

---

## STABILIZAREA PRIN INJECTIE LA MARE ADANCIME A TERENURILOR SLAB COEZIVE SI NECOEZIVE

Drd.ing. Ionuț Patraș

Stabilizarea prin injectie la mare adancime a terenurilor slab coezive si necoezive

Universitatea Petroșani,

Facultatea de Mine

Mun. Petroșani, jud. Hunedoara

### ABSTRACT

Cement grouting nowadays is one of the most frequently used techniques used for stabilization of the soil, in civil engineering. It consists in injecting into the rock mass a cement grout mixture under controlled pressures and volumes. The main results expected from this process are: a reduction in permeability and an improvement in terms of mechanical properties. This article briefly describes the main methods, technologies, and applications that jet-grouting are used in. Also, further, the benefits from using this method will be shortly described in mathematical terms, and by a numerical example.

### 1. INTRODUCERE

În prezent, rata de creștere a populației umane și de dezvoltare a industriei ca ansamblu general, generând simultan o creștere a nivelului cerințelor ce solicita o dezvoltare științifică multilaterală în domeniul ingineriei construcțiilor.

Esența acestora constă în păstrarea gradului de siguranță la riscuri de natură structurală, chiar și în cazul în care condițiile naturale nu oferă un cadru favorabil pentru executarea unor anumite lucrări de terasamente sau construcții de orice tip.

În acest cadru, problema de importanță majoră ce necesită soluționare practică se referă la modul cum este determinată și menținută stabilitatea masivelor de pământ, pe intervale de timp cât mai mari. Acest fapt solicita un set amplu, relativ nou, de cunoștințe și informații despre diverse metode de îmbunătățire a solului de suprafață .

Capacitatea rocilor de a-și menține dimensiunile, caracteristicile și forma lor, în momentul dezvelirii unui masiv adiacent, prin execuția de spații subterane, o reprezintă stabilitatea. [1]

În proiectare, precedând începerea lucrărilor (edificii, clădiri, drumuri, poduri, ș.a.), rocile sunt încadrate într-o anumită categorie sau clasă, în raport cu gradul de stabilitate după dezvelire. Frecvența cu care apare nevoia dezvoltării urbane și a infrastructurii (lucrări speciale, drumuri, poduri, edilitare, etc.) în zone mai puțin favorabile pentru aceste tipuri de lucrări, crește exponențial, generând nevoia de aprofundare și dezvoltare a unor concepte și soluții noi. În

România, cele mai frecvente cazuri de terenuri nefavorabile sunt: pământuri sensibile la umezire, argile slab consolidate, pământuri necoezive înfoiate, pamanturi loessoide, mълuri, etc.

Stabilizarea mecanică și fizico-chimică sunt două dintre cele mai eficiente metode pentru îmbunătățirea proprietăților pământurilor prin folosirea unor aditivi, cum ar fi ciment, cenușă de furnal, var și materiale bituminoase [3].

În prezent, dintre diferitele metode de îmbunătățire a caracteristicilor masivelor de rocă, utilizarea de aditivi chimici pentru stabilizarea solului, cu scopul de îmbunătăți caracteristicile de

rezistență a terenului și capacitatea portantă au obținut mai multă atenție, datorită costurilor mai reduse, raportate la volumul mare de teren ce se poate îmbunătăți, la adâncimi mari, în mod neinvaziv.

## 2. DESCRIEREA PRINCIPIILOR

Tehnologia de stabilizare chimică este din punct de vedere chimic metodă modificată, care pot stabiliza și consolida aceste terenuri cu proprietăți nefavorabile diverselor tipuri de construcții care urmează a se executa.

În acest moment, diverse tipuri de aditivi chimici (în formă lichidă și pudră) sunt comercializate în mod activ de către un mic număr de companii.

Mecanismele de stabilizare cu aceste produse nu sunt pe deplin exploatate și înțelese, iar proprietățile lor chimice îngreunează evaluarea mecanismelor de stabilizare și anticiparea performanței lor, date fiind și stratificațiile neuniforme ale terenurilor în areale foarte mici.

Una dintre tehnicile cele mai utilizate este stabilizarea prin coloane, industrializat, din materiale cu caracteristici de rezistență mai mare decât a pamanturilor moi, pentru a-i crește rezistența. Există mai multe studii cu date experimentale, care s-au făcut cu privire la diferite aspecte ale rezistenței pământurilor stabilizate, de către Kawasaki și colaboratorii (1984) în fazele incipiente ale metodelor, și H. Ahnberg și colaboratorii (1995).

Având deja câteva seturi de date experimentale, totuși studiile persistente în acest domeniu sunt necesare în continuare, către noi idei, de exemplu folosirea diferitelor tipuri de liant sau creșterea timpului de întărire pot influența proprietățile de rezistență ale masivelor de pamant moi.

Terenurile moi sunt predispuse la cedare atunci când sunt supuse la suprasarcini mici/medii, datorită compresibilității ridicate.

Prin urmare, ingineria se confruntă mereu cu noi provocări în asigurarea de condiții satisfăcătoare construcțiilor ce vor fi executate, cu costuri reduse, având capacitatea portantă peste nivelul minim de siguranță și reducând efectele de cedări de rezazeme și ale infiltrării apelor.

Pentru a depăși această problemă, aceste terenuri necesită o îmbunătățire semnificativă, înainte de executarea construcțiilor ce urmează a se funda peste acestea.

## 3. ÎMBUNĂTĂȚIREA TERENURILOR DE SUPRAFAȚĂ ȘI DE ADÂNCIME PRIN INJEȚII VERTICALE CU LIANȚI HIDRAULICI

În prezent, realizarea de elemente consolidate prin injectare de liant hidraulic are loc printr-un foraj de diametru mic vertical sau inclinat, iar cu ajutorul aparaturii electronice se poate controla cu ușurință poziția în spațiu a capului de frezare/săpare, atât la înaintare, cât și la retragerea acestuia. Cu această tehnică se pot obține roci masive consolidate chiar și prin depășirea obstacolelor îngropate.

În general, injecțiile cu lapte de ciment sunt efectuate până la adâncimi de 20-30 de metri, deși până în prezent s-au executat și pe adâncimi de până la 100 metri.

Toate tehnicile de injectare cu lianți hidraulici includ o primă fază de foraj, urmată de o fază de retragere însoțită de o rotire în jurul axei cu viteze unghiulare bine determinate în prealabil, cu injectarea simultană a fluidului, folosind viteze ale fluidelor de peste 100m/sec.

În funcție de numărul de fluide utilizate, euronorma EN 12716, se disting trei tehnici de injectare principale:

- Monofluid, caz în care dezintegrarea și amestecarea solului in situ este realizată de către un jet de apă/ciment. Diametrele elementelor consolidate care se obțin sunt în medie între 0,4 și 1,0m, funcție de teren, presiunea fluidului și viteza de retragere.

- cu două fluide, caz în care dezintegrarea și amestecarea solului in situ este realizată de către un jet de apă combinată cu ciment și aer. Diametrele obținute sunt cuprinse între 0,8 și 2.5metri.

- cu trei fluide, caz în care dezintegrarea și îndepărtarea parțială a solului este realizată cu ajutorul unui jet combinat de aer și apă, în timp ce amestecarea simultană a pământului in situ este încredințată unui jet compus din apă și ciment. [4]

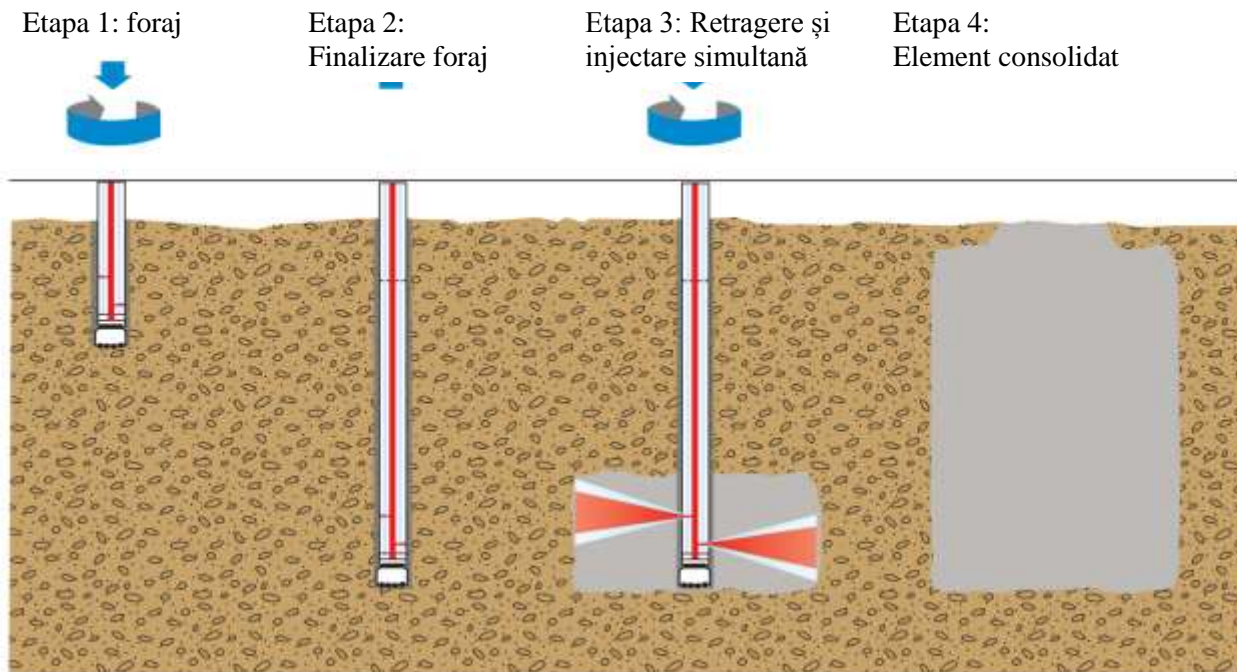


Fig.1 Etape principale [4]

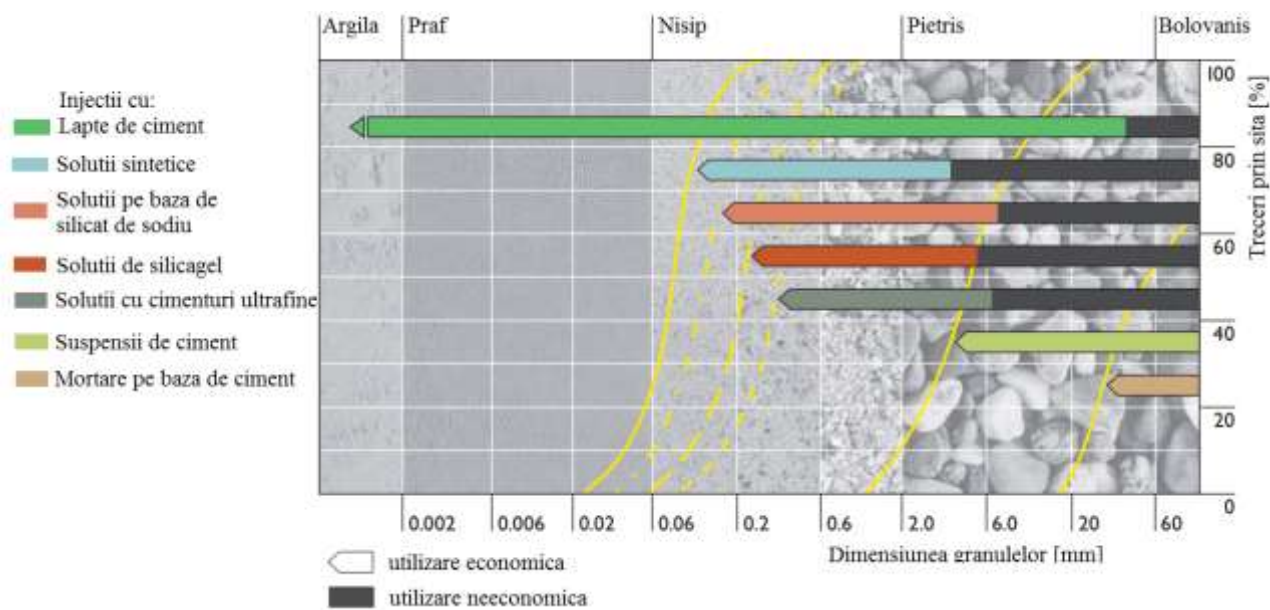


Fig.2 Tipuri de materiale pentru injecție în rocă și productivitatea acestora, funcție de tipul de pământ [5]



Instalațiile ce se folosesc în mod uzual pentru executarea unor asemenea lucrări sunt:

- instalația propriu-zisă (fig.3)
- spații de stocare apă ciment: containere, silozuri și pentru amestec compact;
- instalație de amestec componente;
- motocompresor;
- unitatea de pompare.
- elemente de legătură: furtune de mare presiune, conexiuni și linii de cablu de control conectate.

Lungimea de foraj variază funcție de tipul de foraj, de la 2,0 m în spații restrânse (subsoluri sau cu arbori) până la 35,0 m în zone deschise.

Punctele în care se forează sunt în mod normal situate în mici șanțuri, echipate la un capăt cu pompe de nămol, pentru transportul gravitațional al excesului de material, un amestec de apă-ciment-pământ, dirijat către iazuri sau rezervoare.



Fig.3 Exemplu de instalație de jet-grouting [5]

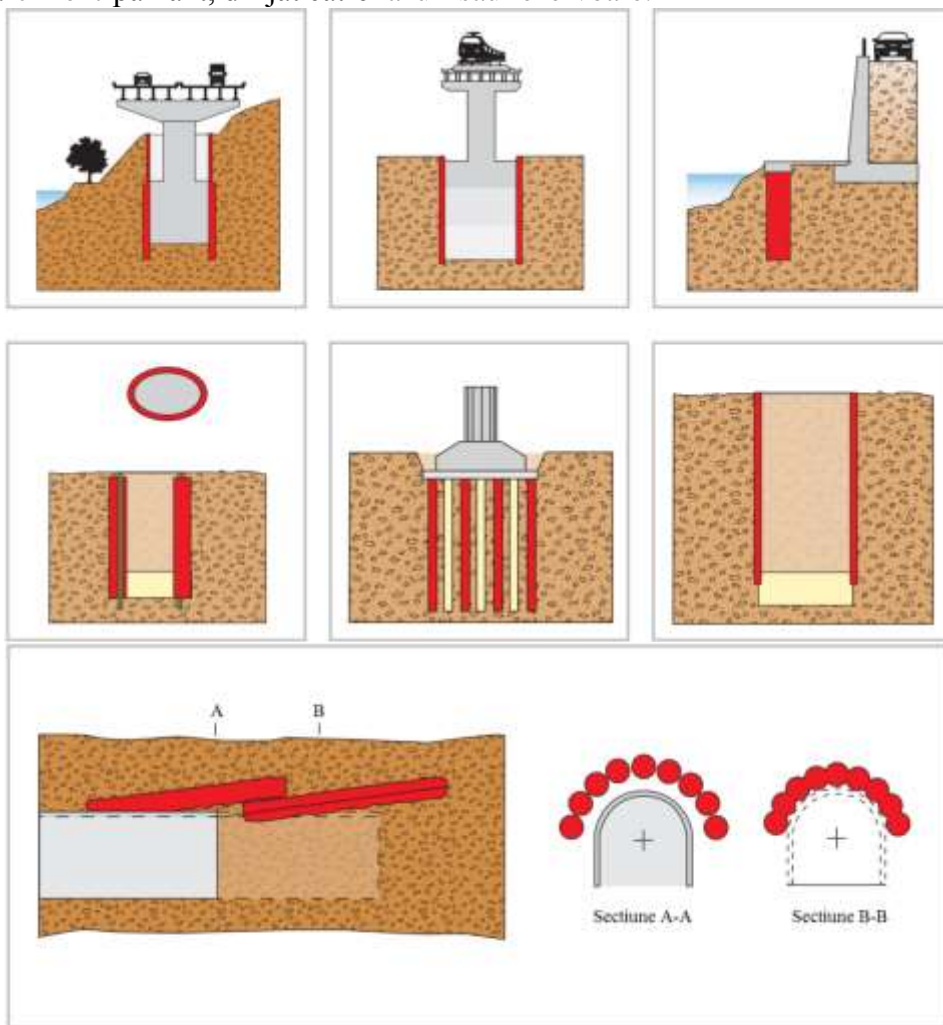


Fig.4 Exemple de utilizare a coloanelor de rocă stabilizate prin jet-grouting[4]

#### 4. EXEMPLIFICARE MODEL MATEMATIC

Întrucât tehnologia de calcul are o creștere semnificativă, s-au dezvoltat metode de calcul tridimensionale, bazate analiza numerică, cum ar fi metoda de analiză Lagrange, pentru trei variabile.

Se va considera un taluz, adiacent unui drum nou proiectat. Pentru evitarea stabilizării acestuia prin metode clasice (geogriile, tiranți, torcretări), se propune spre studiu oportunitatea utilizării tehnologiei de jet-grouting.

Pentru a calcula eficient zonele în care se impune procedeul, soluții analitice sunt efectuate, prezentate în figura alăturată.

În modelul de calcul, unghiul terenului natural este  $\beta_2$ , grosimea masivului este  $d$ , unghiul de înclinare proiectat este  $\alpha$ , unghiul planului comun este  $\beta_1$ , distanța dintre  $B_i$  și  $C$  este  $L_i$ .

Este evident că stabilitatea pantei este controlată de planul descris de  $B_iD_i$ .

Pentru planul  $B_iD_i$ , factorul de siguranță se poate scrie ca raport dintre forța care se opune alunecării și forța care tinde să destabilizeze masivul de pământ:

$$F_s = \frac{S^{BD}}{\tau^{BD}} = \frac{F_k^i}{F_x^i} \quad (1)$$

Lungimea segmentului  $|D_iC|$  se poate scrie:

$$|D_iC| = \frac{L_i \sin(\beta_1 - \beta_2)}{\sin(\alpha - \beta_1)} \quad (2)$$

Greutatea masivului  $B_iD_iC$  se poate scrie:

$$G_{B_iD_iC} = \frac{1}{2} \gamma \cdot d \cdot |B_iC| \cdot |D_iC| \sin(\alpha - \beta_2) \quad (3)$$

Forțele active și pasive se pot scrie:

$$F_k^i = G_{B_iD_iC} \cos \beta_1 \tan \phi_j + \frac{c_j L_i \sin(\alpha - \beta_2) \cdot d}{\sin(\alpha - \beta_1)} \quad (4)$$

$$F_x^i = G_{B_iD_iC} \sin \beta_1 \quad (5)$$

unde:  $\phi_j$  este unghiul de frecare internă și  $c_j$  este coeziunea pământului

Inlocuind  $F_k^i$  și  $F_x^i$ , din (4) și (5), se obține:

$$F_s = \frac{G_{B_iD_iC} \cos \beta_1 \tan \phi_j + \frac{c_j L_i \sin(\alpha - \beta_2)}{\sin(\alpha - \beta_1)}}{G_{B_iD_iC} \sin \beta_1} \quad (6)$$

Pentru starea critică, situație în care  $F_s=1$ :

$$L_{cr} = \frac{2c_j}{\gamma \sin(\beta_1 - \beta_2) (\sin \beta_1 - \cos \beta_1 \tan \phi_j)} \quad (7)$$

Concluzii: Dacă  $|AC| > L_{cr}$ , atunci taluzul este instabil. Dacă  $|AC| = L_{cr}$ , putem spune că taluzul se află în stare critică stabilă.

În urma procedurii de jet-grouting, la creșterea lui  $c$  și al unghiului de frecare  $\phi_j$ , atunci  $L_{cr}$  va crește, iar probabilitatea ca acesta să fie depășit de  $L_0$  devine tot mai mică.

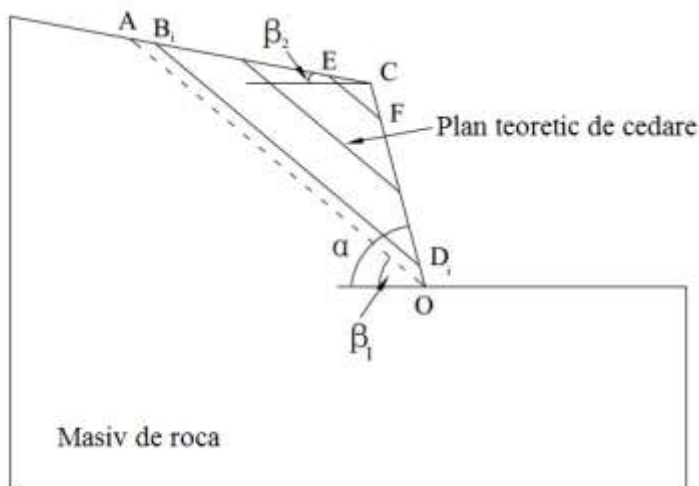


Fig.5 Model calcul: elemente geometrice

### 5. EXEMPLIFICARE SIMULARE NUMERICĂ [6]

Aceeași problemă descrisă anterior se va trata în model de calcul automat, folosind date geometrice concrete, conform fig. 6. Programul rulează folosind Metoda Elementului Finit (MEF).

Modelul conține 9.795 elemente finite triunghiulare, din materiale descrise mai jos, care împreună constituie un ansamblu de forma descrisă în fig.6.

Unghiul natural este de 10°, iar unghiul planului de cedare cu orizontala este de 40°. Conform relației nr. 7,  $L_{cr}=12,71m$ ,  $L_0=54,26m$ ,  $L_1=9,51m$ ,  $L_2=29,09m$ .

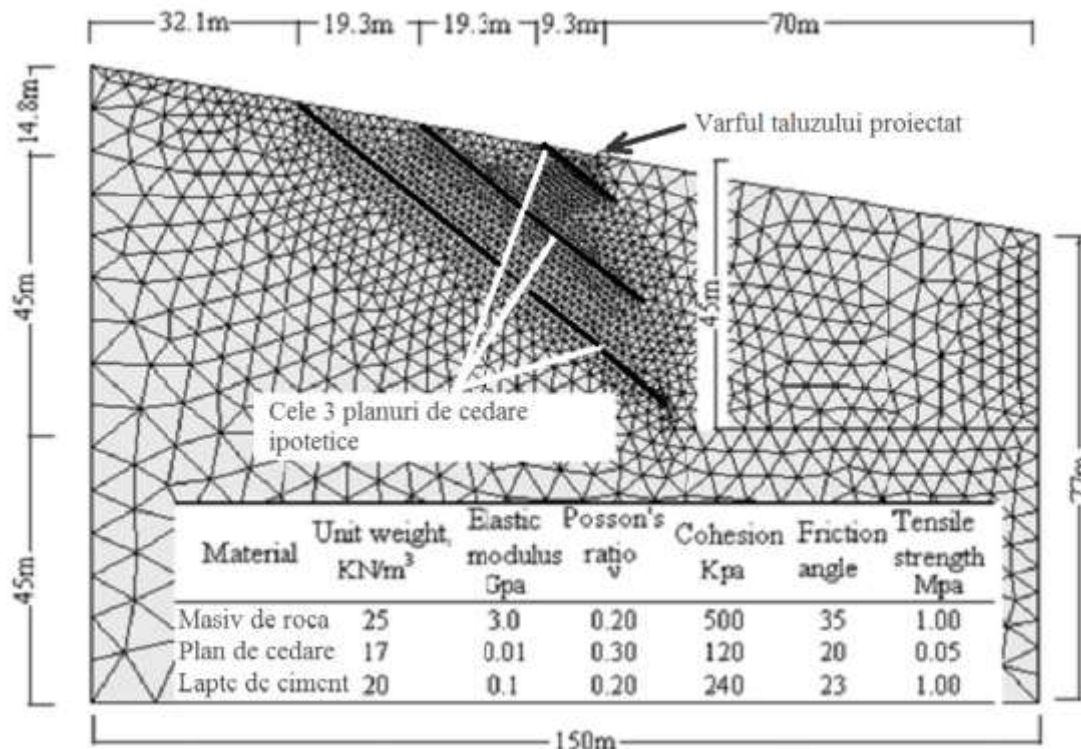


Fig.6 Ipoteza: geometrie masiv studiat si caracteristici mecanice a materialelor

Cele trei planuri de cedare conțin materialul descris prin "Plan de cedare".

Simularea se face în timp. Se vor monitoriza punctele de la vârful taluzului (P1) până la baza taluzului (P10).

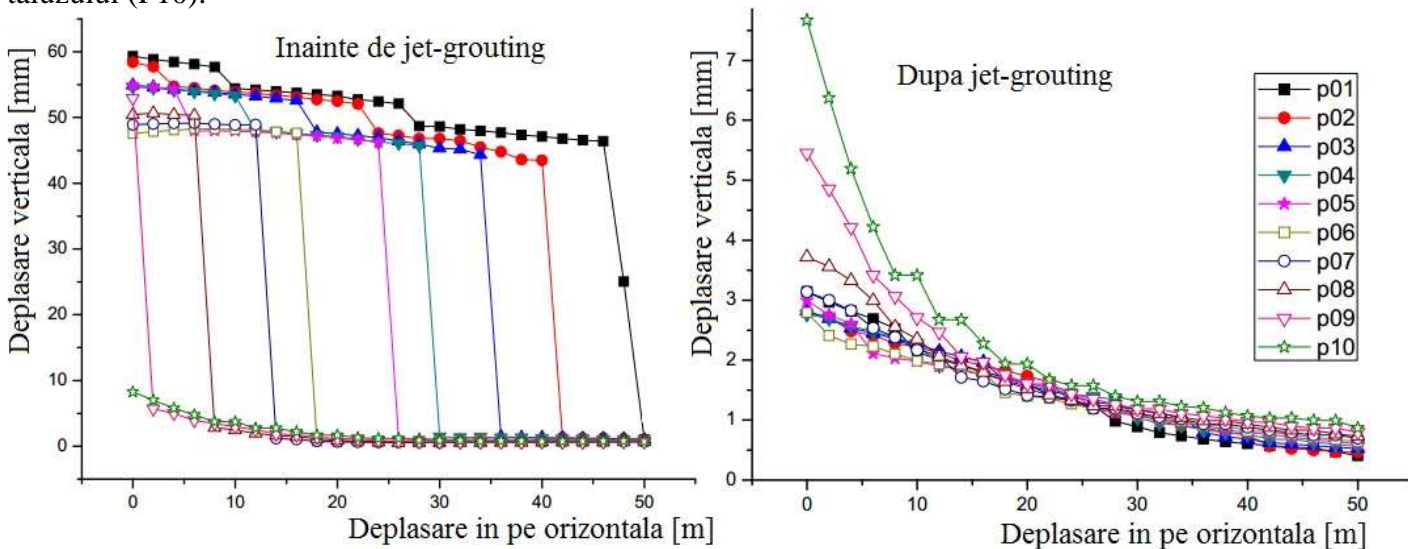


Fig.7 Deplasări absolute ale punctelor de pe taluz



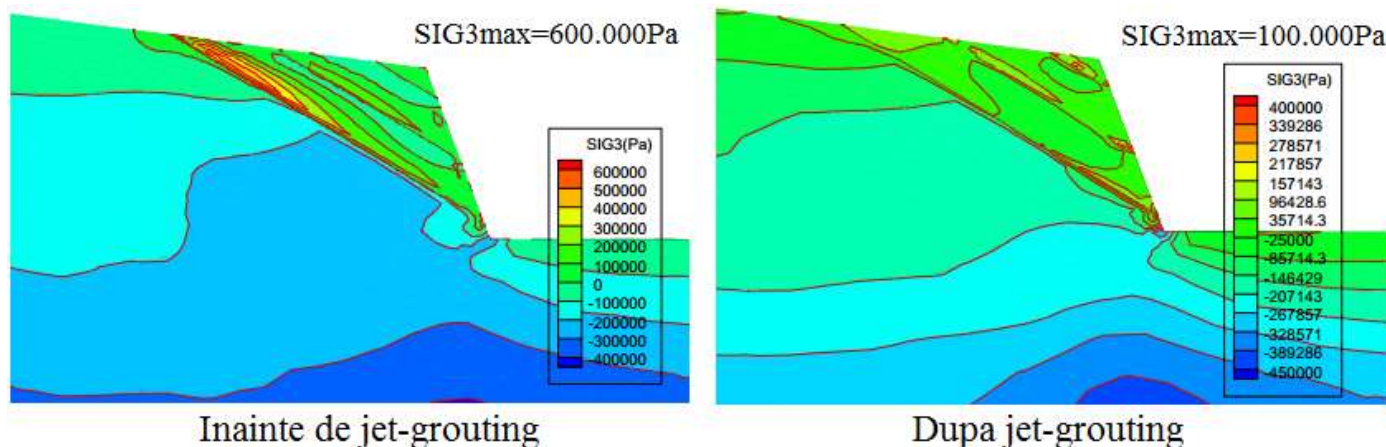


Fig.8 Starea plană de tensiuni în masivul de pământ

Figura 8 prezintă tensiunile maxime principale în taluz, înainte și după procedeul de jet-grouting. Tensiunea maximă principală este factorul esențial pentru a determina comportarea unui masiv de pământ. În funcție de criteriul MohrCoulomb, atunci când starea tensiunilor principale într-un element infinit mic duce la cedare, forța de dezechilibru al acestei particule se transferă în particulele adiacente, care contribuie la creșterea forței de dezechilibru la rândul lor, astfel se ajunge la inițierea fenomenului de alunecare.

După excavare, cele mai multe părți ale taluzului sunt în stare stabilă, tensiunea maximă principală în aceste puncte este de compresie. Dar în punctele de lângă planul de cedare, tensiunile sunt de tracțiune concentrate și pot duce la instabilitatea taluzului.

După jet-grouting, parametrii fizici plani comuni sunt îmbunătățiți, iar rezistență sporită la forfecare creșterea rigiditatea masivului, ceea ce uniformizează câmpul de presiuni. Tensiunile adiacente planului, inclusiv forfecările locale devin mai mici rezultând creșterea semnificativă (de circa 6 ori) stabilitatea taluzului îmbunătățită.

#### BIBLIOGRAFIE

- [1] Dr.ing. Sorin PAVĂL: "Studiul interacțiunii sistemelor geominere de suprafață și subteran pentru reabilitarea edilitară și ecologică a municipiului București"
- [2] „H. Ahnberg, S.E Johansson, A.L. Retelius, C. Jungkrantz, L. Holmqvist, G. Holm, G.(1995) "Cement and Lime for stabilization of soil at depth – A chemical physical investigation of soil improvement effects" Swedish Geotechnical Institute, Linkoping, Suedia ,Raport Nr.48,213
- [3] J.K. Mitchell (1993) "Fundamentals of soil behavior" (2nd Ed.), John Wiley, New York
- [4] Trevi, " Jet Grouting", trevispa.eu
- [5] Keller, "The Soilcrete Jet Grouting Process - Brochure 67-03 E" kellerholding.com
- [6] Wenyuan Li și Qihong Wu: "Grout Improvement Effect in Jointed Rock Slope by Numerical Modeling Method ", ejge.com