

UNIVERSITATEA TEHNICĂ DE CONSTRUCȚII BUCUREȘTI
FACULTATEA DE HIDROTEHNICĂ

TEZĂ DE DOCTORAT
Rezumat

**Îmbunătățirea terenurilor de fundare
loessoide prin amestecuri loess cu ciment**

Doctorand

NGUYEN CONG Dinh

Conducător de doctorat

Prof. Univ. Dr. Ing. Sanda MANEA

București, 2019

CUPRINS

CUPRINS.....	1
1. INTRODUCERE	3
2. LOESSUL CA TEREN COLAPSIBIL	3
3. IDENTIFICARE ȘI CARACTERIZARE	3
3.1 Metode internaționale	3
3.2 Metode din normele românești (NP 125).....	3
3.2.1. Identificarea și încadrarea PSU	3
3.2.1.1. Criterii referitoare la compoziție și proprietăți fizice:	3
3.2.1.2. Criterii referitoare la comportamentul mecanic.....	3
3.2.2. Încadrarea unui pământ ca PSU	4
4. ESTIMAREA UMEZIRII	4
4.1. Din literatura internațională	4
4.2. Prevederi din Romania –NP-125- Calcul tasare suplimentară.....	4
5. ÎMBUNĂTĂȚIREA TERENULUI.....	4
5.1. PE PLAN INTERNAȚIONAL	4
5.2 PREVEDERI SPECIFICE ÎN ROMÂNIA PENTRU ÎMBUNĂTĂȚIREA TERENULUI	4
5.2.1. Compactarea terenurilor cu maiul greu.	4
5.2.2. Compactarea de adâncime cu coloane de pământ.....	4
5.2.3. Compactarea de adâncime cu coloane de balast, nisip, piatră spartă și alte materiale locale.....	4
5.2.4. Compactarea terenurilor cu vibromaiul.	4
5.2.5. Compactarea terenurilor prin vibroîntețpare.....	4
6. RASPÂNDIREA LOESSURILOR ÎN ROMÂNIA.....	4
6.1. CARACTERISTICILE LOESSURILOR.....	4
6.2. RASPÂNDIREA LOESSURILOR ȘI PĂMÂNTURILOR LOESSOIDE ÎN ROMÂNIA	5
7. PRINCIPALELE METODE DE TRATAMENTULUI LOESSULUI COLAPSIBIL DIN ROMANIA.....	5
7.1. CLASIFICAREA LOESSULUI.....	5
7.1.1. Clasificarea loessului după normativul internațional	5
7.1.2. Clasificarea loessului după normativul românesc (capitolul 5.5 NP 125)	5
7.2. METODE DE PRECONSTRUCȚIE ȘI ELIMINAREA COLAPSIBILITĂȚII.....	6
7.2.1. Compactarea prin batere cu maiul.....	6
7.2.2. Compactarea prin piloți de pământ	6
7.2.3. Compactare cu piloți de beton	6
7.2.4. Perne de fundare.....	6
7.2.5. Compactarea prin inundare.....	6
7.2.6. Compactarea prin preumezire și explozii	6
7.2.7. Amestecarea loessului în adâncime.....	6
7.2.8. Drenajul bazei loessului.....	6
7.3. METODE DE CONSOLIDARE A LOESSULUI SUB FUNDAȚIILE CLĂDIRILOR PRĂBUȘITE	6
7.3.1. Injecții cu mortar de silicați	6
7.3.2. Stabilizare prin încălzire	6
7.3.3. Stabilizare prin jet grouting	6
7.3.4. Comprimare prin injectare.....	7
7.3.5. Subzidirea fundațiilor folosind piloți forți	7
7.3.6. Injecția cu componente polimerici.....	7
7.3.7. Injecția cu suspensie de argilă.....	7

8. ÎNCERCĂRI DE LABORATOR ÎN VEDEREA ÎMBUNĂTĂȚIRII PĂMÂNTURILOR SENSIBILE LA UMEZIRE.....	7
8.1. OBIECTIVELE PROGRAMULUI EXPERIMENTAL.....	7
8.2. ÎNCERCĂRI REALIZATE	7
8.2.1. Încercări pe loess fără ciment	7
8.2.2. Încercări pe loess cu 2% ciment (metoda 1).....	7
8.2.3. Încercări pe loess cu 4% ciment.....	8
8.2.3.1. Loess cu 4 % ciment amestecat cu metoda 1	8
8.2.3.2. Loess cu 4 % ciment, amestecare cu metoda 2.....	8
8.2.4. Încercări pe loess cu 6% ciment.....	8
8.2.4.1. Loess cu 6 % ciment amestecat cu metoda 1	8
8.2.4.2. Loess cu 6 % ciment, amestecat cu metoda 3.....	8
8.2.5. Încercări pe loess cu 6% ciment cu timpi de așteptare diferiți după amestecare până se face încercarea proctor.....	9
8.2.6. Încercările Proctor: loess cu conținut de cimenturi diferite (0-2-4-6%) la aceeași umiditate (aproximativ la umiditatea optimă), metoda de amestecare 3.	9
8.3. REZULTATE OBȚINUTE.....	9
8.3.1. Caracteristicile probelor de loess amestecat cu diferite conținuturi de ciment.....	9
8.3.2. Comparatie între metode de amestecare a loessului cu ciment.....	11
8.3.2.1. Comparatie între metoda 1 și metoda 2.....	11
8.3.2.2. Comparatie între metoda 1 și metoda 3.....	13
8.3.2.3. Concluzie despre metoda de amestecare loess cu ciment	15
9. APLICAȚIE PENTRU CONSTRUIREA UNUI PARC EOLIAN: SOLUȚIE ÎNTERGRATĂ DE ÎMBUNĂTĂȚIRE A TERENULUI.....	15
9.1. INTRODUCERE.....	15
9.2. CONDIȚIILE DE TEREN ȘI PROIECTAREA TURNULUI EOLIAN	15
9.2.1. Condițiile de teren	15
9.2.2. Proiectarea turnului eolian.....	15
9.3. METODA DE ÎMBUNĂTĂȚIRE A TERENULUI	15
9.3.1. Platforma de distribuție a încărcărilor	16
9.3.2. Incluziuni semi-rigide.....	16
9.3.3. Proprietăți ale materialului îmbunătățit	16
9.4. CALCULUL TASĂRII	16
9.4.1. Calcul tasare dată de fundația pe loess natural	16
9.4.1.1. Metoda și modelul de calcul.....	16
9.4.1.2. Calcul tasare și rezultate.....	16
9.4.2. Calcul tasare fundație îmbunătățită cu metoda clasică combinată cu teoria Priebe	16
9.4.2.1. Principiul teoriei Priebe și modelul de calcul.....	16
9.4.2.2. Formule de calcul și aplicarea metodei.....	16
9.4.2.3. Calcul tasare cu metoda clasică cu parametrii geotehnici ai sistemului compozit pământ – coloane, evaluați cu teoria Priebe	16
9.5. REZULTATE OBȚINUTE ȘI CONCLUZII.....	17
9.5.1. Tasarea în cazul în care terenul de fundare nu este inundat (cu umiditatea naturală).....	17
9.5.2. Tasare în cazul în care terenul de fundare este inundat (cu umiditatea saturată) ..	17
9.6. PROPUNERI DE REALIZARE A COLOANELOR.....	18
10. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE	18
10.1. CONCLUZII	18
10.2. CONTRIBUȚII PERSONALE	18
10.3. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE	19
BIBLIOGRAFIE	19

1. INTRODUCERE

Pe mapamond loessul acoperă aproximativ 10% din suprafața uscatului și se găsește pe arii vaste din Europa de Vest până în China, de-a lungul Americii de Nord și în regiuni din America de Sud. Loessul este susceptibil de a se prăbuși după aplicarea încărcării și / sau în prezența apei.

Această teză de doctorat se înscrie în această problematică și prezintă diferite aspecte despre loess și o metodă pentru îmbunătățirea acestuia ca teren de fundare, având titlul:

“Îmbunătățirea terenurilor de fundare loessoide prin amestecuri loess cu ciment”

În lucrare au fost studiate și investigate proprietățile materialelor obținute prin amestec loess - ciment, compactarea cu conținut diferit de ciment și câteva metode tehnologice de amestecare.

Studiul a fost realizat pe loess din zona de sud a României. Cercetările au avut în vedere aplicarea rezultatelor pentru un proiect viitor de parc eolian.

Au fost utilizate două metode diferite de amestecare. Probele au fost preparate în laborator și testate. Rezultatele experimentului privind proprietățile geotehnice ale amestecului au fost utilizate pentru proiectarea unei turbine eoliene. Materialele obținute prin amestec testate au un conținut de ciment de la 0 - 2 - 4 - 6 ...%.

Pentru materialul obținut, se propune în teza și o tehnologie de execuție a îmbunătățirii loessului în adâncime (coloane de loess cu ciment).

2. LOESSUL CA TEREN COLAPSIBIL

Loessul este un depozit cuaternar eolian, constituit din particule de praf cu argile, carbonați și apă capilară care acționează ca materiale de legătură la joncțiunile dintre particule.

În lume există publicate multe exemple de terenuri care colapsează sub greutate proprie la contactul cu apa prezentând proprietățile variate ale acestor terenurilor colapsibile Rogers (1995). Întrebarea este de ce nu orice teren are potențial colapsibil. Aceasta din cauză că anumite proprietăți ale terenului trebuie să fie prezente pentru a face posibil colapsul. Trăsăturile tipice găsite în cele mai multe terenuri colapsibile includ: o structură deschisă metastabilă, indicele porilor mare și densitate uscată mică, porozitate mare și legături slabe între particule.

3. IDENTIFICARE ȘI CARACTERIZARE

3.1 Metode internaționale

3.2 Metode din normele românești (NP 125)

3.2.1. Identificarea și încadrarea PSU

3.2.1.1. Criterii referitoare la compoziție și proprietăți fizice:

a. Pământuri coezive: cu fracțiunea praf ($d = 0,002 - 0,062$ mm) în proporție de 50-80%, aflate în stare nesaturată ($S_r < 0,8$), cu porozitate în stare naturală $n > 40\%$

b. Indicele $I = \frac{e_L - e}{1 + e}$ are valori mai mici decât cele din (tab 3.1), unde e este indicele porilor pentru pământul în stare naturală iar e_L este indicele porilor corespunzător umidității la limita superioară de plasticitate w_L a pământului.

3.2.1.2. Criterii referitoare la comportamentul mecanic

a. Indicele tasării specifice suplimentare prin umezire sub treapta de 300 kPa (în încercarea edometrică) i_{m300} , are valoare mai mare sau egală cu 2 %: $i_{m300} \geq 2 \text{ cm/m} = 2 \%$

b. Indicii η și δ referitori la tasările terenului în stare naturală și inundată (în încercarea cu placa) au valorile: $\eta = s_i / s_n \leq 5$ și $\delta = s_i - s_n \geq 3$ cm, unde s_i este tasarea terenului inundat, iar s_n tasarea terenului în condiții de umiditate naturală, determinate cu placa încărcată până la presiunea de 300 kPa.

3.2.2. Încadrarea unui pământ ca PSU

Pentru a caracteriza un pământ ca PSU trebuie îndeplinit cel puțin un criteriu referitor la proprietățile fizice și un criteriu referitor la comportamentul mecanic, din cele de mai sus. Clasificarea unui pământ în Grupa A sau B se realizează pe baza estimării tasării suplimentare la umezire sub greutate proprie, I_{mg} .

4. ESTIMAREA UMEZIRII

4.1. Din literatura internațională

4.2. Prevederi din Romania –NP-125- Calcul tasare suplimentară

Modul de calcul pentru stabilirea următoarelor elemente: I_{mg} - tasarea suplimentară prin umezire sub greutate proprie (sarcină geologică), I_{mp} - tasarea suplimentară prin umezire, sub acțiunea încărcărilor transmise de fundații, s - tasarea totală suplimentară prin umezire ($s = I_{mg} + I_{mp}$) și Δs - diferența maximă de tasare suplimentară prin umezire.

Metoda de calcul este cea a însumării tasărilor stratelor elementare (NP 112/2004).

5. ÎMBUNĂTĂȚIREA TERENULUI

5.1. PE PLAN INTERNAȚIONAL

Există o gamă largă de procese de îmbunătățire a terenului colapsibil. Cele mai deosebite au fost încercate doar ca experiment. Metodele variate folosite necesită atât o analiză detaliată a tehnicii de tratament cât și a terenului.

5.2 PREVEDERI SPECIFICE ÎN ROMÂNIA PENTRU ÎMBUNĂTĂȚIREA TERENULUI

5.2.1. Compactarea terenurilor cu maiul greu.

Compactarea cu maiul greu se aplică în scopul sporirii capacității portante a terenurilor slabe de fundare alcătuite din nisipuri afânate, argile nisipoase sau pământuri sensibile la umezire.

5.2.2. Compactarea de adâncime cu coloane de pământ.

Compactarea de adâncime cu coloane de pământ se aplică pământurilor sensibile la umezire (PSU) în scopul eliminării sensibilității la umezire și sporirii capacității portante a terenului.

5.2.3. Compactarea de adâncime cu coloane de balast, nisip, piatră spartă și alte materiale locale.

Îmbunătățirea terenului cu coloane din balast, realizate prin vibrare sau batere are drept efect sporirea densității medii a masivului de pământ astfel tratat.

5.2.4. Compactarea terenurilor cu vibromaiul.

Asemănător celorlaltor procedee, scopul îmbunătățirii cu vibromaiul a terenurilor de fundare slabe este de a mări starea de îndesare sau de a contribui prin drenare la grăbirea procesului de consolidare, crescând astfel capacitatea portantă a pământurilor slabe.

5.2.5. Compactarea terenurilor prin vibroînțepare.

Vibroînțeparea este o metodă eficientă de compactare a nisipurilor afânate, naturale sau din umpluturi. Grosimea stratului de nisip ce poate fi compactat prin vibroînțepare este relativ mică: $H \leq 6$ m.

6. RASPÂNDIREA LOESSURILOR ÎN ROMÂNIA

6.1. CARACTERISTICILE LOESSURILOR

Parametrii specifici

Din punct de vedere al modului în care se tasează la umezire sub greutatea proprie a stratului (sarcina geologică) PSU se clasifică astfel:

- **grupa A:** pământuri care prezintă tasări suplimentare I_{mg} mai mici de 5 cm;
- **grupa B:** pământuri care prezintă tasări suplimentare I_{mg} mai mari sau egale de 5 cm.

6.2. RĂSPÂNDIREA LOESSURILOR ȘI PĂMÂNTURILOR LOESSOIDE ÎN ROMÂNIA

În România, pământurile loessoide (sensibile la umezire) ocupă aproximativ 19% din teritoriul țării (aproximativ 40.000 km²), întâlnindu-se cu precădere în Câmpia Română, în Dobrogea Centrală și de Sud precum și în Podișul Moldovei. Pe suprafețe restrânse, aceste pământuri se întâlnesc și în Banat și Crișana, precum și în zona subcarpatică și în nordul Dobrogei. În România, în general, loessul nu este întâlnit la altitudini mai mari de 400m.

7. PRINCIPALELE METODE ALE TRATAMENTULUI LOESSULUI COLAPSIBIL DIN ROMANIA

7.1. CLASIFICAREA LOESSULUI

7.1.1. Clasificarea loessului după normativul internațional

Europa de Est a preluat împărțirea loessului colapsibil a Rusiei, care le clasifică ca (Ian Jefferson et al., 2015): Tip I: Deformație de colaps total sub presiune <5cm; colapsibilitatea din încărcări este caracteristică acestui tip de loess, Tip II: Deformație de colaps total sub presiune >5cm.

7.1.2. Clasificarea loessului după normativul românesc (capitolul 5.5 NP 125)

- *Compoziția granulometrică și caracteristicile fizice*

În funcție de compoziția lor granulometrică și de fracțiunile predominante, PSU se clasifică conform (Tab 7.1).

Tab 7.1. Clasificarea depozitelor loessoide după compoziția granulometrică

Tipuri litologice		Conținut de material în procente, pe diametre (d) ale particulelor (mm)				
Major	Funcție de fracțiunea predominantă	< 0,01 mm	0,01 - 0,05 mm	0,05 - 0,1 mm	0,1 - 0,25 mm	> 0,25 mm
Loessuri (d = 0,01-0,1 mm > 60%)	Nisipoase	< 40	35 - 45	15 - 25	0 - 15	-
	Prăfoase	< 30	> 45	< 15	0 - 10	-
	Argiloase	> 40	> 45	< 15	0 - 15	-
Pământuri loessoide (d = 0,01 - 0,1 mm < 60%)	Nisipuri argiloase	< 30	10 - 50	10 - 50	25 - 55	> 5
	Prafuri nisipoase	< 30	35 - 55	35 - 50	< 30	< 5
	Prafuri argiloase	< 50	40 - 60	40 - 60	10 - 40	0 - 5
	Argile prăfoase	> 50	25 - 50	25 - 50	0 - 10	0 - 5

- *Densitatea*

Datorită porozității mari, densitatea (greutatea volumică) în stare naturală a PSU, are valori mai mici comparativ cu alte pământuri, fiind de ordinul, $\rho = 1.2 \div 1.8 \text{ g/cm}^3$ ($\gamma = 12 \div 18 \text{ kN/m}^3$).

- *Plasticitatea*

Pentru loessuri în (Tab 7.2) se prezintă corelarea compoziției granulometrice cu plasticitatea.

Tab 7.2. Clasificarea depozitelor loessoide după I_p

Natura pământului	Indicele de plasticitate I_p (%)	Conținutul de particule argiloase în %
Loessuri nisipoase	$1 < I_p < 7$	3 - 10
Loessuri prăfoase	$7 < I_p < 17$	10 - 30
Loessuri argiloase	$I_p > 17$	> 30

- *Permeabilitatea*
- *Compresibilitatea*
- *Rezistența structurală*
- *Rezistența la forfecare*
- *Parametrii dinamici*
- *Lichefierea*
- *Compoziția și proprietăți fizice (anexa 3 NP 125)*
- *Proprietăți mecanice (anexa 3 NP 125)*

Indicele tasării specifice la umezire ($i_{m\sigma}$): $i_{m\sigma} = \varepsilon_i - \varepsilon_n$ [%].

Rezistența structurală σ_0 : $i_{m\sigma} = \varepsilon_i - \varepsilon_n = 0,01 = 1\%$ în încercările edometrice.

7.2. METODE DE PRECONSTRUCȚIE ȘI ELIMINAREA COLAPSIBILITĂȚII

În acest grup sunt incluse metode aplicate des în pre construcție: compactare, consolidare, drenare sau uscare a loessului. Aplicarea lor este mult mai ușoară și mai economică decât al doilea grup de metode (7.2), care ar trebui aplicate în condițiile existenței unor clădiri apropiate. Metodele de consolidare protejază clădirile nu numai împotriva impactului forțelor seismice. De aceea aplicarea lor este obligatorie în unele țări Est Europene cum ar fi România.

7.2.1. Compactarea prin batere cu maiul

Datorită simplității, această metodă este de așteptat să fie mai mult aplicată în viitor, mai ales că este aplicabilă pentru loessul de tip I dar și de tip II.

7.2.2. Compactarea prin piloți de pământ

Această metodă a fost aplicată în Rusia din 1934. De obicei, mașinile de găurit și percuție sunt folosite cu axe groase. Compactarea poate fi realizată prin introducerea de forme variate de piloți de beton armat.

7.2.3. Compactare cu piloți de beton

Această metodă produce rezultatele cele mai bune în tipul II de loess. Un avantaj important al acestei metode este mecanizarea completă a operațiunilor.

7.2.4. Perne de fundare

În Europa de Est, s-au folosit 3 tipuri de perne de fundare: perne de pământ coeziv, nisip și pietriș și perne din pământ și ciment. Toate aceste perne tratează tipul I de loess. Alegerea tipului de pernă depinde mai ales de încărcarea pe fundație și de potențialul de colaps al terenului.

7.2.5. Compactarea prin inundare

Această metodă utilizează susceptibilitatea colapsului loessului după ce este udat cu presiune. Umezirea este de obicei aplicată pe o excavație de suprafață, unde se menține un nivel constant al apei mai multe săptămâni sau luni până când încetează deformațiile din colaps. Drenurile verticale de nisip pot accelera compactarea, mai ales dacă apa este introdusă în ele prin presiune.

7.2.6. Compactarea prin preumezire și explozii

Această metodă are două variante. În prima se folosesc explozii sub apă după umezire; în a doua se folosesc explozii în foraje.

7.2.7. Amestecarea loessului în adâncime

Piloții de pământ cu ciment sunt făcuți prin amestecarea loessului cu ciment. În timp ce sunt efectuate lucrări de foraj, o cantitate de apă este introdusă în loess pentru lichefiere. Apoi, când se scoate sfredelul, se introduce o suspensie de ciment. Distribuția uniformă a cimentului în pământ se obține prin mai multe faze de introducere de sfredel, cu viteza de 7-11mm per rotație. Diametrul pilotului este cel mai des între 8-175cm și se poate trata o adâncime de 10-60m.

7.2.8. Drenajul bazei loessului

Există metode de drenaj de suprafață, drenaj pentru foraje și puturi, canale de drenaj orizontale și drenaj al bazei loessului.

7.3. METODE DE CONSOLIDARE A LOESSULUI SUB FUNDAȚIILE CLĂDIRILOR PRĂBUȘITE

7.3.1. Injecții cu mortar de silicați

7.3.2. Stabilizare prin încălzire

7.3.3. Stabilizare prin jet grouting

7.3.4. Comprimare prin injectare

7.3.5. Subzidirea fundațiilor folosind piloți forai

7.3.6. Injectia cu componenți polimerici

7.3.7. Injectia cu suspensie de argilă

8. ÎNCERCĂRI DE LABORATOR ÎN VEDEREA ÎMBUNĂTĂȚIRII PĂMÂNTURILOR SENSIBILE LA UMEZIRE

8.1. OBIECTIVELE PROGRAMULUI EXPERIMENTAL

Obiectivele programului experimental sunt: obținerea unui amestec optim, care să asigure desensibilizarea loessului, procente optime de ciment, tehnologia optimă pentru obținerea amestecului optim (faze diferite de amestecare și încercare).

- *Probele compactate din materiale diferite: probe de loess (fără ciment), loess amestecat cu 2% ciment, loess amestecat cu 4% ciment, loess amestecat cu 6% ciment.*

- *Probele compactate cu metode de amestecare diferite:*

- **Metoda 1 (M1):** Loess amestecat cu apă, se lasă 1 zi apoi se amestecă cu ciment, după aceea se face testul proctor imediat (cât de repede se poate), M1: Loess + Apa(Wi), 24h, +x% Ciment => Proctor. Metoda 1 a fost folosită pentru probele cu 3 conținuturi de ciment: 2%, 4%, 6% și loess fără ciment.

- **Metoda 2 (M2):** Loess amestecat cu ciment întâi apoi amestecat cu apă, se așteaptă 1 zi și se face testul Proctor. M2: Loess + Ciment (x%) + apă (wi), 24h => Proctor. Metoda 2 a fost folosită pentru amestecul de loess cu ciment 4%.

- **Metoda 3 (M3):** Loess amestecat cu ciment, apoi cu apă și este făcut testul Proctor imediat (cât de repede se poate). M3: Loess + Ciment (x %) + apă (wi) => Proctor. Metoda 3 a fost folosită pentru amestecul de loess cu ciment 6%.

Parametrii geotehnici determinați pe probele compactate, M_{2-3} , i_{m3} (edometru), parametrii rezistenței la forfecare.

8.2. ÎNCERCĂRI REALIZATE

8.2.1. Încercari pe loess fără ciment

- *Încercări Proctor*

Umiditatea optimă: $w_{opt}=16.8\%$, densitatea în stare uscată maximă: $\gamma_{d\ max}=1,73\ g/cm^3$.

- *Încercari în Edometru*

Modul de defomație: $M_{2-3\ max} = 18867.92\ kPa$. M_{2-3} la umiditatea optimă $M_{2-3}=18400\ kPa$.

- *Încercări de forfecare*

Valori caracteristice ale unghiului de frecare (ϕ/ϕ) și ale coeziunii (c) la umiditatea optimă sunt determinate: ϕ la $w_{opt} = 27,3^\circ$, c la $w_{opt}= 17.2\ kPa$, $\phi\ medie=23.64^\circ$, c medie = 18.94 kPa.

8.2.2. Încercări pe loess cu 2% ciment (metoda 1)

- *Încercarea Proctor*

Umiditatea optimă: $w_{opt}=17.7\%$, densitatea în stare uscată maximă: $\gamma_{d\ max}=1,75\ g/cm^3$.

- *Încercarea de compresibilitate în edometru*

Modul de defomație: $M_{2-3\ max} = 50000\ kPa$. M_{2-3} la umiditatea optimă $M_{2-3}= 37000\ kPa$.

- *Încercarea de forfecare*

Valori caracteristice ale unghiului de frecare (ϕ/ϕ) și ale coeziunii (c) la umiditatea optimă sunt determinate: ϕ la $w_{opt} = 34.6^\circ$, c la $w_{opt}= 58\ kPa$, $\phi\ medie=33.15^\circ$, c medie = 51.86 kPa.

8.2.3. Încercări pe loess cu 4% ciment

8.2.3.1. Loess cu 4 % ciment amestecat cu metoda 1

- *Încercarea Proctor*

Umiditatea optimă: $w_{opt}=17.9\%$, densitatea în stare uscată maximă: $\gamma_{d\ max}=1,74\text{ g/cm}^3$.

- *Încercarea de compresibilitate în edometru*

Modul de defomație $M_{2-3}\ max = 64102.56\text{ kPa}$. M_{2-3} la umiditatea optimă $M_{2-3}= 63200\text{ kPa}$.

- *Încercarea de forfecare*

Valori caracteristice ale unghiului de frecare (ϕ/ϕ) si ale coeziunii (c) la umiditatea optimă sunt determinate: ϕ la $w_{opt} = 45^\circ$, c la $w_{opt} = 117\text{ kPa}$, $\phi\text{ medie} = 34.06^\circ$, $c\text{ medie} = 123.75\text{ kPa}$.

8.2.3.2. Loess cu 4 % ciment, amestecare cu metoda 2

- *Încercarea Proctor*

Umiditatea optimă: $w_{opt}=12\%$, densitatea în stare uscată maximă: $\gamma_{d\ max}=1,564\text{ g/cm}^3$.

- *Încercarea de compresibilitate în edometru*

Modul de defomație $M_{2-3}\ max = 59523.81\text{ kPa}$. M_{2-3} la umiditatea optimă $M_{2-3}= 48400\text{ kPa}$.

- *Încercarea de forfecare*

Valori caracteristice ale unghiului de frecare (ϕ/ϕ) si ale coeziunii (c) la umiditatea optimă sunt determinate: ϕ la $w_{opt} = 31^\circ$, c la $w_{opt} = 57\text{ kPa}$, $\phi\text{ medie} = 33.06^\circ$, $c\text{ medie} = 80.44\text{ kPa}$.

8.2.4. Încercări pe loess cu 6% ciment

8.2.4.1. Loess cu 6 % ciment amestecat cu metoda 1

- *Încercarea Proctor*

Umiditatea optimă: $w_{opt}=17.1\%$, densitatea în stare uscată maximă: $\gamma_{d\ max}=1,77\text{ g/cm}^3$.

- *Încercarea de compresibilitate în edometru*

Modul de defomație $M_{2-3}\ max = 74074.07\text{ kPa}$. M_{2-3} la umiditatea optimă $M_{2-3}= 71000\text{ kPa}$.

- *Încercarea de forfecare*

Valori caracteristice ale unghiului de frecare (ϕ/ϕ) si ale coeziunii (c) la umiditatea optimă sunt determinate: ϕ la $w_{opt} = 62^\circ$, c la $w_{opt} = 190\text{ kPa}$, $\phi\text{ medie} = 52.58^\circ$, $c\text{ medie} = 218.43\text{ kPa}$.

- *Încercarea de “unconfined compressive strength” (Rc)*

Indice Rc probelor crește cu timpul. După o lună, rezistența probelor ajunge aproape la rezistența ultimă (maximă). $R_c\ 28\text{ zile} = 3.0762\text{ MPa}$.

8.2.4.2. Loess cu 6 % ciment, amestecat cu metoda 3

- *Încercarea Proctor*

Umiditatea optimă: $w_{opt}=16\%$, densitatea în stare uscată maximă: $\gamma_{d\ max}=1,772\text{ g/cm}^3$.

- *Încercarea de compresibilitate în edometru*

Modul de defomație $M_{2-3}\ max = 65359.48\text{ kPa}$. M_{2-3} la umiditatea optimă $M_{2-3}= 66000\text{ kPa}$.

- *Încercarea de forfecare*

Valori caracteristice ale unghiului de frecare (ϕ/ϕ) si ale coeziunii (c) la umiditatea optimă sunt determinate: ϕ la $w_{opt} = 55.5^\circ$, c la $w_{opt} = 262\text{ kPa}$, $\phi\text{ medie} = 51.68^\circ$, $c\text{ medie} = 218.31\text{ kPa}$.

- *Încercarea de “unconfined compressive strength” (Rc)*

Indice Rc al probelor crește cu timpul. După o lună, rezistența probelor ajunge aproape la rezistența ultimă (maximă). $R_c\ 28\text{ zile} = 3.5816\text{ MPa}$.

8.2.5. Încercări pe loess cu 6% ciment cu timpi de așteptare diferiți după amestecare până se face încercarea proctor.

- *Încercarea Proctor*

Rezultatele sunt prezentate în figura 8.34:

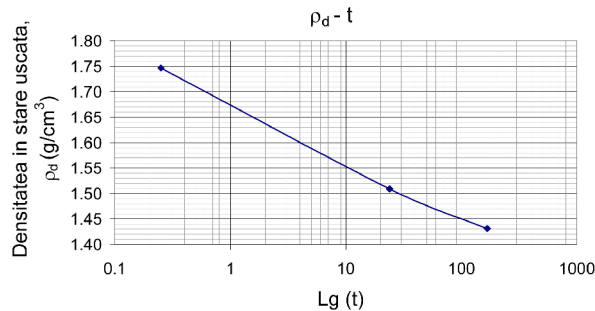


Fig 8.34. Densitatea uscată a probelor loess+6% ciment, după timpurile diferite de așteptare până la încercarea Proctor

Concluzie: Densitatea uscată a probelor scade rapid după timpul de așteptare între amestecare și testul proctor. Pentru că în timpul așteptare, ciment reacționează cu apă și formează o structură cu micro beton, cu rezistență mare la compresiune.

8.2.6. Încercările Proctor: loess cu conținut de cimenturi diferite (0-2-4-6%) la aceeași umiditate (aproximativ la umiditatea optimă), metoda de amestecare 3.

- *Încercarea Proctor*

Rezultatele sunt prezentate în figura 8.35:

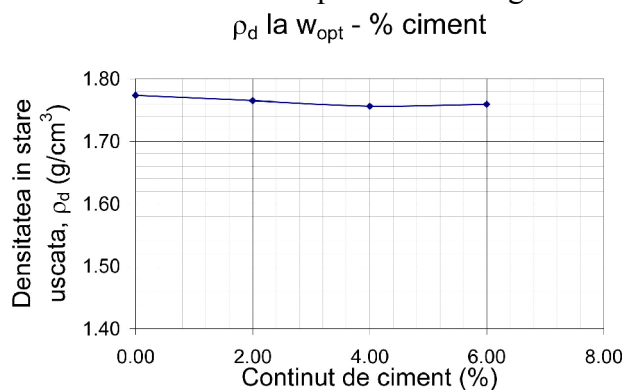


Fig 8.35. Densitatea uscată a probelor de loess + x% ciment, la umiditatea optimă

Concluzie: Cu metoda 3, densitățile uscate ale probelor cu conținuturi de ciment diferite sunt aproape la fel. Există diferențe mici între ele, din cauza erorilor în procesul de efectuare a încercărilor.

8.3. REZULTATE OBTINUTE

8.3.1. Caracteristicile probelor de loess amestecat cu diferite conținuturi de ciment

Pentru cercetarea caracteristicilor probelor cu conținut de ciment diferit, probele au fost făcute cu aceeași metodă de amestecare M1, același pământ de loess și același ciment.

Sinteza rezultatelor este prezentată în figurile 8.36 și 8.37:

- *Caracteristici fizice ($\gamma_{d\max}$ și w_{opt})*

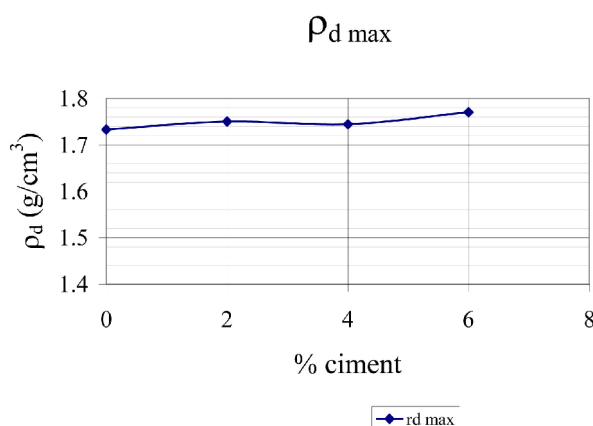


Fig 8.36. Variații de densitate în stare uscată cu conținut diferit de ciment în mixturi.

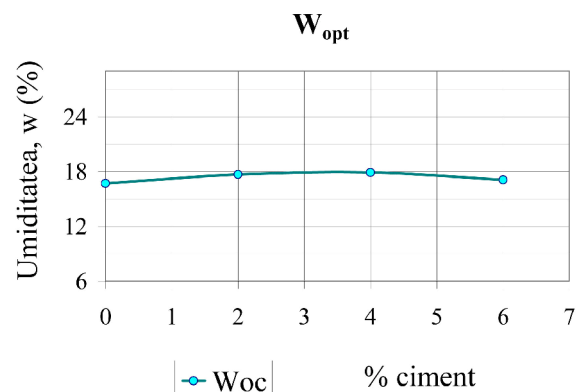


Fig 8.37. Variații de umiditate optimă cu conținut diferit de ciment în mixturi.

Se observă că pentru metoda de amestecare 1, conținuturile de ciment nu au efecte asupra caracteristicilor fizice sau au efecte reduse. Concluzia aceasta este confirmată de rezultatele din încercarea Proctor cu mixtul de loess cu diferite conținuturi de ciment la aceeași umiditate, și cu metoda de amestecare 3 (figura 8.33).

- *Caracteristici mecanice*

În comparație cu loessul compactat fără ciment, după amestecarea cu ciment, mixturile au o creștere semnificativă a valorii M_{2-3} (de la 2 ori mai mare la 2% ciment până 4 de ori mai mare la 6% ciment)

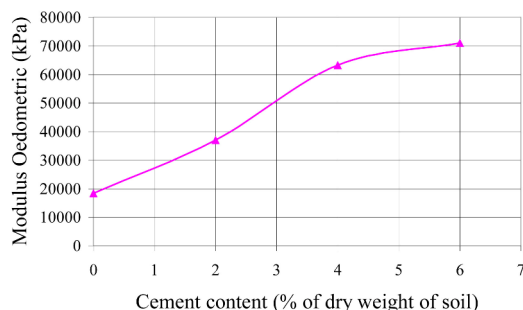


Fig 8.38. Relatie dintre M_{2-3} și conținutul de ciment al mixturilor.

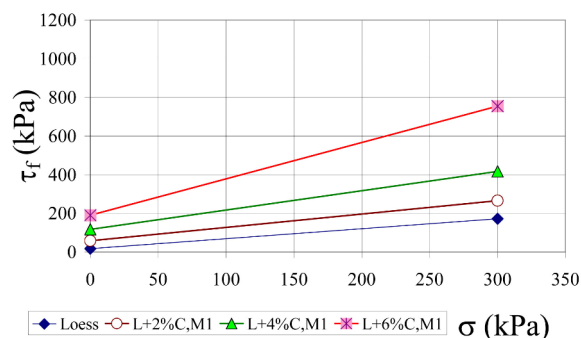


Fig 8.39. Graficele de forfecare ale probelor cu conținut de ciment diferit, metoda de amestecare 1 (valoarea la umiditatea optimă)

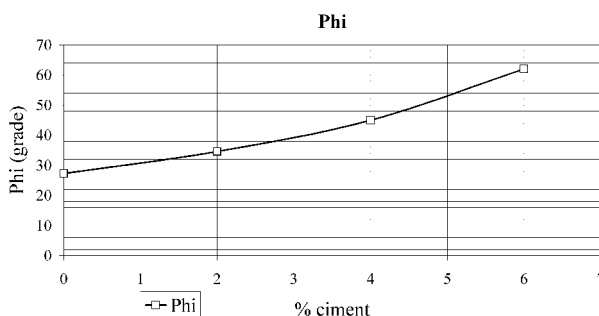


Fig 8.40a. Relația între " ϕ " și conținutul de ciment al mixturilor (valoarea la w_{opt})

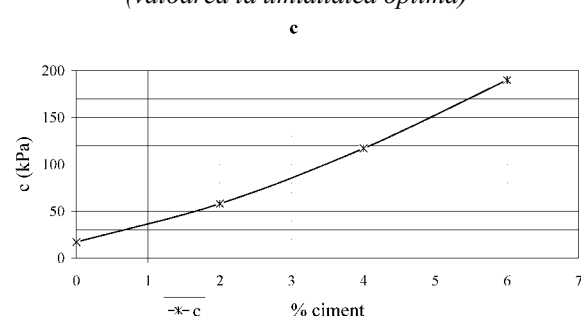


Fig 8.40b. Relația între "coeziune" și conținutul de ciment al mixturilor (valoarea la w_{opt})

Concluzie: Toate caracteristicile fizice au valoarea mai mare pentru conținut mai mare de ciment. Valoarea M_{2-3} crește de 2-4 ori, valoarea " ϕ " crește mai mult de 2 ori și " c " crește până 10 de ori.

- *Valoarea medie la încercarea de forfecare*

Sunt luați în considerare " ϕ " și " c " cu valori medii din încercări de forfecare. Rezultate sunt prezente în figurile 8.41 și 8.42:

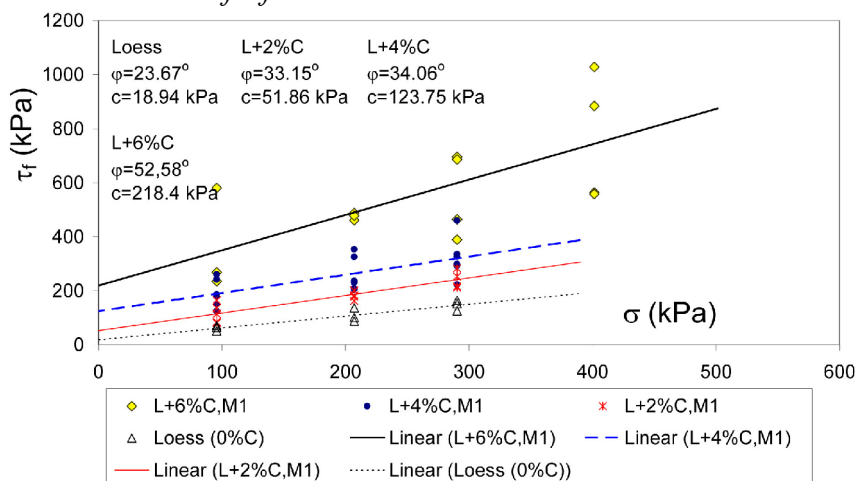
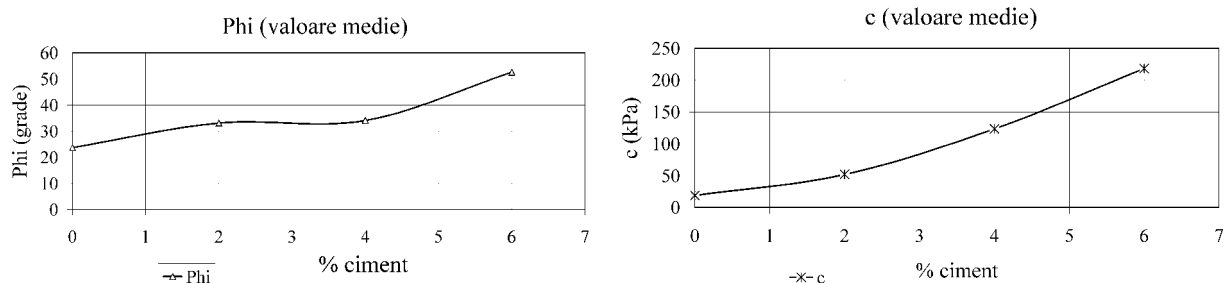


Fig 8.41. Sinteza graficelor de forfecare ale probelor au fost făcute cu metoda 1, valoarea medie



Concluzie: Toate caracteristicile fizice au valoarea mai mare pentru conținut mai mare de ciment. La conținut de ciment 2% și 4%, ambele sunt mai bune decât loess fără ciment. Unghiul frecare pentru amestecul cu 4% este doar puțin mai mare decât al amestecului cu 2%, iar pentru amestecul cu 6%, diferența este semnificativ mai mare.

8.3.2. Comparație între metode de amestecare a loessului cu ciment

8.3.2.1. Comparație între metoda 1 și metoda 2

Pentru comparația între metoda 1 și metoda 2, probele au fost făcute cu ambele metode la 4% ciment, apoi se fac încercări pentru a determina caracteristicile. Rezultatele și comparațiile sunt prezente în tabelul A1.19 și figura 8.43.

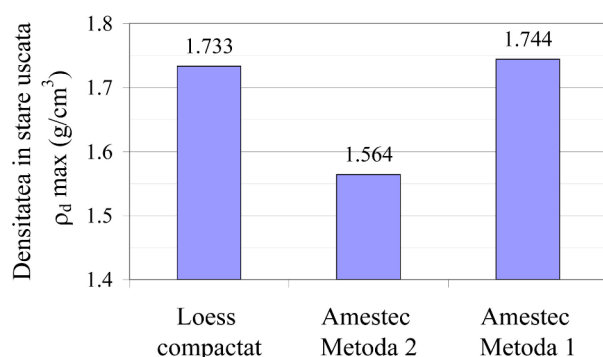


Fig 8.43. Densitatea uscată a probelor de loess compactat cu 4% ciment, comparație între metodele de amestecare 1&2 și loess fără ciment

Densitatea în stare uscată maximă obținută cu metoda 1 este mai mare decât cu metoda 2. Cu metoda 2, densitatea uscată a amestecului este mai mică decât densitatea probelor de loess fără ciment.

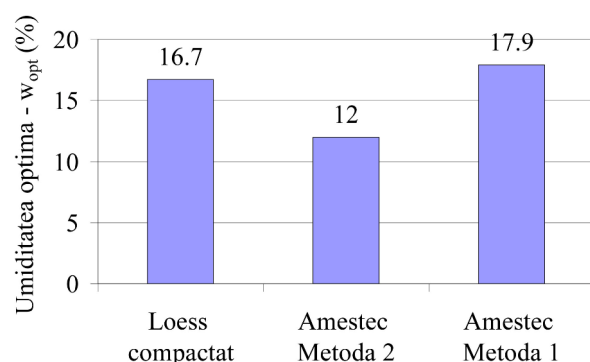


Fig 8.44. Umiditatea optimă a probelor de loess compactat cu 4% ciment, comparația între metodele de amestecare 1&2 și loess fără ciment

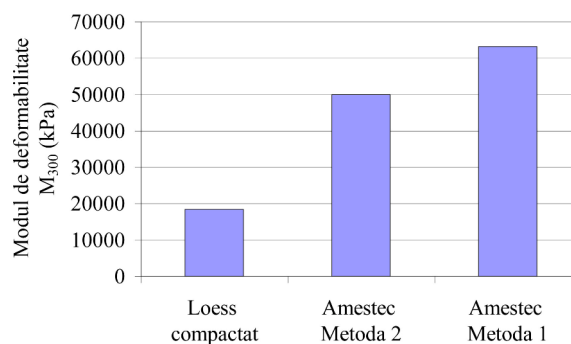


Fig 8.45. $M_{2,3}$ pentru probele de loess compactat cu 4% ciment, comparația între metodele de amestecare 1&2 și loess fără ciment

Rezistența la compresiune a probelor cu valoarea $M_{2,3}$ cu metoda 1 este mai mare decât pentru metoda 2 (ambele sunt mai mari decât pentru loess fără ciment).

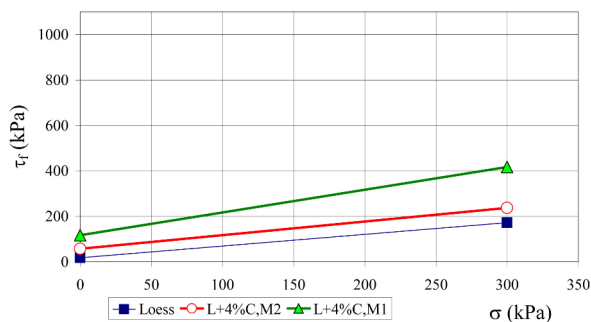


Fig 8.46. Graficele de forfecare ale probelor de loess compactat cu 4% ciment, comparația între metodele de amestecare 1&2 și loess fără ciment (valoarea la w_{opt})

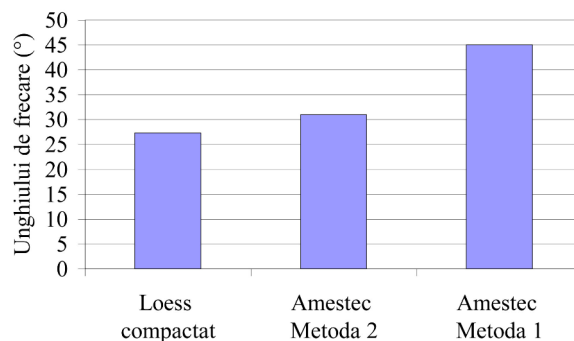


Fig 8.47a. “ ϕ ” ale probelor de loess compactat cu 4% ciment, comparația între metodele de amestecare 1&2 și loess fără ciment (valoarea la w_{opt})

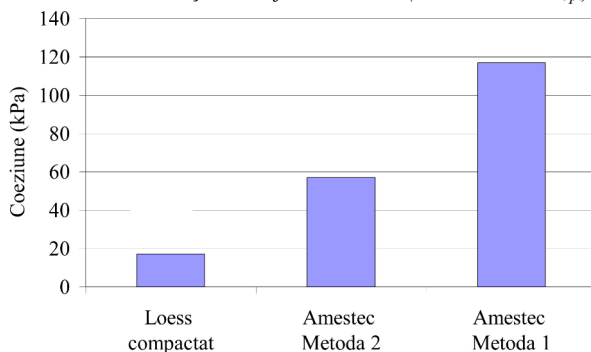


Fig 8.47b. “c” ale probelor de loess compactat cu 4% ciment, comparația între metodele de amestecare 1&2 și loess fără ciment (valoarea la w_{opt})

• Valoarea medie la încercarea de forfecare

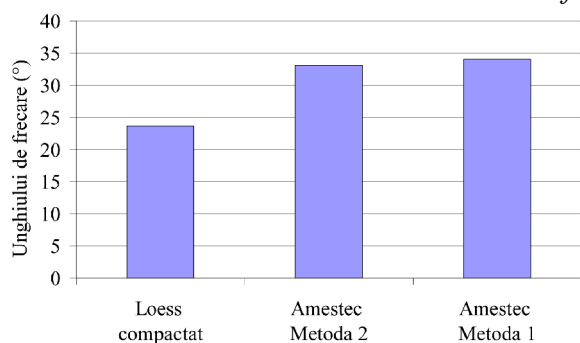


Fig 8.48a. “ ϕ ” ale probelor loess compactat cu 4% ciment, comparație între metodele de amestecare 1&2 și loess fără ciment

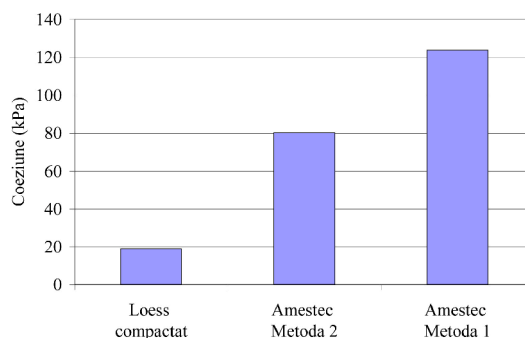


Fig 8.48b. “c” ale probelor de loess compactat cu 4% ciment, comparație între metodele de amestecare 1&2 și loess fără ciment

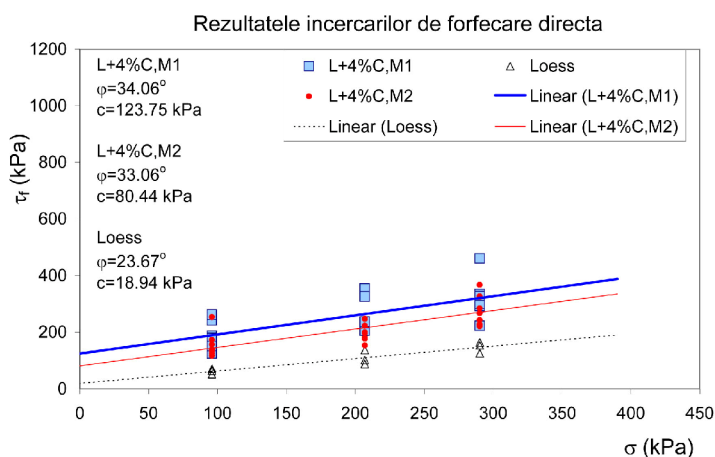


Fig 8.49. Graficele de forfecare ale probelor de loess compactat cu 4% ciment, comparație între metodele de amestecare 1&2 și loess fără ciment

Concluzie: Cu valoarea la umiditatea optimă: La încercarea de forfecare, valorile “ ϕ ” și “c” ale probelor amestecate cu metoda 1 sunt mai mari decât pentru metoda 2. Din care “ ϕ ” este mai mare puțin, iar “c” mai mult.

Concluzie: Ca valoare medie: “ ϕ ” din ambele metode sunt la fel, în timp ce, “c” sunt foarte diferite. Valoarea “c” din metoda 1 este mai mare decât cea din metoda 2.

- *Concluzie despre metoda 1 și metoda 2:*

Cu toate caracteristicile fizice și mecanice probelor care au fost făcute cu metoda 1 sunt mai bune, mai mari decât cele făcute cu metoda 2. Pentru îmbunătățirea pământului loess, prin amestecare cu ciment, metoda de amestecare 2 nu este sugerată.

8.3.2.2. Comparație între metoda 1 și metoda 3

Pentru comparația între metoda 1 cu metoda 3, probele au fost făcute prin ambele metode la 6% ciment, apoi se fac încercări pentru determinarea și compararea caracteristicilor. Rezultate și comparațiile sunt prezente în figurile 8.50, 8.51, 8.52, 8.53, 8.54, 8.55 și 8.56.

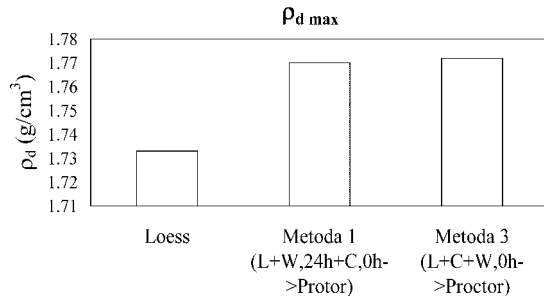


Fig 8.50. Densitatea uscată a probelor de loess compactat cu 6% ciment, comparație între metodele de amestecare 1&3 și loess fără ciment

Densitățile în stare uscată maximă a probelor care sunt făcute cu metoda 1 și metoda 3 au valori aproximativ egale.

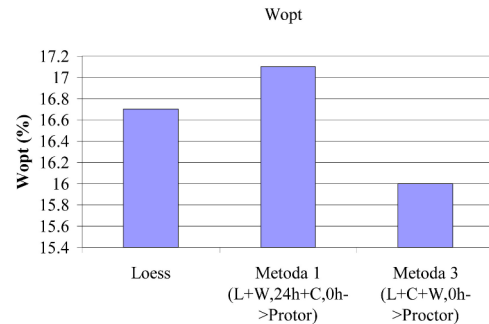


Fig 8.51. Umiditatea optimă a probelor de loess compactat cu 6% ciment, comparație între metodele de amestecare 1 & 3 și loess fără ciment

Umiditatea optimă pentru compresiune cu metoda 1 crește iar cu metoda 3 scade. Aceasta înseamnă că în câmp, unde loessul este uscat, metoda 3 are nevoie de mai puțină apă pentru a ajunge la umiditatea optimă.

- *Caracteristicile de compresiune*

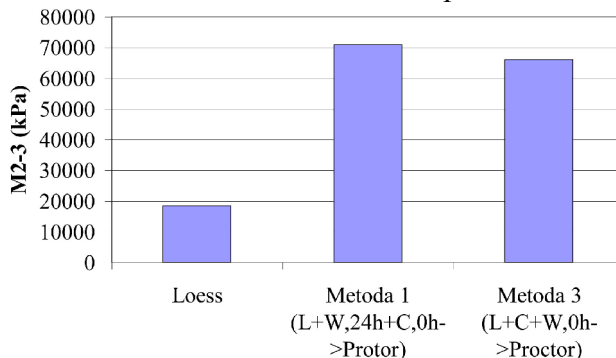


Fig 8.52. M_{2-3} ale probelor de loess compactat cu 6% ciment, comparație între metodele de amestecare 1&3 și loess fără ciment

- *Caracteristici de forfecare*

- Valoarea la umiditatea optimă:

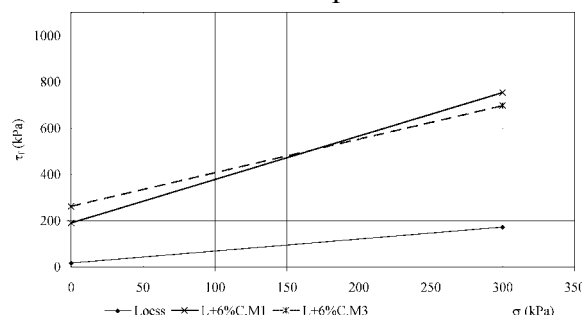


Fig 8.53. Graficele de forfecare ale probelor de loess compactat cu 6% ciment, comparație între metodele de amestecare 1&3 și loess fără ciment (valoarea la w_{opt})

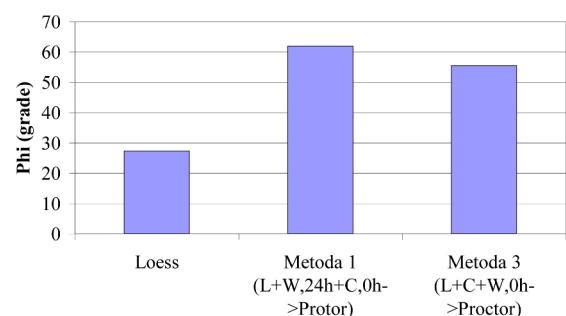


Fig 8.54a. “ ϕ ” ale probelor de loess compactat cu 6% ciment, comparație între metodele de amestecare 1&3 și loess fără ciment (valoarea la w_{opt})

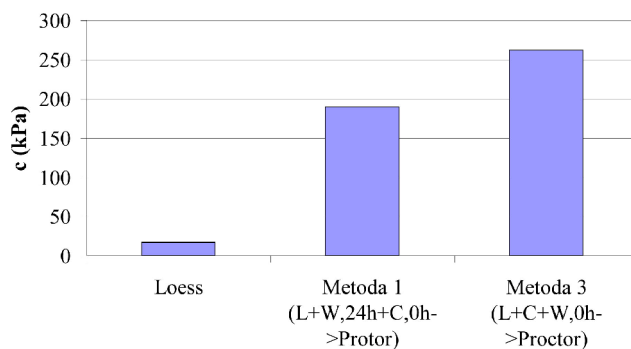


Fig 8.54b. "c" ale probelor de loess compactat cu 6% ciment, comparație între metodele de amestecare 1&3 și loess fără ciment (valoarea la w_{opt})

La încercarea de forfecare, ambele metode dau rezultate similare, metoda 1 are " ϕ " puțin mai mare iar " c " puțin mai mic.

- Valoarea medie

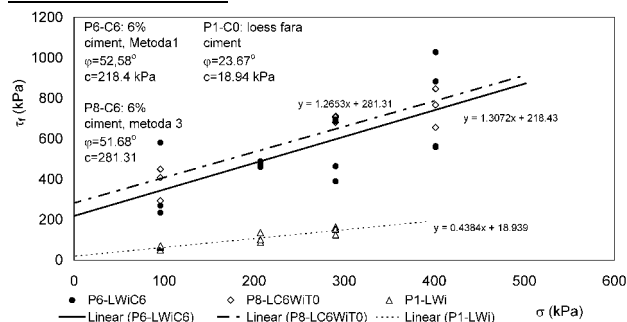


Fig 8.55. Graficele de forfecare ale probelor de loess compactat cu 6% ciment, comparație între metoda de amestecare 1&3 și loess fără ciment

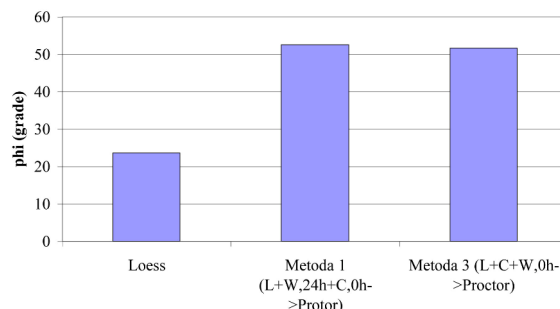


Fig 8.56a. " ϕ " ale probelor de loess compactat cu 6% ciment, comparație între metodele de amestecare 1&3 și loess fără ciment

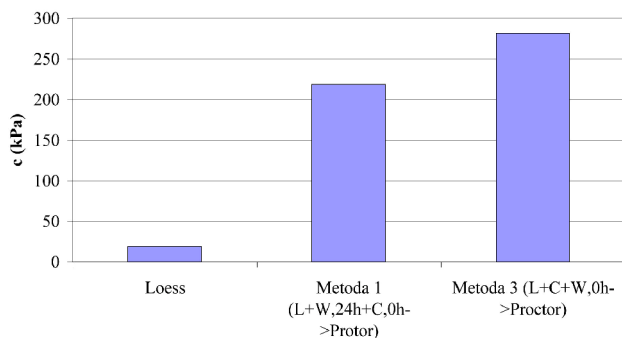


Fig 8.56b. "c" ale probelor de loess compactat cu 6% ciment, comparație între metodele de amestecare 1&3 și loess fără ciment, valoarea medie.

Cu valoare medie: Se observă că metode de amestecare nu afectează valoarea " ϕ ". Valoarea " ϕ " din ambele metode sunt exact la fel. Metoda de amestecare afectează valoarea " c ", din care metoda 3 este făcută pe probe cu " c " mai mare decât la metoda 1.

• Caracteristica "unconfined compressive strength" - Rc

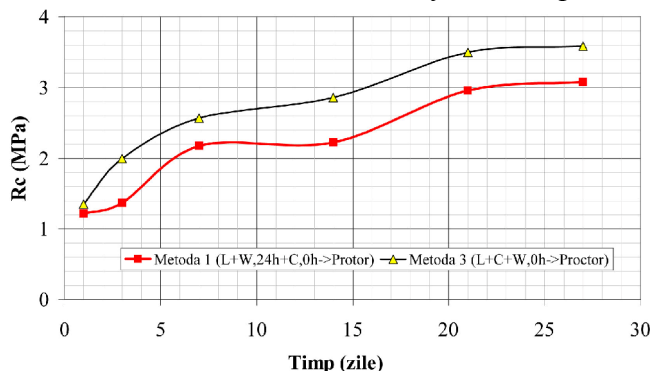


Fig 8.57. "Rc" ale probelor de loess compactat cu 6% ciment, comparație între metodele de amestecare 1&3 și loess fără ciment

Concluzie: Ca indice Rc, probele care sunt făcute cu metoda 3 sunt mai bune decât cele cu metoda 1. Diferența este semnificativă.

8.3.2.3. Concluzie despre metoda de amestecare loess cu ciment

Din două comparații între metodele 1, 2 și 3 se observă că metoda 2 nu este bună, așa că nu este recomandat să se folosească. Amandouă metodele 1 și metoda 3 sunt bune, iar metoda 3 este cea mai bună. La încercări de forfecare, metoda de amestecare nu are efecte semnificative pentru valoarea unghiului de frecare " ϕ ", dar are efecte semnificative pentru coeziune " c ". (concluzia aceasta consideră valoarea medie).

9. APLICAȚIE PENTRU CONSTRUIREA UNUI PARC EOLIAN: SOLUȚIE ÎNTERGRATĂ DE ÎMBUNĂȚĂȚIRE A TERENULUI

9.1. INTRODUCERE

Acest studiu prezintă analiza mai multor opțiuni de fundație și apoi alegerea soluției potrivite pentru dimensiunea coloanei, distanța dintre coloane și proporția de ciment utilizată. Aceasta determină o soluție adecvată pentru modelul de fundație proiectat al unui turn de energie eoliană în județul Călărași România. În această teză, vor fi studiate cazuri cu procente de ciment care sunt crescute până când se găsește un procent favorabil. După aceea nu se vor studia cazuri cu procent mai mare de ciment. Procedul va fi mai economic pentru că nu se va folosi mai mult ciment.

9.2. CONDIȚIILE DE TEREN ȘI PROIECTAREA TURNULUI EOLIAN

9.2.1. Condițiile de teren

Structura geotehnică a terenului din Călărași are un strat superior de loess (argilă prăfoasă – praf argilos), de culoare gălbuie – cafenie, macroporic, cu sensibilitate la umezire pentru care s-au determinat următoarele caracteristici fizice și mecanice. Acest strat este plasat deasupra unui strat insensibil de umezire. Având în vedere faptul că tasarea specifică suplimentară la umezire înregistrează valori mai mari de 2% acest strat intră în categoria pământurilor sensibile la umezire. Strat de loess este la adâncime de la 0,7 m până la 13,8 m. În locul ales pentru construirea turbinei eoliene, adâncimea stratului de loess este de 10 m.

9.2.2. Proiectarea turnului eolian

Înălțimea cilindrului și diametrul lamei sunt 100 m, înălțimea totală a structurii este de 150 m deasupra terenului. Turbina eoliană a fost proiectată cu fundație de masă puțin admisă susținută de o suprafață îmbunătățită. Dimensiunile sunt: ciclu, cu diametrul de 15.4 m și un nivel de bază situat la 1,5 m sub nivelul real al terenului.

Această fundație este supusă la încărcarea verticală (3800 kN + masa fundației) și încărcarea orizontală (400-850 kN), precum și un moment încovoietor semnificativ (35 - 76 000 kNm). Efectele asupra pământului sunt determinate: distribuția efortului pentru o presiune maximă de 300 kPa în condiții SLS și 450 kPa în condiții ULS;

9.3. METODA DE ÎMBUNĂȚĂȚIRE A TERENULUI

A fost propusă și dezvoltată o soluție complet integrată de îmbunătățire a terenului pe baza utilizării intensive a coloanelor compacte de loess-ciment combinate cu o platformă compactă de distribuție a loess-ciment.

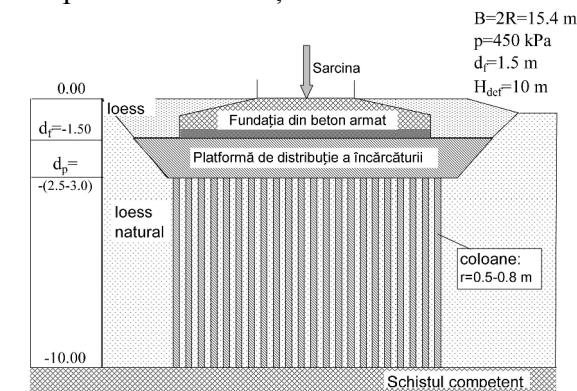


Fig 9.3. Fundația și principiul conceput pentru soluția de îmbunătățire a terenului

Principiul soluției propuse de îmbunătățire a terenului a fost consolidarea acestuia cu o rețea de coloane verticale de loess-ciment. Între baza fundației structurii și terenul îmbunătățit este instalată o platformă de transfer de sarcină pentru a răspândi în mod eficient eforturile din structură între pământ și coloanele din pământ-ciment (Fig 9.3). Deformarea totală a coloanelor pământ-ciment și modulul de deformare relativ între coloanele pământ-ciment și terenul înconjurător este redusă.

9.3.1. Platforma de distribuție a încărcărilor

Terenul granular foarte compactat este folosit în mod obișnuit pentru transferul încărcărilor, pentru ca asigura capacități de compactare importante și modul de elasticitate ridicat. Acest material nu este potrivit pentru acest proiect pentru că ar genera un strat foarte permeabil care ar capta toată apă din jur, care s-ar infiltra în terenul de fundare între coloane.

A fost dezvoltată o soluție care folosește un amestec compactat de 6% ciment (din masa pământului uscat) și loess excavat din zonă. Această platformă este instalată deasupra întregii suprafețe de excavație pe care o depășește cu 1.75m și marginile exterioare ale fundației.

9.3.2. Incluziuni semi-rigide

Terenul este îmbunătățit cu un sistem de coloane. Coloanele sunt făcute din loess compactat cu amestec de ciment. Acestea sunt aranjate într-o grilă cu O_{i-j} distanța dintre ele (dintre centrele coloanelor) iar diametrele lor sunt $2r$. Coloanele trec prin stratul de loess până la stratul compactat.

Coloanele pot fi aranjate într-o grilă pătrată sau hexagonală. În acest studiu este sugerată și analizată o rețea hexagonală, pentru ca aceasta se distribuie mai bine pe suprafața terenului. În practică se folosesc mai mult grile pătrate, pentru că acestea se instalează mai bine pe teren (cu mașini speciale).

9.3.3. Proprietăți ale materialului îmbunătățit

Pentru a găsi o soluție de îmbunătățire a loessului, se testează mai multe variante, cu diferite materiale din loess compactat și mixturi compactate de loess cu 2%, 4% și 6% conținut de ciment. Proprietățile acestor materiale sunt prezentate în tabelul 9.2.

Tab 9.2. Proprietățile materialelor.

Materiale		Greutate volumică (γ_s , γ_c)	Unghi de frecare (ϕ_s , ϕ_c)	Coeziune (c_s , c_c)	Modul de deformabilitate (D_s , D_c / M_{2-3})
		kN/m ³	°	kPa	kPa
Teren	Loess natural	17.11	22.6	5.4	7551.37
	Loess saturat	22.84	-	-	3080.62
Perne și coloane: Loess + x % ciment, compactat	Loess compactat	20.20	27.2	17.2	18400
	+2% ciment,	20.60	34.6	58	37000
	+4% ciment	20.56	45	117	63200
	+6% ciment	20.73	62	190	71000

9.4. CALCULUL TASĂRII

9.4.1. Calcul tasare dată de fundația pe loess natural

9.4.1.1. Metoda și modelul de calcul

Pentru fundația pe loess natural, tasare va evalua cu metoda clasică (după NP 112-04) în același timp, luarea în considerare a evaluarea tasărilor suplimentare probabile prin umezire a PSU. Tasarea se va evalua cu un model de fundație directă cu sarcină distribuită uniform în formă de cerc.

9.4.1.2. Calcul tasare și rezultate

Tasare totală la umiditate naturală: 366.17 mm (~37 cm), tasare totală la saturație: 1511.60 mm (~151 cm). Ambele tasări sunt prea mari, terenul nu susține structura turbinelor eoliene cu încărcări importante. Îmbunătățirea terenului de fundare este necesară pentru reducerea tasării sub 8 cm.

9.4.2. Calcul tasare fundație îmbunătățită cu metoda clasică combinată cu teoria Priebe

9.4.2.1. Principiul teoriei Priebe și modelul de calcul

9.4.2.2. Formule de calcul și aplicarea metodei

9.4.2.3. Calcul tasare cu metoda clasică cu parametrii geotehnici ai sistemului compozit pământ – coloane, evaluați cu teoria Priebe

Cu distanța între coloane (O_{ij}) de 2 m, pentru calculul tasării cu 4 variante de diametre ale coloanelor și 4 variante de conținuturi de ciment (0-2-4-6 %), avem 16 cazuri de calcul. Pentru variații de distanță între coloane (diametrul maxim de coloană de 0.8 m și conținut de ciment de 6%), vom mai avea 6 cazuri. Există zeci de cazuri de calcul.

Pentru cazul loess amestecat cu 6% ciment cu diametrul de coloane de 0.8 m, adâncimea de fundare este 1.5m și grosimea stratului de transfer este 1.5m (adâncimea sa este la cota -3m), distanța dintre coloane este 2m: se aplică metoda de calcul tasare clasică, combinată cu teoria Priebe pentru fundația pe coloane. Tasarea totală estimată este 78.51 mm (~7.9 cm).

9.5. REZULTATE OBTINUTE ȘI CONCLUZII

9.5.1. Tasarea în cazul în care terenul de fundare nu este inundat (cu umiditatea naturală)

Rezultate sunt rezumate în tabelul 9.9 și sunt arătate în figura 9.9.

Tab 9.9. Tasări ale fundațiilor pentru diferite cazuri de diametre de coloane

d_p (m)	1.5	Diametrele coloanelor			
O_{i-j} (m)	2				
2R (m)		0.5	0.6	0.7	0.8
Fracțiune din arie	A_c/A	0.057	0.082	0.111	0.145
Materialele coloanelor	% ciment	tasare (mm)			
Loess + x% ciment compactat	0	242.62	235.92	228.06	219.08
	2	214.91	205.65	195.14	183.56
	4	190.01	176.16	161.39	146.18
	6	137.43	115.38	95.65	78.51

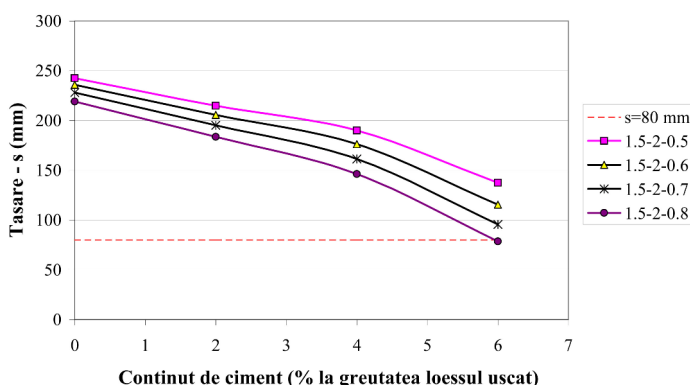


Fig 9.9. Tasările fundației pentru diferite cazuri de diametre de coloane, în cazurile comparate cu limita admisă

Cu grosimea stratului de tranfer de 1.5m și distanța dintre coloane de 2m și conținutul de ciment de la 0% la 6% cu diametrul coloanelor de la 0.5 la 0.8m, a rezultat o singură situație corespunzătoare: diametrul coloanei de 0.8m și conținutul de ciment de 6%. Limita tasării necesare va fi atinsă. Pentru diametre mai mici ale coloanei sau conținut de ciment mai mic, tasarea admisibilă nu este atinsă.

9.5.2. Tasare în cazul în care terenul de fundare este inundat (cu umiditatea saturată)

În cazul în care terenul de fundare este inundat, tasarea va fi mai mare. Calculul a fost realizat direct pentru coloanele cu diametru maxim de 0.8 m, cu conținut de ciment de 6% și variind distanțele dintre coloane (O_{i-j}):

Tab 9.10. Tasări ale fundațiilor pentru diferite cazuri de distanță dintre coloane

Materiale coloanelor	D _p (m)	1.5	Settlement (mm) la diametrul coloanelor/2R =0.8 m						
	Starea de fundatia/ Umiditate a terenului		Distanța dintre coloane: O ₁₂ (m)						
Loess + 6% cement compacted	inundat sau nu	nu	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4
		da	78.51	72.07	65.42	58.59	51.62	44.57	37.50
			178.81	163.01	146.70	129.96	112.88	95.59	78.27

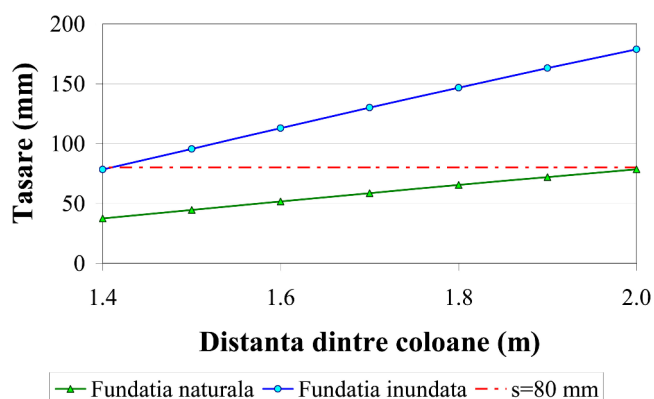


Fig 9.10. Tasările fundatiei în cazurile distantelor dintre coloane, comparate cu limita admisă

În cazul terenului inundat, cu grosimea stratului de tranfer de 1.5m și conținut de ciment de la 6% cu diametrul coloanelor de la 0.8m și numai pentru distanța dintre coloane 1.4 m, a rezultat tasarea sub limita admisă.

9.6. PROPUNERI DE REALIZARE A COLOANELOR

- * Fazele al execuție ale coloanelor de loess îmbunătățit cu ciment.
- * Conform unor certetări anterioare (Aurelian Catalin Burlacu, 2012) maiul recomandat pentru batere este de formă semisferă deoarece asigură o compactare optimă a stratului comparativ cu cele de formă tronconică.
- * Masa de material necesară pentru o etapă de compactare de 0.25503 tone cca 255.03 kg cu grad de compactare de 98% sau va fi 0.24723 tone cca 247 kg cu grad de compactare de 95%.

10. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE

10.1. CONCLUZII

- Loessul este un teren dificil pe care nu se pot funda clădiri grele. Este necesar să fie îmbunătățit pentru a îndeplini cerințele tehnice.
- Îmbunătățirea loessului prin amestecare cu ciment este o metodă eficientă.
- Procesul de amestecare a loessului cu ciment (ordine și timp) nu afectează fundamental proprietățile amestecului. Printre metodele de amestecare, se sugerează compactarea cât mai rapidă după amestecarea cimentului cu apa.
- Conținutul de ciment este un factor important al îmbunătățirii terenului. Acesta influențează parametrii tehnici ai amestecului și costul metodei. În timp ce un conținut mai mare de ciment creează proprietăți mecanice mai bune (cum ar fi rezistența și deformabilitatea) dar un conținut de ciment foarte mare (mai mare de 10%) creează un material casant. Pentru turnul de putere eoliană, amestecul de loess și 6% ciment este sugerat, pentru că acesta este procentul minim de ciment care generează un amestec care îndeplinește cerințele tehnice (și totuși mai mic decât procentul care ar crea un amestec casant).

10.2. CONTRIBUȚII PERSONALE

- Alcătuirea probelor de amestec de loess cu ciment cu diferite conținuturi de ciment și diferite metode de amestecare. Testele de laborator au fost făcute cu toate specișimenele pentru a afla proprietățile fizice și mecanice.
- Determinarea efectului conținutului de ciment, timpul de amestecare,... la proprietățile amestecului.
- Compararea diferitelor metode de amestecare și sugerarea celei mai bune.
- Crearea unui model de geo-structură și construcție, analiza cu diferite cazuri de îmbunătățire, pentru a determina varianta accesibilă;
- Propunerea metodei de îmbunătățire a loessului prin coloane de loess cu ciment, realizate prin forare în care se introduce pământul îmbunătățit controlat și se compactează în situ.

10.3. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE

- Acest studiu este limitat la un caz local pentru loessul din zona Călărași, pentru loess din alte zone, ar trebui realizate cercetări independente.

- Acest studiu se axează numai pe folosirea cimentului pentru a îmbunătăți loessul. Se sugerează cercetări viitoare cu alte materiale pentru a găsi și alte opțiuni de îmbunătățire a loessului.

- Acest studiu compară amestecurile de loess și ciment cu diferite metode de amestecare, dar procesele de amestecare au avut loc în laborator. Metodele de amestecare în teren pot fi studiate și dezvoltate în continuare.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Abelev, M.Y. (1975). "Compacting loess soils in the USSR". *Geotechnique* 25 (1), 79–82.
- [2] Angelova, R (1997). "Effect of some chemical additives on the strength development of soilcement". *Proc. of International Conference on the Implications of Ground Chemistry and Microbiology for Construction University of Bristol/UK*
- [3] Aurelian Catalin Burlacu (2012). "Contribuții la soluții de îmbunătățire a terenurilor slabe de fundare". teza de doctorat, UTCB.
- [4] Balasingam Muhunthan and Farid Sariosseiri (2008). "Interpretation of geotechnical properties of cement treated soils". Research Report, Washington State University, WA 99164-2910.
- [5] Bally, R.J. (1988). "Some specific problems of wetted loessial soils in civil engineering". *Eng. Geol.* 25, 303–324.
- [6] Barden, L., McGown, A., Collins, K. (1973). "The collapse mechanism in partly saturated soil.". *Eng. Geol.* 7, 49–60.
- [7] Beketov, A.K. (1983). "Silicification of subsidence loess soils". In: *Sealing and consolidation of soils in construction, Abstracts of reports at the All-Union Scientific and Technical Conference*. Stroyizdat, Rostov na Don, 10–13
- [8] Clemence, S.R., Finbarr, A.O. (1981). "Design considerations for collapsible soils". *J. Geotech. Eng.* 107, 305–317.
- [9] Ernest Olinic, Horatiu Popa, Sanda Manea, Loretta Batali, Tatiana Ivasuc (2014). "Optimal material for embankments: Mixture of clayey soils with granular material and industrial waste". *Romanian Journal of Materials* 2014, 44(4), pp.382-392
- [10] Evans, R.D., Jefferson, L., Northmore, K.J., et al. (2004). "Geophysical investigation and in-situ treatment of collapsible soils". In: *Geotechnical Special Public. No. 126, Geotechnical Engineering for Transportation Projects*, vol. 2, pp. 1848–1857, Los Angeles.
- [11] Evstatiev, D. (1998). "Loess improvement methods". *Eng. Geol.* 25, 341–366.
- [12] Fujun, N., Wankui, N., Yuhai, L. (1998). "Wetting-induced collapsibility of Loess and its engineering Treatments". In: *Proc of the International Symp. on Problematic Soils, Sendai*, vol. 1, pp. 395–399.
- [13] Gil'man, I.D., Gil'man, E.D. (1989). "Strengthening and restoration of buildings on loessial subsidence grounds". Stroyizdat, Moscow.
- [14] Grigoryan, A.A. (1984). "Pile foundations on subsidence ground". Stroyizdat, Moscow.
- [15] Heinz J. Priebe (1995). "The Design of Vibro Replacement". *GeTec Ingenieurgesellschaft*.
- [16] Houston, S.L., Houston, W.N., Zapata, C.E., Lawrence, C. (2001). "Geotechnical engineering practice for collapsible soils". *Geotechnical Engineering* 19, 333–355.
- [17] Houston, W.N., Houston, S.L. (1997). "Soil improvement in collapsing soils". In: *Subrahmanyam, M.S. (Ed.), Proc of the 1st Intern. Conf. Ground Improvement Techniques*, pp. 237–246, Macau..
- [18] Ian Jefferson ; Dimcho Evstatiev ; and Doncho Karastanev (2008). "The Treatment of Collapsible Loess Soils Using Cement Materials". *GeoCongress*.
- [19] Ian Jefferson, Chris Rogers, Dimcho Evstatiev and Doncho Karastanev (2015). "Chapter 7 - Improvement of Collapsible Loess in Eastern Europe, in *Ground Improvement Case Histories*". edited by Buddhima Indraratna, Jian Chu and Chalachat Rujikiatkamjorn, Butterworth-Heinemann, San Diego, 2015, Pages 215-261, ISBN 9780081006986.
- [20] Jefferson, I., Rogers, C.D.F. (2012). "Collapsible soils". In: *Burland, J., Chapman, T., Skinner, H., Brown, M. (Eds.), ICE Manual of Geotechnical Engineering*. ICE Publishing, London, pp. 391–411..
- [21] Lawton, E.C., Frigaszy, R.J., Hetherington, M.D. (1992). "Review of wetting induced collapse in compacted soils". *J. Geotech. Eng.* 118, 1376–1392.
- [22] Litvinov, I.M. (1977). "Strengthening and consolidating subsidence soils in housing and industrial construction". *Budivel'nik*, Kiev.

- [23] Minkov, M. (1993). "Loess soils". . In: Evstatiev, D., Angelova, R. (Eds.) Cementation and dispersion soils, Publication House BAS, Sofia, pp. 8–16 .
- [24] NP 112 - 2014 (2014). "Normativ privind proiectarea fundațiilor de suprafață". Ministerului Dezvoltării Regionale și Administrației Publice
- [25] NP 125:2010 (2010). "Normativ privind fundarea construcțiilor pe pământuri sensibile la umezire". Monitorul Oficial al României, partea I, nr. 158 BIS/4.III.2011
- [26] Popescu D. (1965). "Loessuri și pământuri loessoide ca roci macroporice în RSR". Hidrotehnica, Gosp. apelor met., vol. II, nr. 6
- [27] Richard L. Handy. (1956). "Stabilization of Iowa loess with Portland cement". Retrospective Theses and Dissertations. 14717.
- [28] Romeo Ciortan, Cyril Plomteux (2010). "Integrated Ground improvement solution for the largest wind farm project in Europe". From Research to Design in European Practice, Bratislava, Slovak Republic, June 2-4, 2010.
- [29] Sun, J. (2002). "Provenance of loess materials and formation of loess deposits on the Chinese loess plateau". Earth Planet Sc. Lett 203, 845–849..
- [30] Trofimov, V.T. (1989). "Modern problems of engineering geology of loess rocks". Nauka, Moscow.
- [31] Voronkevich, S.D. (1981). "Technical amelioration of rocks". Moscow University, Moscow.