადგილებათა მაგნიტუდების იზოზონები (გადაადგილებების მნიშვნელობები მოცემულია მეტრებში)



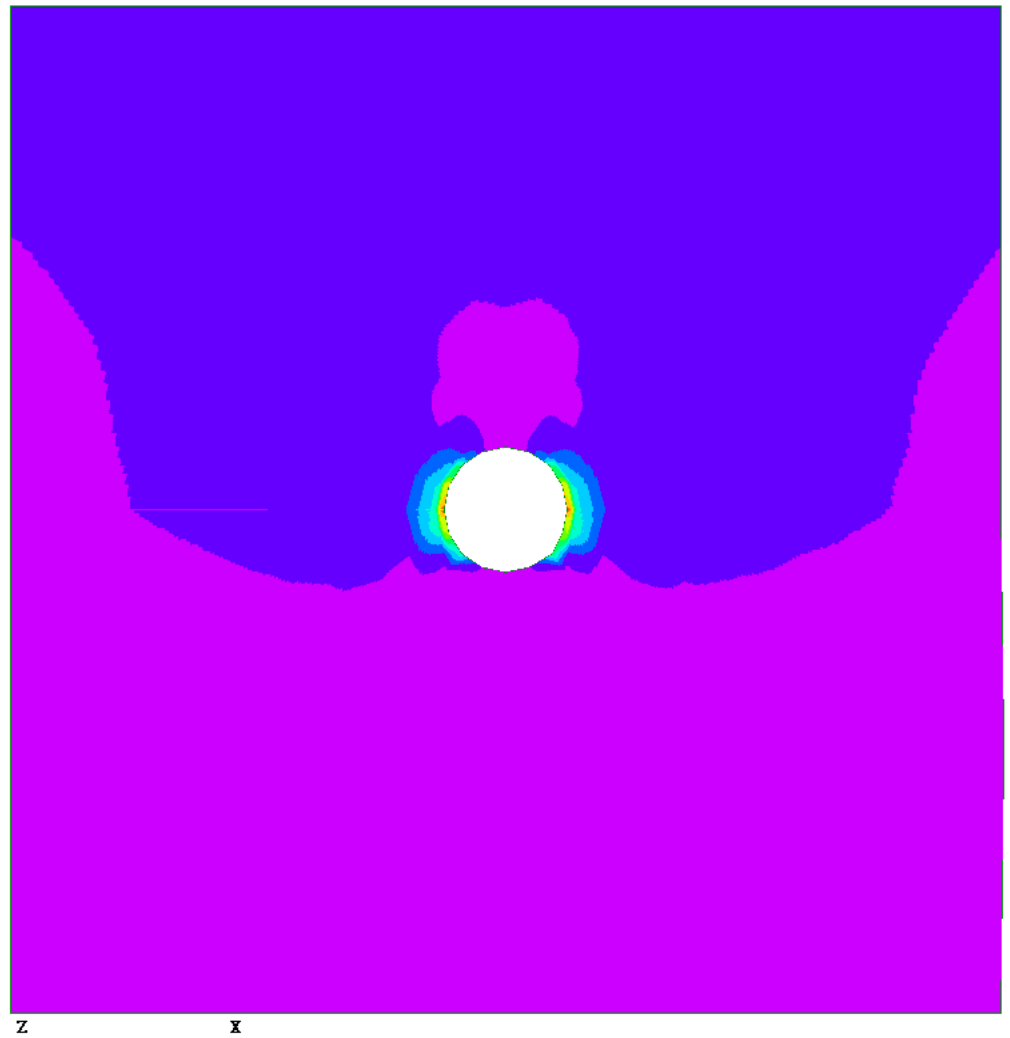
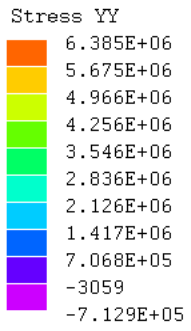
ნახ. 5-3. გვირაბის მოკეთებისა და გარემომცველი მასივის პორიზონტალურ (X მიმართულებით) გადაადგილებათა იზოზონები (გადაადგილებების მნიშვნელობები მოცემულია მეტრებში)



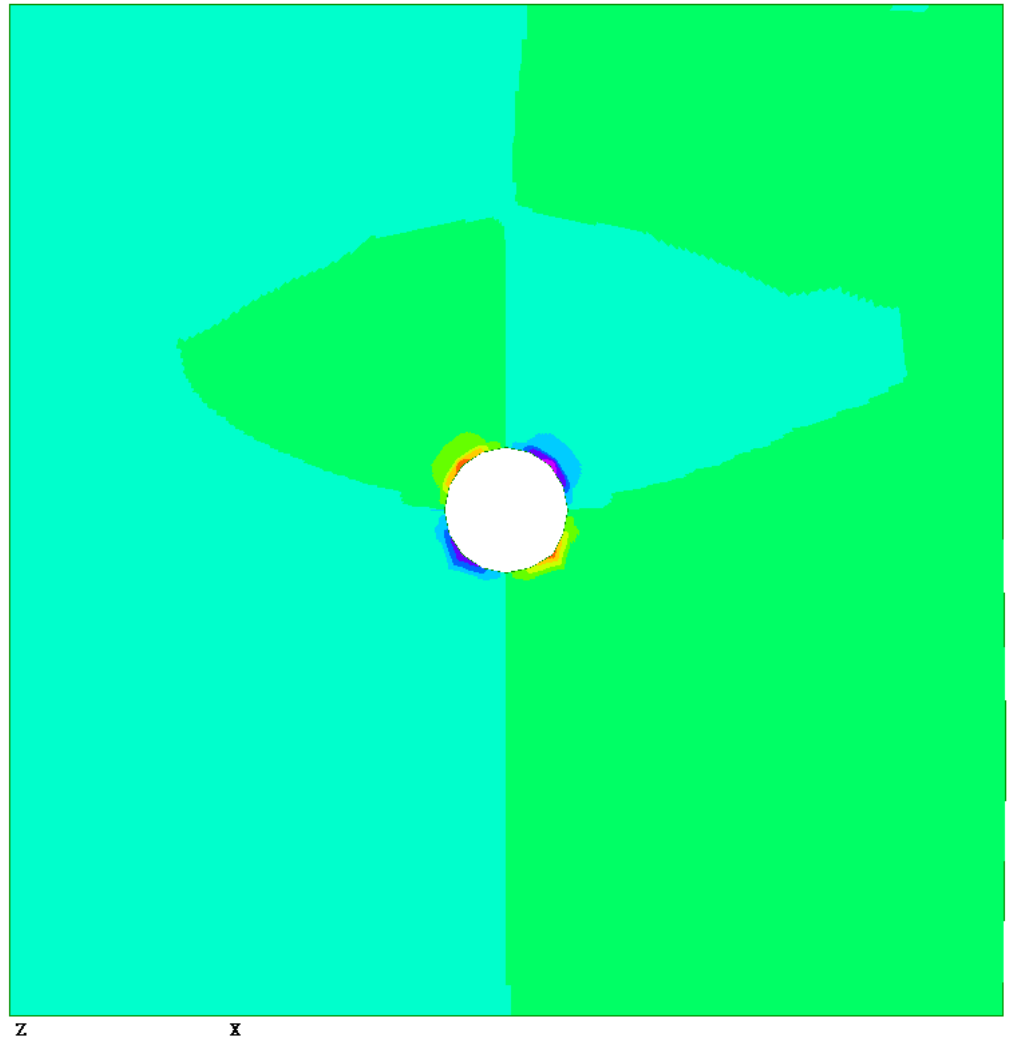
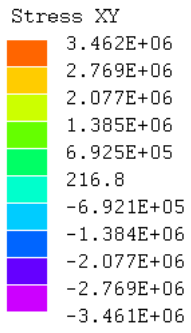
ნახ. 5-4. გვირაბის მოკეთებისა და გარემომცველი მასივის ვერტიკალურ (Y მიმართულებით) გადაადგილებათა იზოზონები (გადაადგილებების მნიშვნელობები მოცემულია მეტრებში)



ნახ. 5-5. გვირაბის მოკეთებასა და გარემომცველ მასივში ჰორიზონტალური σ_x დაბეჭდვის იზოზონები (დაბეჭდვის მნიშვნელობები მოცემულია N/m^2 - ში)

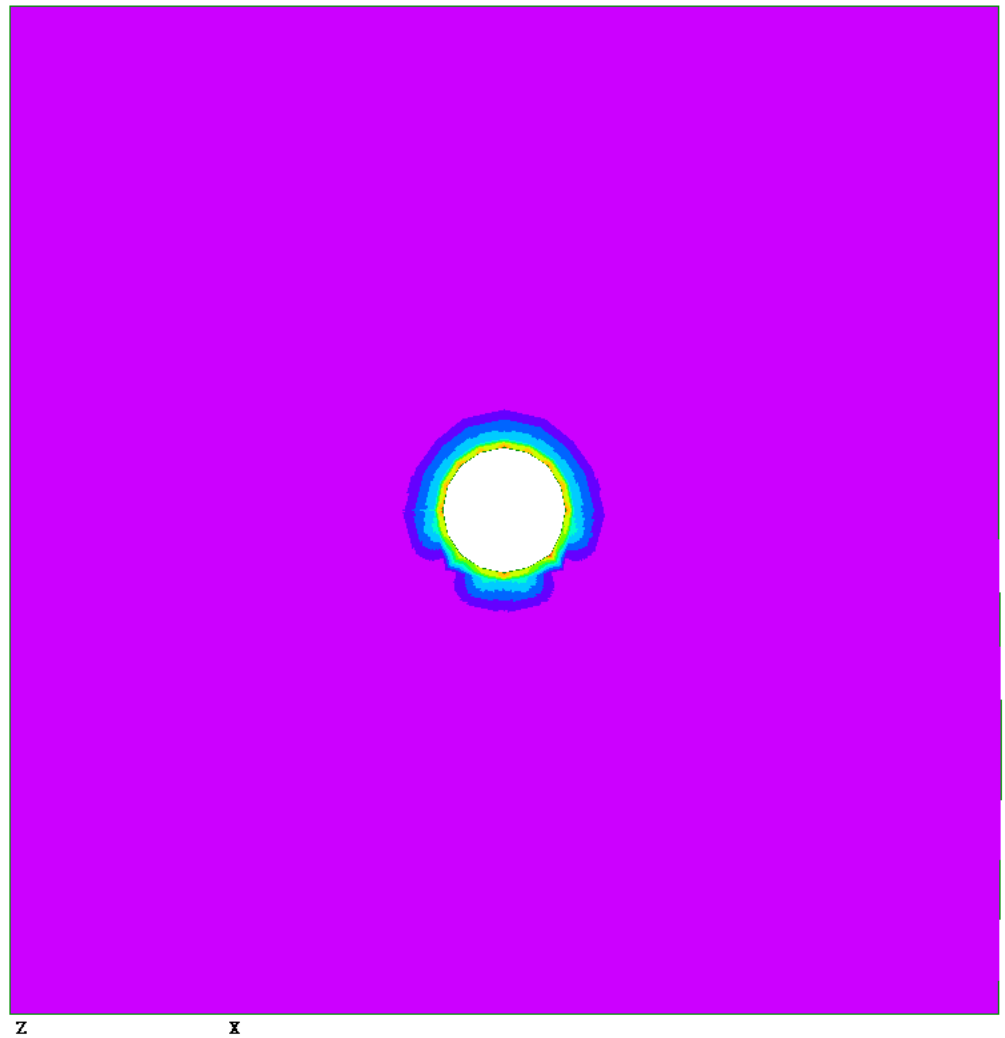
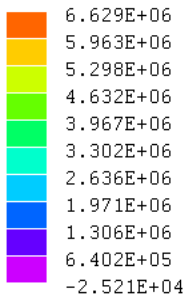


ნახ. 5-6. გვირაბის მოკეთებასა და გარემომცველ მასივში ვერტიკალურ σ_y დაბეჭდვის იზოზონები (დაბეჭდვის მნიშვნელობები მოცემულია N/m^2 - ში)



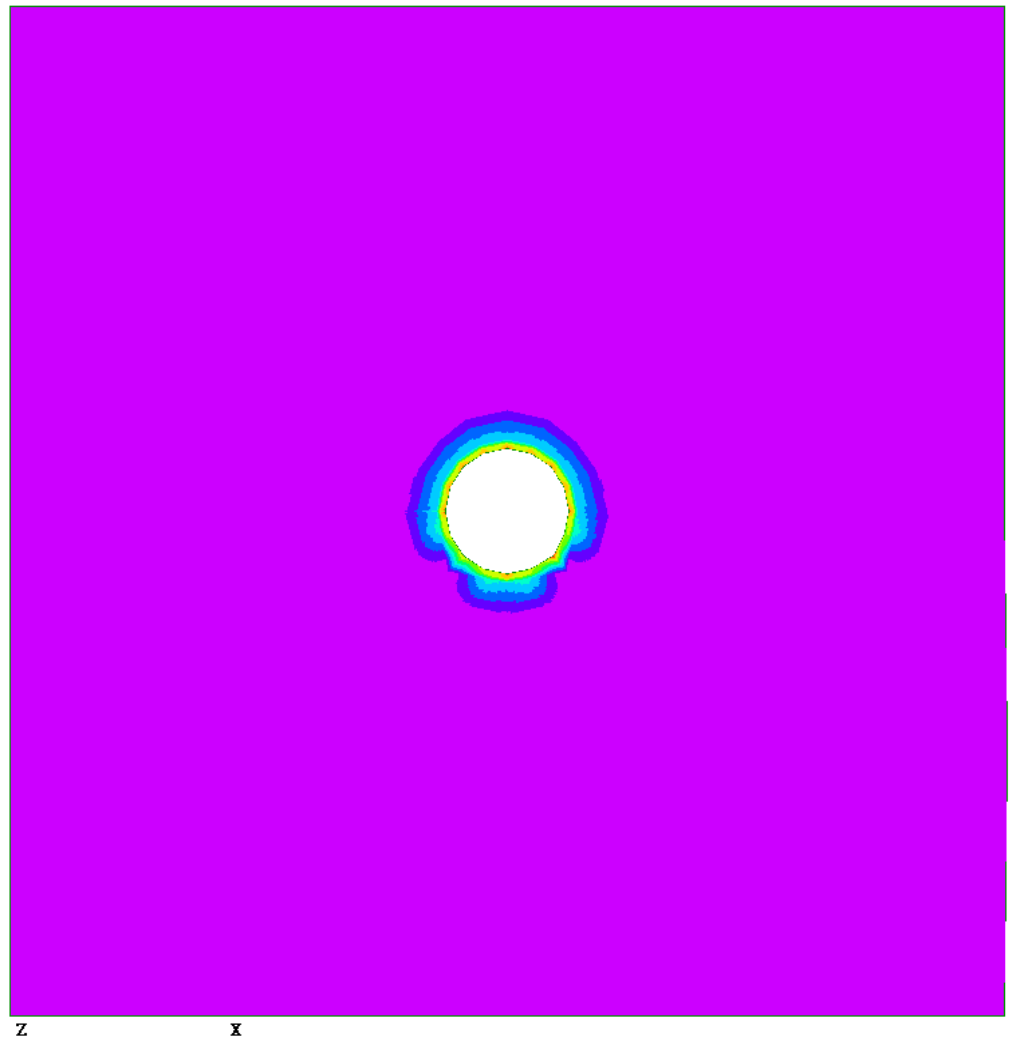
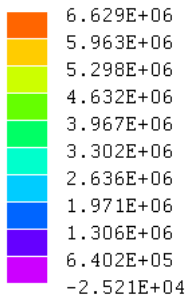
ნახ. 5-7. გვირაბის მოკეთებასა და გარემომცველ მასივში მხები τ_{xy} ძაბვების იზოზონები (ძაბვების მნიშვნელობები მოცემულია N/m^2 - ში)

Principal Stress 1



ნახ. 5-8. გვირაბის მოკეთებასა და გარემომცველ მასივში მთავარი σ_1 დაბეჭდვის იზოზონები (დაბეჭდვის მნიშვნელობები მოცემულია N/m^2 - ში)

Principal Stress 1

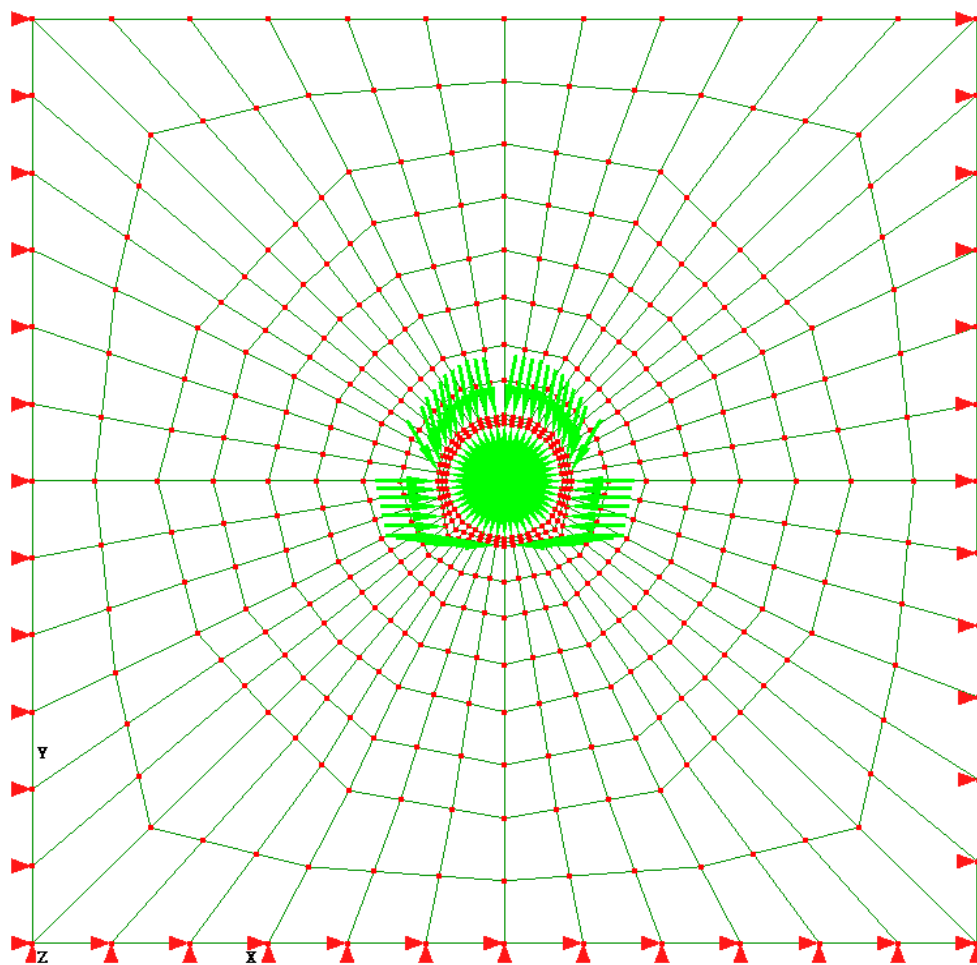


ნახ. 5-9. გვირაბის მოკეთებასა და გარემომცველ მასივში მთავარი σ_2 დაბევის იზოზონები (დაბევის მნიშვნელობები მოცემულია N/m^2 – ში)

შედეგების ანალიზმა აჩვენა, რომ გვირაბის მოკეთების არცერთი მონაკვეთი, მოცემულ საანგარიშო შემთხვევაშიც, არ განიცდის სახიფათო, არც გამჭიმავი და არც მკუმშავი, დაბევის ზემოქმედებას. [შენიშვნა: გადაადგილებები მოცემულია მეტრებში (მ), ხოლო დაბევის მნიშვნელობები - ნიუტონი/მ² (N/m^2) – ში. 1 ნიუტონი (N) = 0,0001 ტ. მაგალითისთვის, $-1.053E+05N/m^2 = -10.53$ ტ/მ² = -1.053 კგ/სმ² = -0.1053 მპა].

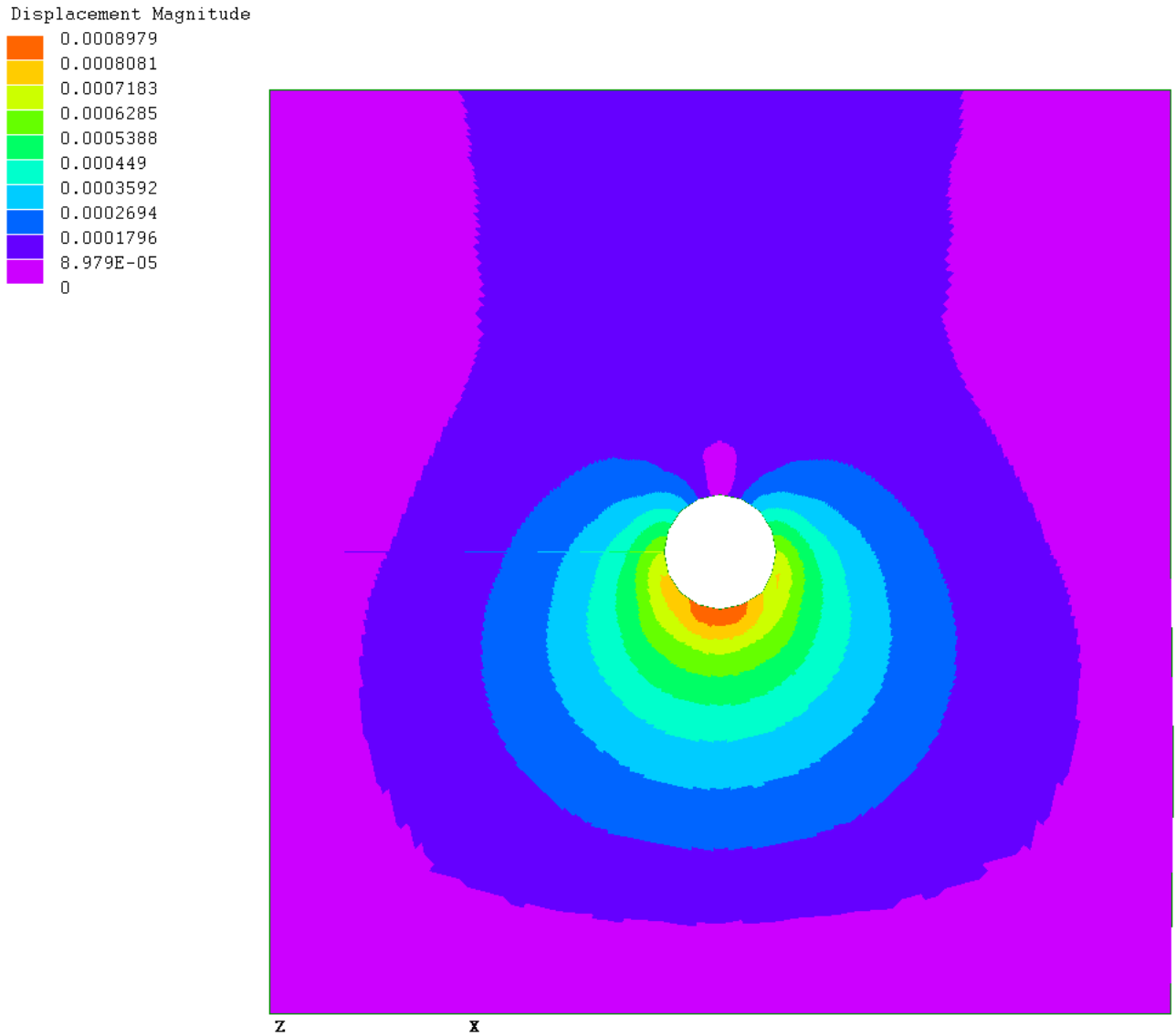
6. გვირაბის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ანალიზი დატვირთვების სრული კომპლექსის (სამთო წნევები, მოკეთების საკუთარი წონა და ჰიდროსტატიკური დაწნევა) გათვალისწინებით

ანალიზის მეოთხე საფეხურზე ჩატარდა გვირაბისა და გარემომცველი ქანების დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ანგარიში სამთო წნევების, საკუთარი წონისა და გვირაბის შიგა პერიმეტრზე ჰიდროსტატიკური დაწნევის მოქმედების შემთხვევაში. ამ დაწნევის სიდიდე აღებული იქნა 70.0 მ-ის ტოლი.

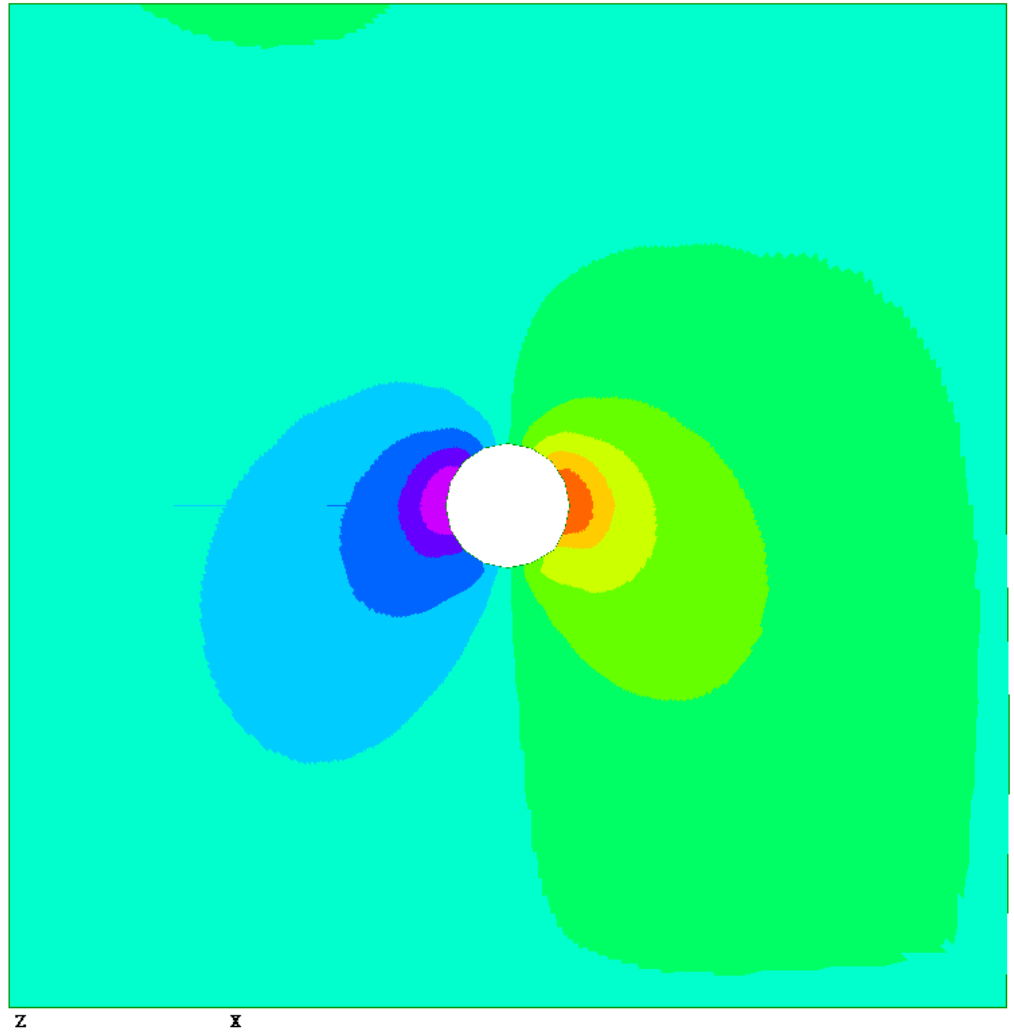
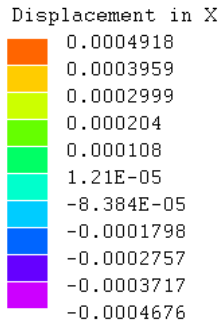


ნახ. 6-1. მოკეთებული გვირაბისა და გარემომცველი მასივის საანგარიშო სქემა მოკეთების საკუთარი წონის, ჰიდროსტატიკური დაწნევისა და სამთო წნევის გათვალისწინებით (კვანძების რიცხვი $M=528$, ელემენტების რიცხვი $N=480$)

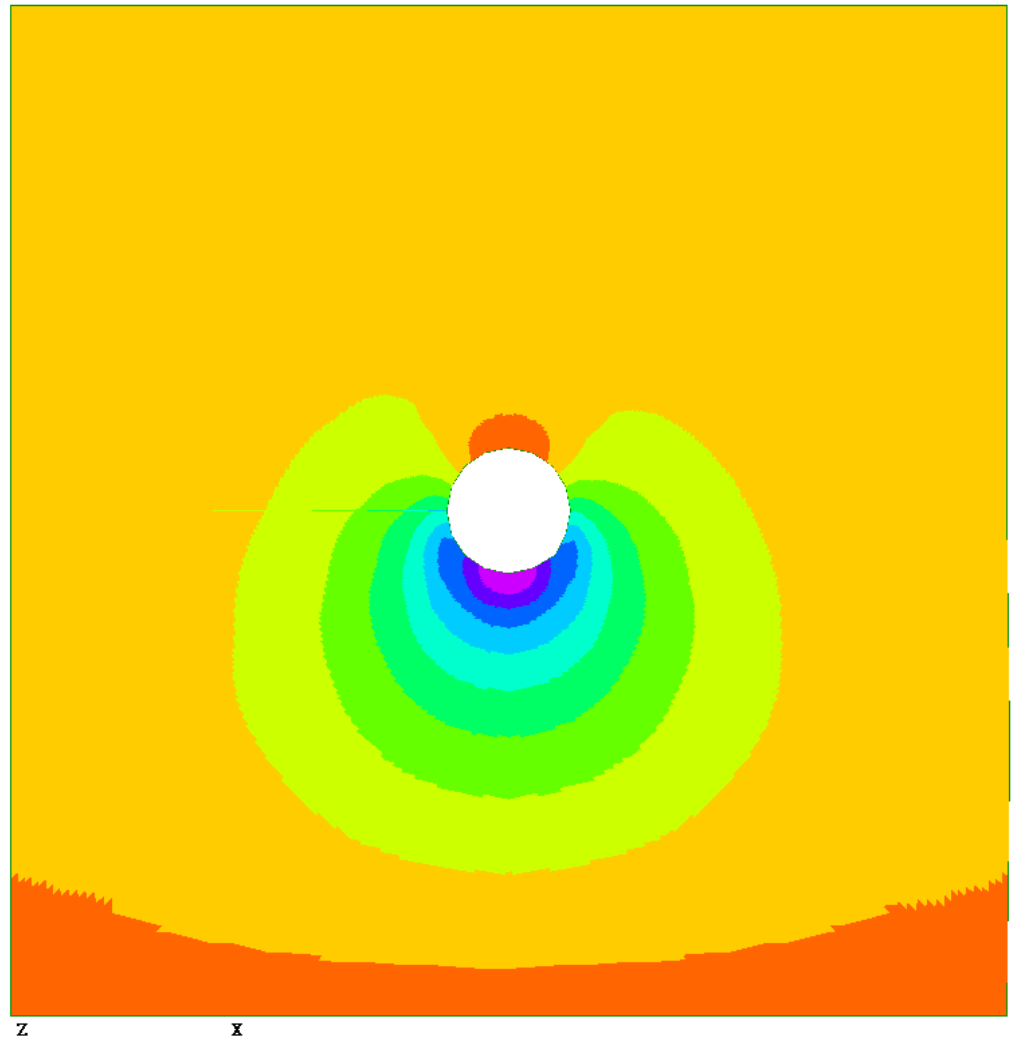
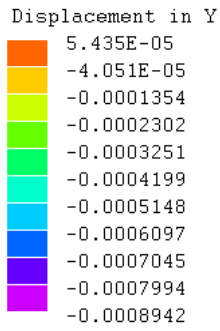
საანგარიშო სქემა მოცემულია ნახ. 6-1-ზე. მიღებული შედეგები წარმოდგენილია ნახ. 6-2-დან ნახ. 6-9-ის ჩათვლით.



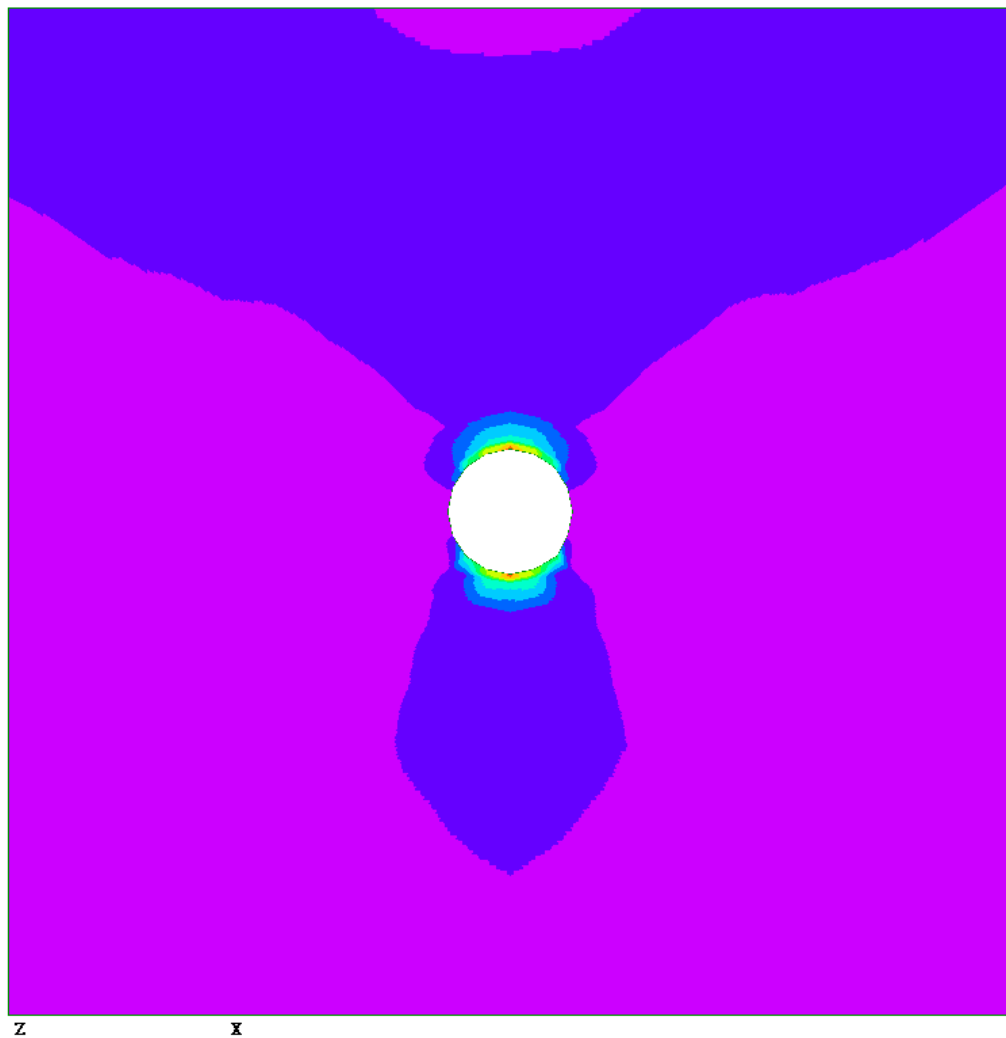
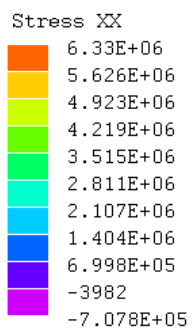
ნახ. 6-2. გვირაბის მოკეთებისა და გარემომცველი მასივის გადაადგილებათა მაგნიტუდების იზოზონები (გადაადგილებების მნიშვნელობები მოცემულია მეტრებში)



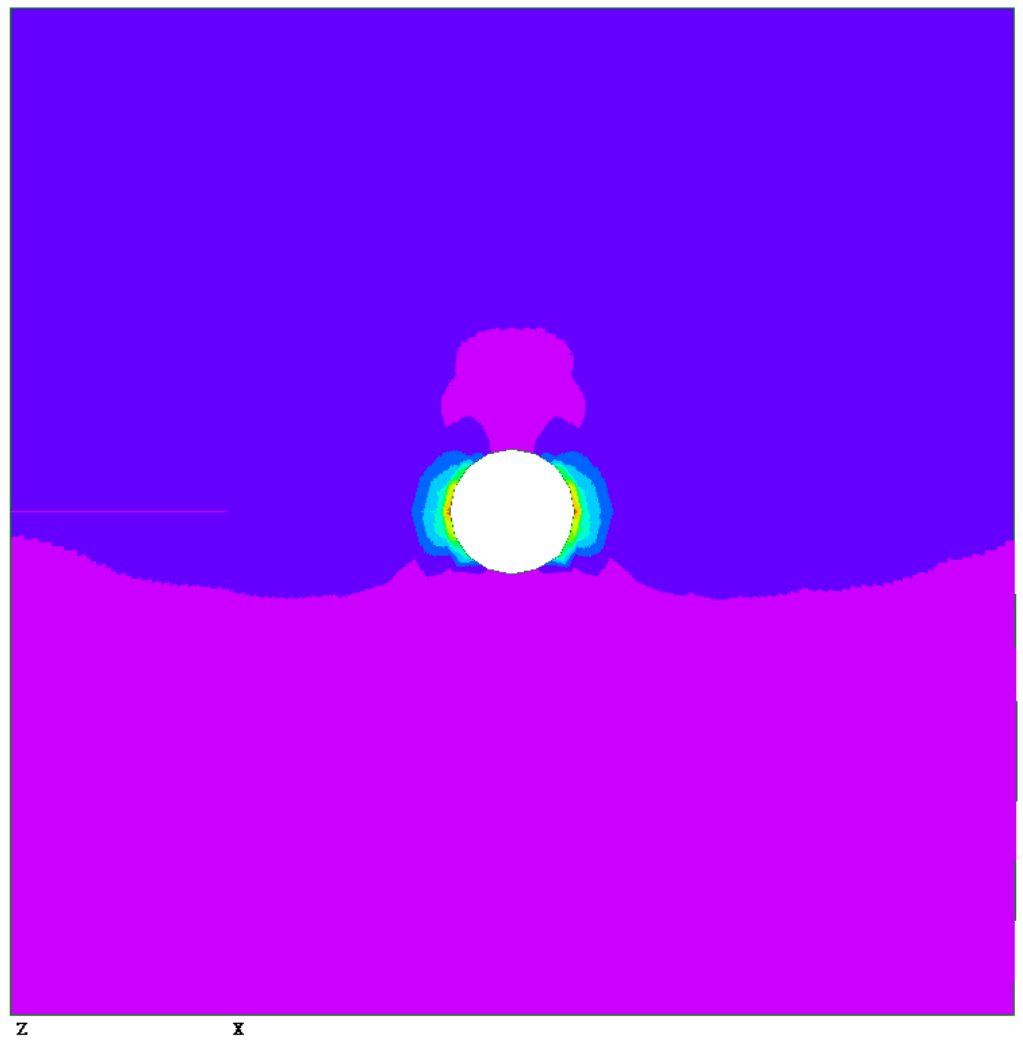
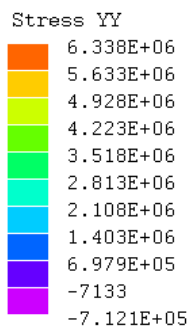
ნახ. 6-3. გვირაბის მოკეთებისა და გარემომცველი მასივის პორიზონტალურ (X მიმართულებით) გადაადგილებათა იზოზონები (გადაადგილებების მნიშვნელობები მოცემულია მეტრებში)



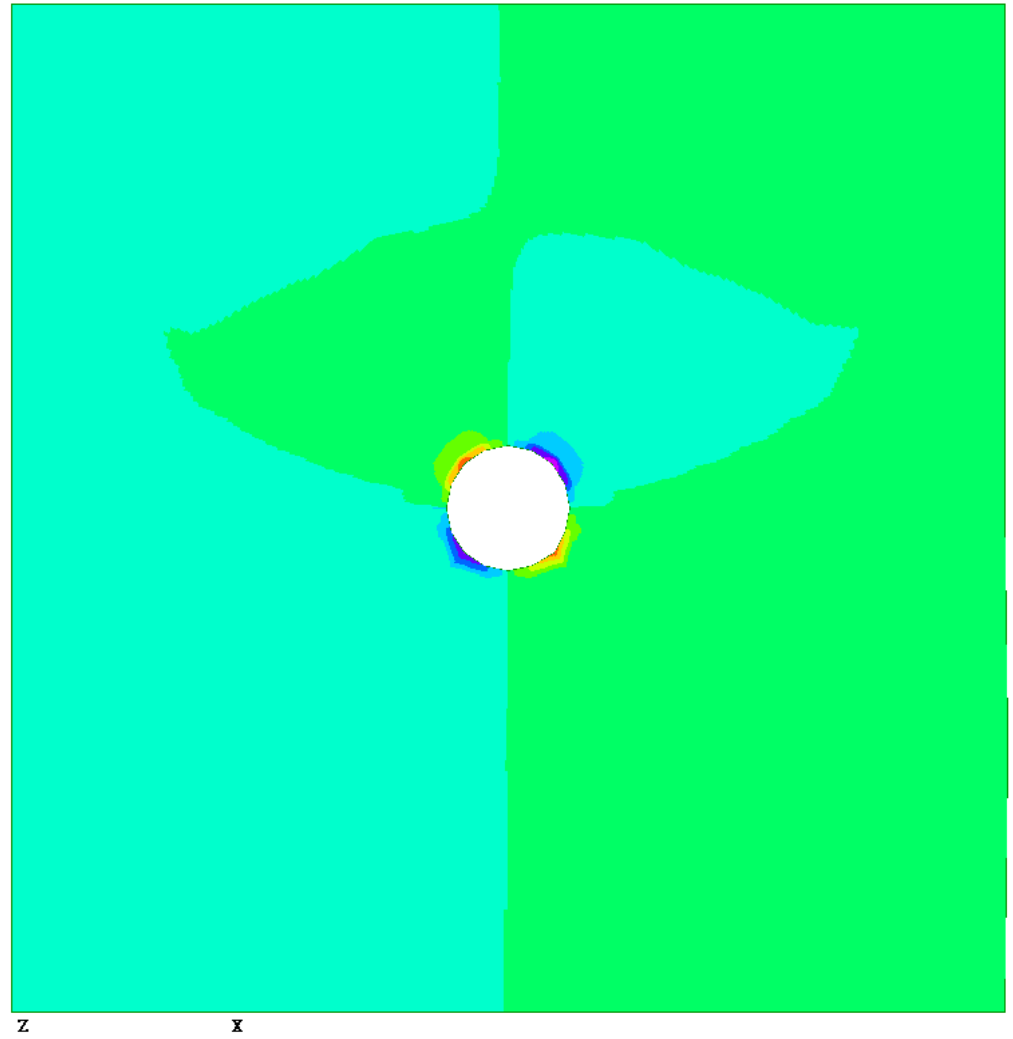
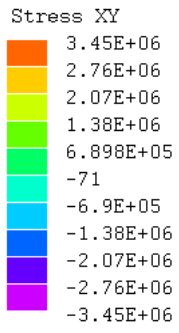
ნახ. 6-4. გვირაბის მოკეთებისა და გარემომცველი მასივის ვერტიკალურ (Y მიმართულებით) გადაადგილებათა იზოზონები (გადაადგილებების მნიშვნელობები მოცემულია მეტრებში)



ნახ. 6-5. გვირაბის მოკეთებასა და გარემომცველ მასივში ჰორიზონტალური σ_x დაბეჭდვის იზოზონები (დაბეჭდვის მნიშვნელობები მოცემულია N/m^2 - ში)

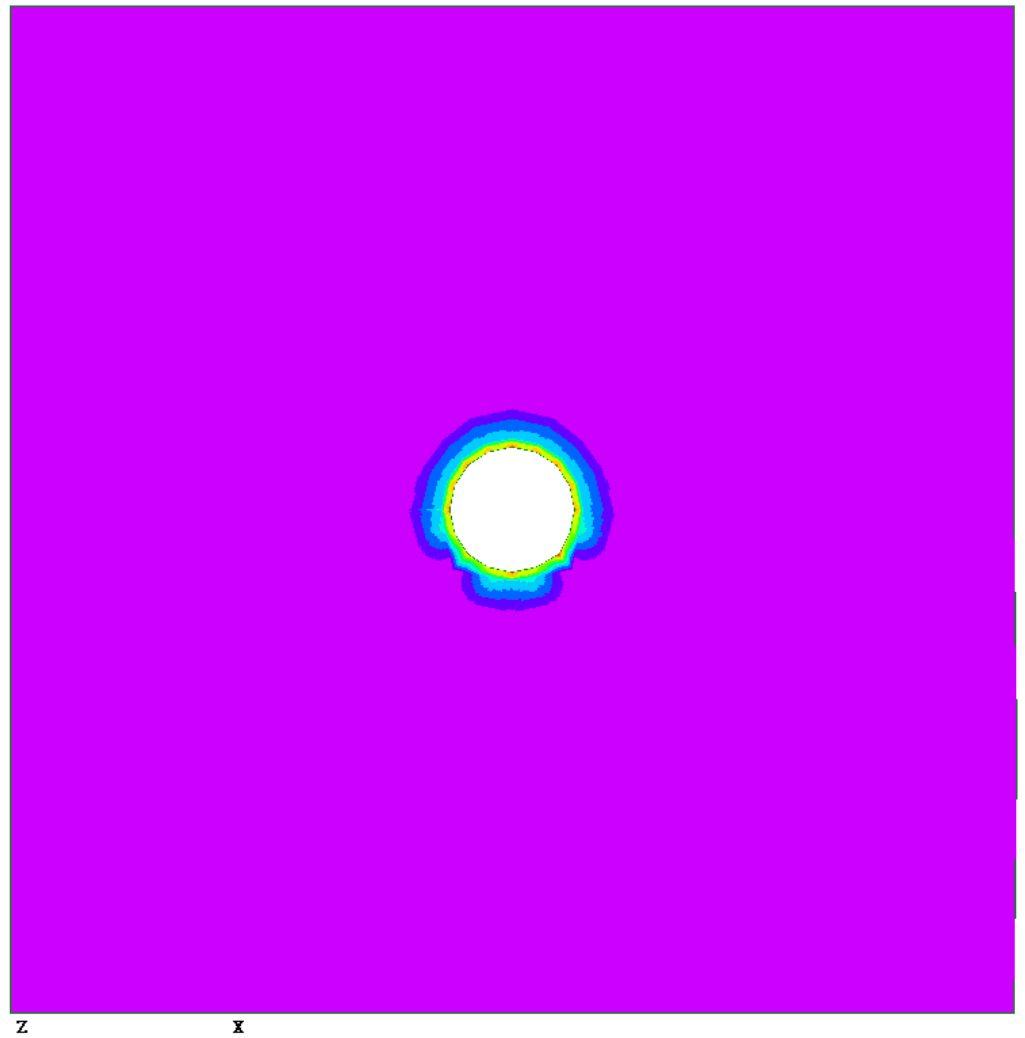
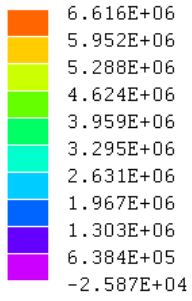


ნახ. 6-6. გვირაბის მოკეთებასა და გარემომცველ მასივში ვერტიკალურ σ_y დაბეჭდვის იზოზონები (დაბეჭდვის მნიშვნელობები მოცემულია N/m^2 - ში)

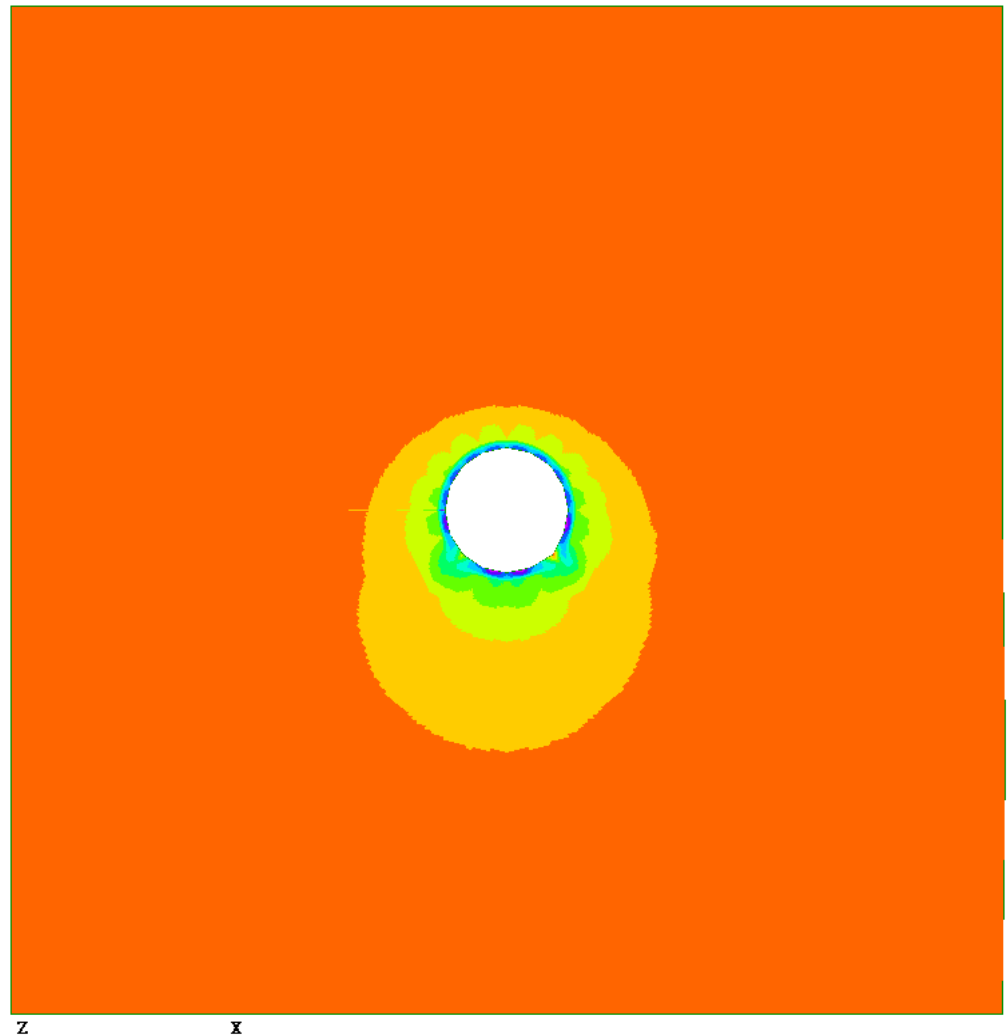
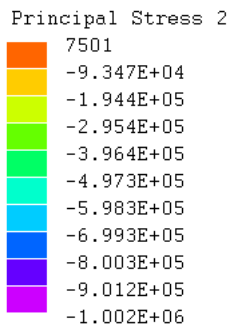


ნახ. 6-7. გვირაბის მოკეთებასა და გარემომცველ მასივში მხები τ_{xy} ძაბვების იზოზონები (ძაბვების მნიშვნელობები მოცემულია N/m^2 - ში)

Principal Stress 1



ნახ. 6-8. გვირაბის მოკეთებასა და გარემომცველ მასივში მთავარი σ_1 დაბრუნების იზოზონები (დაბრუნების მნიშვნელობები მოცემულია N/m^2 - ში)



ნახ. 6-9. გვირაბის მოკეთებასა და გარემომცველ მასივში მთავარი σ_2 დაბევის იზოზონები (დაბევის მნიშვნელობები მოცემულია N/m^2 - ში)

მეოთხე საფეხურის შედეგების ანალიზმაც ნათლად აჩვენა, რომ გვირაბის მოკეთების არცერთი მონაკვეთი, არ განიცდის სახიფათო, არც გამჭიმავი და არც მკუმშავი, დაბევის ზემოქმედებას. [შენიშვნა: გადაადგილებები მოცემულია მეტრებში (მ), ხოლო დაბევის მნიშვნელობები - ნიუტონი/მ² (N/m^2) - ში. 1 ნიუტონი (N) = 0,0001 გ. მაგალითისთვის, $-1.053E+05 N/m^2 = -10.53$ ტ/მ² = -1.053 კგ/სმ² = -0.1053 მპა].

დასკვნები

1. გვირაბების გაყვანის ნორვეგიული მეთოდი (პროგრესული ნორვეგიული, ახალნორვეგიული), რომელიც წარმოადგენს ახალავსტრიული მეთოდის ნაირსახეობას, გამოირჩევა მაღალი საიმედოობით და პროცესის მაღალი ავტომატიზებით. მაღალი საიმედოობა განპირობებულია მოკეთების ბეტონში ფიბროელემენტების (ძირითადად ფიბროფოლადების) დამატებით, რომლებიც საგრძნობლად ზრდიან ბეტონის სიმტკიცის მახასიათებლებს;
2. გვირაბისა და მისი გარემომცველი ქანების დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ანგარიში შემოთავაზებული მეთოდიკით (ანგარიშებში გვირაბის გაყვანის ყველა ეტაპის მოდელირება მისი გაყვანიდან ექსპლუატაციაში შესვლის ჩათვლით) ჩატარდა მშენებარე მტკვარი ჰესის სადაწნეო დერივაციული გვირაბის მაგალითზე;
3. გვირაბისა და მისი გარემომცველი ქანების დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ანგარიში ჩატარდა პროგრამულ კომპლექს LISA –ს საშუალებით, რომლის თეორიული ალგორითმი ეფუძნება სასრული ელემენტების მეთოდს;
4. გვირაბის მოკეთებისა და გარემომცველი ქანების დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ანგარიშმა სამთო წნევაზე და მოკეთების საკუთარი წონაზე აჩვენა, რომ გვირაბის მოკეთების არცერთი მონაკვეთი არ განიცდის სახიფათო გამჭიმავი და მკუმშავი ძაბვების ზემოქმედებას. ეს განაპირობა მოკეთებაში გამოყენებული ფიბრობეტონის სიმტკიცის მაღალმა მაჩვენებლებმა, განსაკუთრებით კი გაჭიმვაზე გაზრდილმა სიმტკიცის ზღვარმა (250 – 330 კგ/სმ²);
5. გვირაბის მოკეთებისა და გარემომცველი ქანების დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ანგარიშმა დატვირთვის სრულ კომპლექსზე (მოკეთების საკუთარი წონა, სამთო წნევა და ჰიდროსტატიკური დაწნევა) ნათლად აჩვენა, რომ გვირაბის მოკეთების არცერთი მონაკვეთი არ განიცდის სახიფათო გამჭიმავი და მკუმშავი ძაბვების ზემოქმედებას;

6. ჩატარებული კვლევების შედეგებმა დაადასტურა გვირაბების გაყვანის ნორვეგიული მეთოდის საიმედოობა და მისი გამოყენების მიზანშეწონილობა საქართველოს პირობებში.

ლიტერატურა

1. Строительные нормы и правила, Туннели гидротехнические, СНиП 2.06.09-84, Государственный комитет СССР по делам строительства, М.1985
2. L.v.Rabcewicz, The New Austrian Tunneling Method (Part 1), *Water Power*, v16, #11, pp. 453-457, November, 1964
3. www.maccaferri.ie – website of Maccaferri Ltd (United Kingdom);
4. Barton, N.R.; Lien, R.; Lunde, J. (1974). "Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support". *Rock Mechanics and Rock Engineering*, Springer, 6 (4): 189–236.
5. Mtkvari HPP, Project Presentation, June, 2011 (http://cei.ge/data/file_db/Presentation/Mtkvari%20HPP%20Project%20Presentation%20June%202011_G-IPf2SfxK.pdf)
6. Руководство по проектированию гидротехнических туннелей. Гидропроект им. С.Я.Жука, М.1982
7. mowoneliZe n., hidroteqnikuri nagebobebi, nawili II, "ganaTleba", Tbilisi, 1982, 375 gv.
8. Brown, R., Shukla, A., and K.R. Natarajan, K.R., Fiber Reinforcement of Concrete Structures, *University of Rhode Island*, September 2002