



MONITORUL OFICIAL

AL

ROMÂNIEI

Anul 194 (XXXVIII) — Nr. 843 bis

PARTEA I
LEGI, DECRETE, HOTĂRĂRI ȘI ALTE ACTE

Mărti, 6 octombrie 2026

SUMAR

Pagina

Anexele nr. 1 și 2 la Ordinul ministrului dezvoltării, lucrărilor publice și administrației nr. 1.092/2026 pentru aprobarea reglementării tehnice „Normativ privind proiectarea soluțiilor de îmbunătățire a terenului de fundare și a lucrărilor din pământ, indicativ RTC 16-2026”, precum și a reglementării tehnice „Instrucțiune tehnică de execuție pentru soluțiile de îmbunătățire a terenului de fundare, indicativ RTC 17-2026”	4–188
---	-------

ACTE ALE ORGANELOR DE SPECIALITATE ALE ADMINISTRAȚIEI PUBLICE CENTRALE

MINISTERUL DEZVOLTĂRII, LUCRĂRILOR PUBLICE ȘI ADMINISTRAȚIEI

ORDIN

pentru aprobarea reglementării tehnice „Normativ privind proiectarea soluțiilor de îmbunătățire a terenului de fundare și a lucrărilor din pământ, indicativ RTC 16-2026”, precum și a reglementării tehnice „Instrucțiune tehnică de execuție pentru soluțiile de îmbunătățire a terenului de fundare, indicativ RTC 17-2026”*)

În conformitate cu prevederile art. 10 din Legea nr. 10/1995 privind calitatea în construcții, republicată, cu modificările și completările ulterioare, ale art. 2 din Regulamentul privind activitatea de reglementare în construcții și categoriile de cheltuieli aferente, aprobat prin Hotărârea Guvernului nr. 203/2003, cu modificările și completările ulterioare, ale art. 5 pct. 31) din Hotărârea Guvernului nr. 477/2020 privind organizarea și funcționarea Ministerului Dezvoltării, Lucrărilor Publice și Administrației, cu modificările și completările ulterioare, precum și ale Hotărârii Guvernului nr. 1.016/2004 privind măsurile pentru organizarea și realizarea schimbului de informații în domeniul standardelor și reglementărilor tehnice, precum și al regulilor referitoare la serviciile societății informaționale între România și statele membre ale Uniunii Europene, precum și Comisia Europeană, cu modificările și completările ulterioare,

având în vedere Procesul-verbal de avizare nr. 1 din 25.11.2025 al Comitetului tehnic de specialitate CTS Af Alunecări de teren și mecanica pământurilor și Procesul-verbal de avizare nr. 3 din 20.08.2026 al Comitetului tehnic de coordonare generală, aferente reglementării tehnice „Normativ privind proiectarea soluțiilor de îmbunătățire a terenului de fundare și a lucrărilor din pământ, indicativ RTC 16-2026”, precum și Procesul-verbal de avizare nr. 1 din 25.11.2025 al Comitetului tehnic de specialitate CTS Af Alunecări de teren și mecanica pământurilor și Procesul-verbal de avizare nr. 4 din 20.08.2026 al Comitetului tehnic de coordonare generală, aferente reglementării tehnice „Instrucțiune tehnică de execuție pentru soluțiile de îmbunătățire a terenului de fundare, indicativ RTC 17-2026”,

în temeiul art. 12 alin. (6) din Hotărârea Guvernului nr. 477/2020 privind organizarea și funcționarea Ministerului Dezvoltării, Lucrărilor Publice și Administrației, cu modificările și completările ulterioare,

ministrul dezvoltării, lucrărilor publice și administrației emite prezentul ordin.

Art. 1. — Se aprobă:

- a) reglementarea tehnică „Normativ privind proiectarea soluțiilor de îmbunătățire a terenului de fundare și a lucrărilor din pământ, indicativ RTC 16-2026”, prevăzută în anexa nr. 1;
- b) reglementarea tehnică „Instrucțiune tehnică de execuție pentru soluțiile de îmbunătățire a terenului de fundare, indicativ RTC 17-2026”, prevăzută în anexa nr. 2.

Art. 2. — Anexele nr. 1 și 2 fac parte integrantă din prezentul ordin.

Art. 3. — Prezentul ordin nu se aplică obiectivelor/proiectelor de investiții, indiferent de sursa de finanțare, publică sau privată:

- a) pentru care a fost începută procedura de avizare pe baza unui certificat de urbanism emis, aflat în termen de valabilitate la data intrării în vigoare a prezentului ordin;
- b) pentru ale căror studii de fezabilitate/documentații de avizare a lucrărilor de intervenții/proiecte tehnice de execuție au fost inițiate procedurile de achiziție publică până la data intrării în vigoare a prezentului ordin, prin transmiterea spre publicare a anunțului de participare/emiterea invitației de participare;
- c) ale căror proiecte tehnice de execuție sunt în curs de elaborare sau, după caz, în curs de elaborare în baza studiilor

de fezabilitate/documentațiilor de avizare a lucrărilor de intervenții menționate la lit. b);

d) ale căror studii de fezabilitate/documentații de avizare a lucrărilor de intervenții/proiecte tehnice de execuție au fost recepționate de investitorul public sau privat/beneficiarul public sau privat ori au fost depuse spre avizare/aprobare până la data intrării în vigoare a prezentului ordin;

e) pentru care au fost aprobați indicatorii tehnico-economici anterior intrării în vigoare a prezentului ordin;

f) pentru care, la data intrării în vigoare a prezentului ordin, există o autorizație de construire în termen de valabilitate, chiar dacă nu a fost făcut încă anunțul privind începerea lucrărilor, conform Legii nr. 169/2026 privind Codul amenajării teritoriului, urbanismului și construcțiilor;

g) pentru care există un contract de finanțare în termen de valabilitate la data intrării în vigoare a prezentului ordin;

h) ale căror lucrări sunt în curs de execuție la data intrării în vigoare a prezentului ordin.

Art. 4. — La data intrării în vigoare a prezentului ordin își încetează aplicabilitatea următoarele documente:

a) Decizia Biroului executiv al Consiliului științific al Institutului central de cercetare, proiectare și directivare în

*) Ordinul nr. 1.092/2026 a fost publicat în Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 843 din 6 octombrie 2026 și este reprodus și în acest număr bis.

construcții nr. 20 din 11.04.1985 pentru aprobarea Normativului privind îmbunătățirea terenurilor de fundare slabe prin procedee mecanice (caietele I....VI), indicativ C 29-1985, publicată în Buletinul Construcțiilor nr. 8/1985;

b) Decizia Biroului executiv al Consiliului științific al Institutului central de cercetare, proiectare și directivare în construcții nr. 91 din 17.11.1980 pentru aprobarea Instrucțiunilor tehnice pentru consolidarea pământurilor sensibile la umezire și a nisipurilor prin silicizare și electrosilicizare, indicativ C 168-1980, publicată în Buletinul Construcțiilor nr. 12/1980;

c) Decizia Biroului executiv al Consiliului științific al Institutului central de cercetare, proiectare și directivare în construcții nr. 59 din 30.09.1988 pentru aprobarea Normativului privind executarea lucrărilor de terasamente pentru realizarea fundațiilor construcțiilor civile și industriale, indicativ C 169-1988, publicată în Buletinul Construcțiilor nr. 5/1988;

d) Decizia Biroului executiv al Consiliului științific al Institutului central de cercetare, proiectare și directivare în construcții nr. 30 din 3.10.1986 pentru aprobarea Instrucțiunilor tehnice pentru folosirea pământurilor stabilizate la lucrările de fundații, indicativ C 196-1986, publicată în Buletinul Construcțiilor nr. 8/1986;

e) Ordinul ministrului lucrărilor publice și amenajării teritoriului nr. 4/N din 11.02.1994 pentru aprobarea Instrucțiunilor tehnice pentru proiectarea, executarea, recepționarea lucrărilor de îmbunătățire a terenurilor slabe de fundare prin metoda îmbunătățirii cu materiale locale de aport pe cale dinamică, indicativ C 251-1994, publicat în Buletinul Construcțiilor nr. 7/1994;

f) Ordinul ministrului transporturilor, turismului și construcțiilor nr. 311 din 17.02.1979 pentru aprobarea Instrucțiunilor tehnice departamentale pentru proiectarea și executarea fundațiilor pentru lucrările de drumuri din pământuri stabilizate cu ciment, indicativ CD 29-1979, publicat în Buletinul Construcțiilor nr. 11/1979;

g) Ordinul ministrului lucrărilor publice și amenajării teritoriului nr. 60/N din 3.11.1997 pentru aprobarea Normativului privind îmbunătățirea terenurilor de fundare slabe, prin procedee mecanice și de compactare cu maiul foarte greu — caiet VIII, indicativ NE 008-1997, publicat în Buletinul Construcțiilor nr. 15/1998.

Art. 5. — Prezentul ordin se publică în Monitorul Oficial al României, Partea I, și intră în vigoare în 30 de zile de la data publicării.

p. Ministrul dezvoltării, lucrărilor publice și administrației,

Kövér Orsolya-Mária,

secretar de stat

București, 17 septembrie 2026.

Nr. 1.092.

Anexă

Normativ privind proiectarea soluțiilor de
îmbunătățire a terenului de fundare și a
lucrărilor din pământ,
indicativ RTC 16-2026

1. SCOP SI DOMENIU DE APLICARE

Prezenta reglementare tehnică se referă la proiectarea soluțiilor de îmbunătățire a terenului de fundare al oricăror construcții și structurilor geotehnice și la proiectarea lucrărilor din pământ.

Pentru construcții și structuri specifice care urmează a fi fondate pe terenul îmbunătățit sau pentru anumite utilizări specifice ale lucrărilor din pământ se aplică prevederile reglementărilor tehnice în vigoare specifice acestora.

Prezenta reglementare tehnică înlocuiește prevederile legate de proiectare din următoarele reglementări tehnice:

- Normativ privind îmbunătățirea terenurilor de fundare slabe prin procedee mecanice (caietele I...VI), indicativ C 29-1985, aprobat prin Decizia Institutului Central de Cercetare, Proiectare și Directivare în Construcții nr. 20/11.04.1985, publicat în Buletinul Construcțiilor nr. 8/1985;
- Instrucțiuni tehnice pentru consolidarea pământurilor sensibile la umezire și a nisipurilor prin silicizare și electrosilicizare, indicativ C 168-1980, aprobat prin Decizia Institutului Central de Cercetare, Proiectare și Directivare în Construcții nr. 91/17.11.1980, publicat în Buletinul Construcțiilor nr. 12/1980;
- Normativ privind executarea lucrărilor de terasamente pentru realizarea fundațiilor construcțiilor civile și industriale, indicativ C 169-1988, aprobat prin Decizia Institutului Central de Cercetare, Proiectare și Directivare în Construcții nr. 59/30.09.1988, publicat în Buletinul Construcțiilor nr. 5/1988;
- Instrucțiuni tehnice pentru folosirea pământurilor stabilizate la lucrările de fundații, indicativ C 196-1986, aprobat prin Decizia Institutului Central de Cercetare, Proiectare și Directivare în Construcții nr. 30/03.10.1986, publicat în Buletinul Construcțiilor nr. 8/1986;
- Instrucțiuni tehnice pentru proiectarea executarea, recepționarea lucrărilor de îmbunătățire a terenurilor slabe de fundare prin metoda îmbunătățirii cu materiale locale de aport pe cale dinamică, indicativ C 251-1994, aprobat prin Ordinul ministrului lucrărilor publice și amenajării teritoriului nr. 4/N/11.02.1994, publicat în Buletinul Construcțiilor nr. 7/1994;
- Instrucțiuni tehnice departamentale pentru proiectarea și executarea fundațiilor pentru lucrările de drumuri din pământuri stabilizate cu ciment, indicativ CD 29-1979, aprobat prin Ordinul ministrului transporturilor, turismului și construcțiilor nr. 311/17.02.1979, publicat în Buletinul Construcțiilor nr. 11/1979;
- Normativ privind îmbunătățirea terenurilor de fundare slabe, prin procedee mecanice și de compactare cu maiul foarte greu - caiet VIII, indicativ NE 008-1997, aprobat prin Ordinul ministrului lucrărilor publice și amenajării teritoriului nr. 60/N/03.11.1997, publicat în Buletinul Construcțiilor nr. 15/1998.

În Partea I a reglementării tehnice (Cap. 4) sunt incluse prevederi generale de proiectare și de întocmire a specificațiilor tehnice (caietelor de sarcini) pentru proiectele de soluții de îmbunătățire a terenurilor din loc, iar pentru fiecare din metodele tratate sunt prezentate elemente generale, scop și domeniu de aplicare, limitări, materiale utilizate, proiectarea și specificarea acestor lucrări.

Pentru execuția lucrărilor de îmbunătățire a terenului se aplică prevederile reglementării tehnice Instrucțiune tehnică de execuție privind tehnicile de îmbunătățire a terenului de fundare, indicativ RTC 17-2026.

În Partea a II-a a reglementării tehnice (Cap. 5) sunt tratate proiectele lucrărilor din pământ, denumite și lucrări de terasamente, pentru realizarea structurilor geotehnice din pământ. Este de precizat faptul că prezenta reglementare tehnică se referă doar la proiectarea lucrărilor din pământ, nu și la proiectarea structurilor geotehnice rezultate (diguri, rambleuri, debleuri etc.).

Pentru execuția lucrărilor din pământ se aplică prevederile standardului SR EN 16907, toate părțile.

2. TERMENI SI DEFINITII

2.1. Termeni generali

Se aplică termenii generali legați de proiectarea structurală și geotehnică din standardul SR EN 1990:2023, precum și cei referitori la proiectarea geotehnică din standardele SR EN 1997-1:2024, SR EN 1997-2:2024, SR EN 1997-3:2025, și din reglementarea tehnică Normativ privind documentațiile geotehnice pentru construcții, indicativ NP 074-2022, aprobat prin Ordinul ministrului dezvoltării, lucrărilor publice și administrației nr. 27/10.01.2023, publicat în Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 56 și 56 bis din 20 ianuarie 2023, denumit în continuare NP 074-2022.

Mai jos sunt prezentați o serie de termeni specifici lucrărilor de îmbunătățire a terenului, aplicabili prezentei reglementări tehnice.

- (1) **teren** - pământuri, roci și umpluturi existente pe amplasament înainte de începerea lucrărilor de construcție;
- (2) **îmbunătățirea terenului** - modificarea terenului pentru a-i îmbunătăți performanțele față de stările limită ultime și/sau de serviciu;
- (3) **îmbunătățire discretă** - îmbunătățire a terenului care cuprinde incluziuni create în teren care au proprietăți diferite de cele ale terenului din jur;

Notă: sursa standardul SR EN 1997-3:2025.

- (4) **îmbunătățire difuză** - îmbunătățire a terenului în care zona de teren îmbunătățită poate fi modelată cu un singur set de parametri;

Notă: sursa standardul SR EN 1997-3:2025.

- (5) **Model al Terenului** - Modelul Terenului este o reprezentare a condițiilor topografice, geologice, tectonice, hidrogeologice și geotehnice relevante dintr-un amplasament dat, care se bazează pe rezultatele investigațiilor de teren și alte date relevante;

Notă: sursa reglementarea tehnică NP 074-2022.

- (6) **Model Geotehnic de Proiectare** - Modelul Geotehnic de Proiectare este o reprezentare a terenului din amplasament derivată din modelul terenului care este utilizată la etapa de proiectare geotehnică pentru verificarea stărilor limită și situațiilor de proiectare;

Notă: sursa reglementarea tehnică NP 074-2022.

- (7) **zonă de influență** - zonă în care lucrările de construcție sau structura geotehnică poate afecta negativ siguranța, starea de exploatare, robustețea, durabilitatea sau sustenabilitatea structurii geotehnice sau a altor structuri, utilitățile, terenul sau apa subterană;

Notă: sursa standardul SR EN 1997-1:2024.

- (8) **Categorie Geotehnică** - sistem de clasificare care combină incertitudinea și complexitatea terenului, inclusiv interacțiunea dintre apă subterană și/sau teren cu structura, cu consecințele cedării;

Notă: sursa standardul SR EN 1997-1:2024.

- (9) **structură geotehnică** - o structură care include pământul sau o parte structurală de construcție care se bazează pe rezistența pământului;

- (10) **zonă îmbunătățită** - volum de teren care a fost îmbunătățit și care are proprietăți modificate;

Notă: sursa standardul SR EN 1997-3:2025.

- (11) **incluziune** - element creat în teren, cu geometrie definită și cu proprietăți semnificativ diferite față de terenul din jur pentru a modifica distribuția încărcărilor, eforturilor și a curgerii apei subterane în terenul îmbunătățit;

Notă: sursa standard SR EN 1997-3:2025.

- (12) **incluziune rigidă** - incluziune cu rigiditate și rezistență considerabil mai mare decât cea a terenului din jur;

Notă: sursa standard SR EN 1997-3:2025.

- (13) **specificație tehnică** - document sau set de documente care cuprind prevederi scrise, piese desenate, descrieri ale lucrărilor proiectate, cerințe tehnice aferente execuției și materialelor utilizate, prevederi legate de controlul lucrărilor, toleranțe și alte date tehnice și cerințe necesare pentru execuția lucrărilor;

Nota 1: adaptat după standardele SR EN 1997-1:2024 și SR EN 16907-1.

Nota 2: mai poartă numele de caiet de sarcini

- (14) **caracteristici** - proprietăți ale materialelor care pot fi relevante pentru o anumită utilizare;
- (15) **proprietăți** - atribute fizice, mecanice și chimice ale unui material;
- (16) **poligon experimental (de încercare)** - un sector sau o zonă special amenajată din amplasament utilizată pentru a testa și a evalua comportamentul diferitelor tehnologii, materiale sau soluții de îmbunătățire.

2.2. Termeni referitori la îmbunătățirea terenului de fundare prin compactare dinamică

- (17) **compactare dinamică prin batere** - compactare de adâncime a terenului obținută prin căderea unor maiuri grele sau prin aplicarea unor impulsuri, în mod repetat, pe teren, de regulă în puncte care formează o rețea, care generează unde de vibrații ce se propagă în teren;
- (18) **compactare dinamică prin vibrare (vibro-compactare)** - compactare de adâncime prin vibrare a terenului obținută prin crearea de vibrații prin introducerea în teren a unui vibrator sau a unui profil vibrant.

Notă: Pentru compactarea dinamică prin vibrare se aplică termenii și definițiile din standardul SR EN 14731.

2.3. Termeni referitori la îmbunătățirea terenului de fundare prin consolidare

- (19) **consolidare** - procesul de reducere a volumului porilor unui pământ sub acțiunea încărcărilor aplicate, concomitent cu expulzarea apei din pori (la pământurile saturate);
- (20) **rambleu de preîncărcare** - rambleu executat pe un teren ce urmează a fi îmbunătățit prin consolidare care aduce pe teren o sarcină mai mare decât sarcina finală ce va fi aplicată de structura permanentă ce va fi fundată;
- (21) **drenuri verticale** - structură de drenaj verticală creată în teren pentru a înlătura excesul de presiune a apei din pori, accelerând consolidarea terenurilor moi, saturate;

Notă: Pentru îmbunătățirea terenului cu drenuri verticale se aplică termenii și definițiile din standardul SR EN 15237.

2.4. Termeni referitori la îmbunătățirea terenului prin coloane

- (22) **coloane din material granular realizate prin vibrare** - metodă de îmbunătățire a terenului prin vibrare de adâncime în care un vibrator de adâncime este folosit pentru a forma coloane continue din material granular de aport (vibro-înlocuire) sau din materialul necoeziv din teren (vibro-compactare);

Notă: Pentru compactarea dinamică prin vibrare se aplică termenii și definițiile din standardul SR EN 14731.

- (23) **substituție dinamică** - metodă de îmbunătățire a terenului prin utilizarea compactării dinamice pentru a introduce în teren materiale granulare pentru a forma coloane sau ploturi din material granular;
- (24) **coloane în teacă de geoextil** - coloane din material granular sau pământ la care materialul este introdus într-o teacă realizată din geotextil, introdusă în prealabil în teren cu ajutorul unui tubaj, pentru a controla dimensiunea și forma coloanei formate într-un teren foarte moale.

2.5. Termeni referitori la îmbunătățirea terenului prin incluziuni rigide

- (25) **platformă de transfer** - strat compactat, de regulă din material granular, deseori armat, amplasat peste capetele incluziunilor rigide, sub fundație, pentru a distribui încărcările între incluziuni și terenul dintre acestea.

2.6. Termeni referitori la îmbunătățirea terenului prin injecții

- (26) **injectare a terenului de fundare** - introducerea unor fluide în teren cu ajutorul presiunii, capabile să modifice proprietățile fizico-mecanice ale materialelor din care acesta este alcătuit.

Nota 1: Pentru îmbunătățirea terenurilor prin injecții se aplică termenii și definițiile din standardul SR EN 12715.

Nota 2: Pentru îmbunătățirea pământurilor prin injecții cu presiune înaltă se aplică termenii și definițiile din standardul SR EN 12716.

2.7. Termeni referitori la îmbunătățirea terenurilor prin malaxare de adâncime

- (27) **îmbunătățire prin malaxare de adâncime** - tehnică de îmbunătățire care presupune amestecarea mecanică a unui liant cu pământul, *in-situ* sau *ex-situ* pentru a crea un nou material cu proprietăți îmbunătățite.

Notă: Pentru îmbunătățirea pământurilor prin malaxare în adâncime se aplică termenii și definițiile din SR EN 14679.

2.8. Termeni referitori la lucrări din pământ

Pentru lucrările din pământ se aplică termenii și definițiile din standardul SR EN 16907 (toate părțile).

- (28) **lucrări din pământ** - proces de inginerie civilă, care modifică geometria suprafeței terenului prin crearea unor structuri din pământ stabile și durabile;
- (29) **structură din pământ** - structură de inginerie civilă, realizată din pământuri, roci, subproduse sau materiale reciclate, rezultată din lucrări de lucrări din pământ (debleu, rambleu, umplutură);

Notă: sursă standardul SR EN 16907-1.

- (30) **proiectarea lucrărilor din pământ** - stabilirea procesului de construcție pentru realizarea unei anumite structuri din pământ;
- (31) **stabilizarea pământului (stabilizare chimică)** - operație care constă din obținerea unui amestec omogen de pământ cu liant (lianți) și, eventual, cu apă care, după compactare adecvată, modifică semnificativ (în general, pe termen mediu sau lung) caracteristicile pământului, astfel încât să îl facă stabil, în mod deosebit în raport cu acțiunea apei sau a înghețului.

3. REFERINTE

Standarde române de referință

Nr. crt	Indicativ	Titlu
1.	SR EN 1997-1:2024	Eurocod 7: Proiectare geotehnică. Partea 1: Reguli generale
2.	SR EN 1997-1:2024/NA:2025	Eurocod 7: Proiectare geotehnică. Partea 1: Reguli generale. Anexă Națională
3.	SR EN 1997-2:2024	Eurocod 7: Proiectare geotehnică. Partea 2: Proprietăți ale terenului
4.	SR EN 1997-2:2024/NA:2025	Eurocod 7: Proiectare geotehnică. Partea 2: Proprietăți ale terenului. Anexa Națională
5.	SR EN 1997-3:2025	Eurocod 7: Proiectare geotehnică. Partea 3: Structuri geotehnice
6.	SR EN 1990:2023	Eurocod: Bazele proiectării structurale și geotehnice
7.	SR EN 1990:2023/NA:2025	Eurocod: Bazele proiectării structurale și geotehnice. Anexa Națională
8.	SR EN 1992-1-1:2024	Eurocod 2. Proiectarea structurilor din beton. Partea 1-1: Reguli generale și reguli pentru clădiri, poduri și structuri de inginerie civilă
9.	SR EN 1992-1-1:2024/NA:2025	Eurocod 2. Proiectarea structurilor din beton. Partea 1-1: Reguli generale și reguli pentru clădiri, poduri și structuri de inginerie civilă. Anexa Națională
10.	SR EN 1993-1-1:2023	Eurocod 3: Proiectarea structurilor din oțel. Partea 1-1: Reguli generale și reguli pentru clădiri
11.	SR EN 1993-1-1:2023/NA:2025	Eurocod 3: Proiectarea structurilor din oțel. Partea 1-1: Reguli generale și reguli pentru clădiri. Anexa Națională
12.	SR EN 1995-1-1:2004	Eurocod 5: Proiectarea structurilor de lemn. Partea 1-1: Generalități. Reguli comune și reguli pentru clădiri
13.	SR EN 1995-1-1:2004/NB	Eurocod 5: Proiectarea structurilor de lemn. Partea 1-1: Generalități. Reguli comune și reguli pentru clădiri. Anexă națională
14.	SR EN 16907-1	Lucrări din pământ. Partea 1: Principii și reguli generale
15.	SR EN 16907-2	Lucrări din pământ. Partea 2: Clasificarea materialelor
16.	SR EN 16907-3	Lucrări din pământ. Partea 3: Proceduri de construcție

17.	SR EN 16907-4	Lucrări din pământ. Partea 4: Tratarea pământurilor cu var și/sau lianți hidraulici
18.	SR EN 16907-5	Lucrări din pământ. Partea 5: Controlul calității
19.	SR EN 16907-6	Lucrări din pământ. Partea 6: Lucrări din pământ pentru recuperarea de terenuri din apă utilizând umpluturi din material dragat pus în operă prin hidromecanizare
20.	SR EN 16907-7	Lucrări din pământ. Partea 7: Punerea în operă prin hidromecanizare a deșeurilor miniere
21.	SR EN ISO 14688-1	Investigații și încercări geotehnice. Identificarea și clasificarea pământurilor. Partea 1: Identificare și descriere
22.	SR EN ISO 14688-2	Investigații și încercări geotehnice. Identificarea și clasificarea pământurilor. Partea 2: Principii pentru o clasificare
23.	SR EN 15237	Execuția lucrărilor geotehnice speciale. Drenaj vertical
24.	SR EN 13251	Geotextile și produse înrudite. Caracteristici impuse pentru utilizarea în lucrări de terasamente, fundații și structuri de susținere
25.	SR EN 13252	Geotextile și produse înrudite. Caracteristici impuse pentru utilizarea în sisteme de drenaj
26.	SR EN ISO 12958-1	Geotextile și produse înrudite cu geotextilele. Determinarea capacității de curgere a apei în planul acestora. Partea 1: Încercare de identificare
27.	SR EN ISO 12958-2	Geotextile și produse înrudite cu geotextilele. Determinarea capacității de curgere a apei în planul acestora. Partea 2: Încercare de performanță
28.	SR EN 14731	Execuția lucrărilor geotehnice speciale. Îmbunătățirea pământurilor prin vibrare de adâncime
29.	SR EN 12715	Execuția lucrărilor geotehnice speciale. Injectarea terenurilor
30.	SR EN 12716	Execuția lucrărilor geotehnice speciale. Injectarea cu presiune înaltă a terenurilor (jet grouting)
31.	SR EN 14679	Execuția lucrărilor geotehnice speciale. Stabilizarea în adâncime a pământurilor prin malaxare
32.	SR EN 197-1	Ciment Partea 1: Compoziție, specificații și criterii de conformitate ale cimenturilor uzuale
33.	SR EN 197-2	Ciment. Partea 2: Evaluarea și verificarea constanței performanței
34.	SR EN 459-1	Var pentru construcții. Partea 1: Definiții, specificații și criterii de conformitate
35.	SR EN 459-2	Var pentru construcții. Partea 2: Metode de încercare
36.	SR 2914:2024	Lucrări de drumuri – Terasamente - Condiții tehnice de calitate
37.	SR EN ISO 17892-4	Investigații și încercări geotehnice. Încercări de laborator pe pământuri. Partea 4: Determinarea distribuției granulometrice a particulelor
38.	SR EN ISO 17892-7	Investigații și încercări geotehnice. Încercări de laborator pe pământuri. Partea 7: Încercare la compresiune monoaxială
39.	SR EN ISO 17892-10	Investigații și încercări geotehnice. Încercări de laborator pe pământuri. Partea 10: Încercări de forfecare directă
40.	SR EN ISO 17892-12	Investigații și încercări geotehnice. Încercări de laborator pe pământuri. Partea 12: Determinarea limitelor de lichiditate și plasticitate
41.	STAS 7107/1	Teren de fundare. Determinarea materiilor organice

42.	STAS 10473/1	Lucrări de drumuri. Straturi din agregate naturale sau pământuri stabilizate cu ciment. Condiții tehnice generale de calitate
43.	STAS 10473/2	Lucrări de drumuri. Straturi rutiere din agregate naturale sau pământuri stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici. Metode de determinare și încercare
44.	STAS 1913/12	Teren de fundare. Determinarea caracteristicilor fizice și mecanice ale pământurilor cu umflări și contracții mari
45.	STAS 1913/13	Teren de fundare. Determinarea caracteristicilor de compactare. Încercarea Proctor
46.	STAS 1913/15	Teren de fundare. Determinarea greutatei volumice, pe teren
47.	SR EN 13286-2	Amestecuri netratate și tratate cu lianți hidraulici. Partea 2: Metode de încercare pentru determinarea în laborator a masei volumice de referință și a conținutului de apă. Compactare Proctor
48.	SR EN 13286-46	Amestecuri netratate și tratate cu lianți hidraulici. Partea 46: Metode de determinare a valorii parametrului de umiditate
49.	SR EN 13286-47	Amestecuri legate și nelegate hidraulic – Partea 47: Metodă de încercare pentru determinarea indicelui californian de capacitate portantă (CBR), a indicelui de portanță imediată (IPI) și a umflării liniare
50.	SR EN 13242	Agregate din materiale nelegate sau legate hidraulic pentru utilizare în inginerie civilă și în construcții de drumuri
51.	SR EN 933-1	Încercări pentru determinarea caracteristicilor geometrice ale agregatelor. Partea 1: Determinarea granulozității. Analiza granulometrică prin cernere
52.	SR EN 933-3	Încercări pentru determinarea caracteristicilor geometrice ale agregatelor. Partea 3: Determinarea formei granulelor. Coeficient de aplatizare
53.	SR EN 933-4	Încercări pentru determinarea caracteristicilor geometrice ale agregatelor. Partea 4: Determinarea formei particulelor. Coeficient de formă
54.	SR EN 933-8	Încercări pentru determinarea caracteristicilor geometrice ale agregatelor. Partea 8: Evaluarea părților fine. Determinarea echivalentului de nisip
55.	SR EN 1097-1	Încercări pentru determinarea caracteristicilor mecanice și fizice ale agregatelor. Partea 1: Determinarea rezistenței la uzură (micro-Deval)
56.	SR EN 1097-2	Încercări pentru determinarea caracteristicilor mecanice și fizice ale agregatelor. Partea 2: Metode pentru determinarea rezistenței la sfărâmare
57.	SR EN 1097-6	Încercări pentru determinarea caracteristicilor mecanice și fizice ale agregatelor. Partea 6: Determinarea densității și a absorbției de apă a granulelor
58.	SR EN 1097-9	Încercări pentru determinarea caracteristicilor mecanice și fizice ale agregatelor. Partea 9: Metodă pentru determinarea rezistenței la uzură prin abraziune provocată de pneuri cu crampoane. Încercarea scandinavă
59.	SR EN 1367-2	Încercări pentru determinarea caracteristicilor termice și de alterabilitate ale agregatelor. Partea 2: Încercarea cu sulfat de magneziu

60.	SR EN 933-9	Încercări pentru determinarea caracteristicilor geometrice ale agregatelor. Partea 9: Evaluarea părților fine. Încercare cu albastru de metilen
61.	SR EN 1744-1	Încercări pentru determinarea proprietăților chimice ale agregatelor. Partea 1: Analiză chimică
62.	SR EN 1467	Piatră naturală. Blocuri brute. Specificații
63.	SR EN 13373	Metode de încercare a pietrei naturale. Determinarea caracteristicilor geometrice ale elementelor
64.	SR EN 12407	Metode de încercare a pietrei naturale. Examinare petrografică
65.	SR EN 1936	Metode de încercare a pietrei naturale. Determinarea densității reale și densității aparente și a porozității totale și deschise
66.	SR EN 12371	Metode de încercare a pietrei naturale. Determinarea rezistenței la îngheț
67.	SR EN 1926	Metode de încercare a pietrei naturale. Determinarea rezistenței la compresiune uniaxială
68.	SR EN 13383-1	Agregate pentru anrocamente. Partea 1: Specificații
69.	SR EN 13383-2	Anrocamente. Partea 2: Metode de încercare
70.	SR EN 13282-1	Lianți hidraulici rutieri. Partea 1: Lianți hidraulici rutieri cu întărire rapidă. Compoziție, specificații și criterii de conformitate
71.	SR EN 13282-2	Lianți hidraulici rutieri. Partea 2: Lianți hidraulici rutieri cu întărire normală. Compoziție, specificații și criterii de conformitate
72.	SR EN 15167-1	Zgură granulată de furnal măcinată pentru utilizare în beton, mortar și pastă. Partea 1: Definiții, specificații și criterii de conformitate
73.	SR EN 14227-2	Amestecuri tratate cu lianți hidraulici. Specificații. Partea 2: Amestecuri granulare tratate cu zgură
74.	STAS 1242/7	Teren de fundare. Cercetarea geofizică a terenului prin metode seismice
75.	STAS 1242/8	Teren de fundare. Principii de cercetare geofizică a terenului prin metode electrometrice în curent continuu
76.	STAS 1242/9	Teren de fundare. Cercetarea geofizică a terenului prin metode radiometrice
77.	SR EN ISO 22476-2	Investigații și încercări geotehnice. Încercări pe teren. Partea 2: Încercare de penetrare dinamică
78.	SR EN ISO 22476-12	Investigații și încercări geotehnice. Încercări pe teren. Partea 12: Încercare mecanică de penetrare statică cu con (CPTM)
79.	STAS 8942/3	Teren de fundare. Determinarea modului de deformare liniară prin încercări pe teren cu placa
80.	SR CEN/TS 17006	Terasamente — Control continuu al compactării (CCC)

Notă: Se utilizează cele mai recente ediții ale standardelor române de referință, împreună cu anexele naționale (dacă este cazul), amendamentele și/sau eratele publicate de către organismul național de standardizare, cu excepția standardelor armonizate, la care se utilizează edițiile citate în lista cuprinzând indicativele de referință ale standardelor române care transpun standarde europene armonizate din domeniul produselor pentru construcții, aprobată prin ordin al ministrului ministerului de resort.

Reglementări tehnice de referință

Nr. crt	Reglementare tehnică
1.	Normativ privind documentațiile geotehnice pentru construcții, indicativ NP 074-2022, aprobat prin Ordinul ministrului dezvoltării, lucrărilor publice și administrației nr.

	27/10.01.2023, publicat în Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 56 și 56 bis din 20 ianuarie 2023, denumit în continuare NP 074-2022.
2.	Normativ privind determinarea valorilor caracteristice și de calcul ale parametrilor geotehnici, indicativ NP 122-2010, aprobat prin Ordinul ministrului dezvoltării regionale și turismului nr. 2690/29.12.2010, publicat în Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 158 bis din 04 martie 2011, denumit în continuare NP 122-2010
3.	Normativ privind proiectarea fundațiilor de suprafață, indicativ NP 112-2014, aprobat prin Ordinul ministrului transporturilor, construcțiilor și turismului nr. 2352/24.11.2014, publicat în Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 935 bis din 22 decembrie 2014, denumit în continuare NP 112-2014
4.	Normativ privind proiectarea geotehnică a fundațiilor pe piloți, indicativ NP 123-2022, aprobat prin Ordinul ministrului dezvoltării, lucrărilor publice și administrației nr. 2405/14.09.2022, publicat în Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 924 și 924 bis din 21 septembrie 2022, denumit în continuare NP 123-2022
5.	Normativ privind proiectarea geotehnică a lucrărilor de susținere, indicativ NP 124-2010, aprobat prin Ordinul ministrului dezvoltării regionale și turismului nr. 2689/29.12.2010, publicat în Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 158 bis din 04 martie 2011, denumit în continuare NP 124-2010
6.	Normativ privind fundarea construcțiilor pe pământuri sensibile la umezire, indicativ NP 125-2010, aprobat prin Ordinul ministrului dezvoltării regionale și turismului nr. 2688/29.12.2010, publicat în Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 158 bis din 04 martie 2011, denumit în continuare NP 125-2010
7.	Normativ privind fundarea construcțiilor pe pământuri cu umflări și contracții mari, indicativ NP 126-2010, aprobat prin Ordinul ministrului dezvoltării regionale și turismului nr. 115/31.05.2012, publicat în Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 397 bis din 13 iunie 2012, denumit în continuare NP 126-2010
8.	Ghid privind proiectarea geotehnică, indicativ GP 129-2014, Ordinul ministrului dezvoltării regionale și administrației publice nr. 2597/29.12.2014, publicat în Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 95 bis din 05 februarie 2015, denumit în continuare GP 129-2014
9.	Ghid privind proiectarea structurilor din pământ armat cu materiale geosintetice și metalice, indicativ GP 093-2006, aprobat prin Ordinul ministrului transporturilor, construcțiilor și turismului nr. 1764/21.09.2006, publicat în Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 896 bis din 03 noiembrie 2006, denumit în continuare GP 093-2006
10.	Normativ privind urmărirea comportării în exploatare a construcțiilor, indicativ P 130-2025, aprobat prin Ordinul ministrului dezvoltării, lucrărilor publice și administrației nr. 770/30.05.2025, publicat în Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 568 și 568 bis din 19 iunie 2025, denumit în continuare P 130-2025
11.	Instrucțiunile privind controlul calității terasamentelor, indicativ AND 530-2012, aprobat prin Decizia directorului general al Companiei Naționale de Autostrăzi și Drumuri Naționale din România nr. 786/28.06.2012, publicată în Buletinul Tehnic Rutier nr. 6-7/2012, denumit în continuare AND 530-2012
12.	Normativ pentru verificarea calității și recepția lucrărilor de construcții și instalații aferente, indicativ C 56-1985, aprobat prin Decizia Institutului Central de Cercetare, Proiectare și Directivare în Construcții nr. 61/30.10.1985, publicat în Buletinul Construcțiilor nr. 1-2/1986, denumit în continuare C 56-1985

Notă: Lista reglementărilor tehnice de referință dată în această reglementare tehnică se consultă împreună cu lista documentelor normative aflate în vigoare publicată de către autoritățile de reglementare de resort.

4. SOLUȚII DE ÎMBUNĂȚĂȚIRE A TERENULUI DE FUNDARE

4.1. Clasificarea metodelor de îmbunătățire a terenului

(1) În cazul în care terenul de fundare al construcțiilor nu are caracteristicile necesare pentru a asigura rezistența și stabilitatea acestora la stările limită ultime și de serviciu, soluțiile care pot fi adoptate sunt: înlocuirea terenului slab, adoptarea de soluții de fundare indirecte pe elemente fișate (piloți sau barete) sau îmbunătățirea terenului.

(2) Obiectivele îmbunătățirii terenului sunt:

- creșterea densității;
- creșterea rezistenței;
- reducerea compresibilității și creșterea rigidității;
- modificarea permeabilității (fie reducerea infiltrațiilor, fie creșterea vitezei de consolidare);
- îmbunătățirea omogenității.

(3) Metodele de îmbunătățire a terenului pot fi clasificate în diferite categorii și urmând diverse sisteme de clasificare. În prezent este adoptat standardul SR EN 1997-3:2025 care clasifică metodele de îmbunătățire a terenului în două mari categorii:

(i) Metode de îmbunătățire difuză - cu 2 clase:

A.I. - Metode de îmbunătățire difuză pentru care materialul rezultat nu are o rezistență măsurabilă la compresiune monoaxială; rezistența la forfecare sau rigiditatea sunt îmbunătățite față de terenul inițial. În această categorie intră metodele care implică compactare, înlocuire sau consolidarea terenului.

A.II. - Metode de îmbunătățire difuză pentru care materialul rezultat are o rezistență măsurabilă la compresiune monoaxială; rigiditatea este considerabil crescută față de materialul inițial. În această categorie intră metodele care implică injecții sau amestecuri.

(ii) Metode de îmbunătățire discretă – cu 2 clase:

B.I. - Metode de îmbunătățire discretă cu incluziuni nerigide – terenul este îmbunătățit prin realizarea în teren a unor incluziuni care au rezistență la forfecare și rigiditate mai mare decât a terenului; rezistența la compresiune monoaxială a incluziunii nu este măsurabilă. În această categorie intră incluziuni de tip coloane din material granular.

B.II. - Metode de îmbunătățire discretă cu incluziuni rigide – terenul este îmbunătățit prin realizarea în teren a unor incluziuni rigide, care au rezistență la compresiune monoaxială și rigiditate semnificativ mai mari decât cele ale terenului. În această categorie intră incluziunile prefabricate sau realizate pe loc din beton, metal sau amestecuri cu lianți. Pentru această categorie standardul SR EN 1997-3:2025 impune următoarele condiții:

- fie transferul încărcărilor structurale se face, de la fundațiile de tip radier sau fundații directe în cazul clădirilor sau de la rambleuri, printr-o platformă de transfer;
- fie, dacă nu există platformă de transfer, nu există conexiune structurală între incluziunile rigide și fundație.

(4) Tradițional, conform Raportului TC 211 ISSMGE - General Report of TC 211, Ground Improvement, Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris 2013, metodele de îmbunătățire a terenului sunt clasificate astfel:

- A. Metode de îmbunătățire fără adaosuri – în terenuri granulare sau umpluturi: compactare dinamică, vibro-compactare, compactare prin explozii sau impuls, compactare de suprafață;
- B. Metode de îmbunătățire fără adaosuri – în terenuri coezive: înlocuire, preîncărcare cu sau fără drenuri verticale, consolidare prin drenaj și/sau electro-osmoză, metode termice (îngheț, ardere);
- C. Metode de îmbunătățire cu adaosuri sau incluziuni – coloane prin vibro-înlocuire, coloane de material granular, coloane în geotextil, incluziuni rigide, metode biologice;
- D. Metode de îmbunătățire prin injecții și amestecuri – injecții de diferite tipuri, metode care implică amestecuri cu lianți, injecții cu presiune înaltă;

- E. Metode de îmbunătățire prin armarea pământului – structuri din pământ armat cu materiale geosintetice sau armături metalice, ancore și ținte, ranforsare în masă cu fibre, metode biologice de ranforsare.

Notă: În lucrările recente aceasta nu este considerată o tehnică de îmbunătățire, ci o tehnică de realizare a structurilor geotehnice din pământ.

(5) Corespondența dintre tehnicile de îmbunătățire cunoscute și clasele A și B definite de standardul SR EN 1997-3:2025 poate fi găsită în Anexa I a standardului SR EN 1997-3:2025, care are rol informativ.

(6) Prezenta reglementare tehnică prezintă principii generale de proiectare pentru clasele A (I și II) și B (I și II), în conformitate cu standardul SR EN 1997-3:2025, precum și elemente specifice de proiectare pentru cele mai întâlnite tehnici de îmbunătățire.

(7) În Anexa F sunt prezentate sintetic etapele de parcurs pentru un proiect de soluție de îmbunătățire a terenului de fundare.

(8) În Anexa G este prezentată o sinteză a metodelor de îmbunătățire a terenului de fundare, împreună cu aplicabilitatea lor orientativă pentru diferite tipuri de pământuri.

(9) În Anexa H este prezentat un tabel cu diverși parametri geotehnici care trebuie determinați în cursul proiectării soluțiilor de îmbunătățire a terenului de fundare, împreună cu standardele de încercare aplicabile.

4.2. Principii și reguli generale pentru proiectarea și specificarea lucrărilor de îmbunătățire a terenului de fundare

4.2.1. Principii și reguli generale pentru proiectarea lucrărilor de îmbunătățire a terenului de fundare

(1) Pentru proiectarea soluțiilor de îmbunătățire a terenului se aplică prevederile standardelor SR EN 1990:2023 și SR EN 1997:2024,2025, toate părțile.

(2) Proiectarea soluțiilor de îmbunătățire a terenului trebuie bazată pe:

- Modelul Terenului, ca rezultat al etapei de investigație geotehnică a terenului, elaborat în conformitate cu prevederile reglementării tehnice NP 074-2022.
- Modelul Geotehnic de Proiectare, dezvoltat în cadrul proiectului geotehnic, în conformitate cu prevederile reglementării tehnice NP 074-2022.

(3) Pentru proiectarea soluțiilor de îmbunătățire a terenului trebuie definită zona de influență a structurii/construcției/lucrării în conformitate cu prevederile de la 4.1.2.1 și 4.2.5. ale standardului SR EN 1997-1:2024.

(4) La definirea zonei de influență pentru soluții de îmbunătățire a terenului se va acorda atenție în mod special modificărilor tranzitorii sau permanente induse condițiilor de teren și stării de eforturi prin aplicarea tehnicilor de îmbunătățire.

(5) Extinderea zonei de influență în cazul soluțiilor de îmbunătățire a terenului trebuie să fie determinată cu considerarea și a impactului asupra mediului pe care aplicarea tehnicilor de îmbunătățire a terenului îl produce.

(6) Cerințele de investigare, proiectare, validare, inspecție, monitorizare, precum și managementul calității proiectării soluțiilor de îmbunătățire a terenului de fundare trebuie fundamentate pe baza Categoriei Geotehnice determinată în conformitate cu reglementarea tehnică NP 074-2022.

(7) În conformitate cu standardul SR EN 1997-3:2025 12.2.8., lucrările de îmbunătățire a terenului trebuie încadrate în Categoria geotehnică 2 sau 3.

(8) Soluțiile de îmbunătățire a terenului trebuie să fie concepute și proiectate pentru a satisface condițiile fundamentale de rezistență și stabilitate, durabilitate, robustețe și sustenabilitate.

(9) În ceea ce privește sustenabilitatea, se vor avea în vedere prevederile generale cuprinse în standardului SR EN 1990:2023 4.7, precum și cele specifice pentru structurile geotehnice cuprinse în standardul SR EN 1997-3:2025 4.1.7.

(10) Proiectarea soluțiilor de îmbunătățire a terenului trebuie să respecte principiile generale de proiectare la stări limită cuprinse în standardul SR EN 1990:2023, precum și cele specifice proiectării geotehnice cuprinse în standardul SR EN 1997-1:2024 4.2.

(11) Situațiile de proiectare pentru soluțiile de îmbunătățire a terenului trebuie să respecte prevederile standardului SR EN 1997-1:2024 4.2.2.

(12) Durata de proiectată de serviciu a lucrărilor de îmbunătățire trebuie aleasă în raport cu durata corespunzătoare a structurii pe care o deservesc, ținând cont și de posibila degradare în timp a proprietăților terenului îmbunătățit și de eventuale intervenții.

(13) La stabilirea abaterilor geometrice acceptate pentru soluțiile de îmbunătățire a terenului trebuie avute în vedere prevederile standardului SR EN 1990:2023 6.3 și 8.3.7, prevederile standardului SR EN 1997-1:2024 4.3.3., prevederile standardului SR EN 1997-3:2025 12.2.2, precum și prevederile standardelor de execuție adecvate, acolo unde acestea există.

(14) La proiectarea soluțiilor de îmbunătățire a terenului trebuie luate în considerare acțiuni permanente și variabile, precum și influențe din partea mediului, stabilite în conformitate cu prevederile standardului SR EN 1990:2023 6.1.2.2 și 6.1.2.3., cu prevederile standardului SR EN 1997-1:2024 4.3.1.2. și 4.3.1.4. și cele ale standardului SR EN 1997-3:2025 12.2.4.

(15) În ceea ce privește acțiunile sau influențele din partea mediului, pentru soluțiile de îmbunătățire a terenului se va acorda o atenție deosebită efectelor pe care acestea le pot avea asupra terenului îmbunătățit: condiții climatice, inclusiv cicluri de îngheț – dezgheț sau umezire – uscare.

(16) Acolo unde este relevant, acțiunile luate în considerare la proiectarea soluțiilor de îmbunătățire a terenului trebuie să cuprindă și acțiuni ciclice, dinamice sau seismice, în conformitate cu prevederile standardului SR EN 1997-1:2024 4.3.1.3 și cele ale standardului SR EN 1997-3:2025 12.2.4.3.

(17) La proiectarea soluțiilor de îmbunătățire a terenului trebuie luate în considerare efectele deplasărilor terenului asupra terenului îmbunătățit în conformitate cu standardul SR EN 1997-3:2025 12.2.4.4. Acestea pot fi frecarea negativă ce acționează pe perimetrul zonei îmbunătățite, ridicarea terenului sau solicitări laterale. Trebuie luate în considerare inclusiv deplasările terenului care pot fi provocate chiar de execuția soluțiilor de îmbunătățire a terenului.

(18) Proiectarea soluțiilor de îmbunătățire a terenului trebuie realizată prin verificarea neatergerii stărilor limită ultime sau de serviciu, în conformitate cu standardul SR EN 1990:2023 Articolul 5, precum și cu respectarea prevederilor standardului SR EN 1997-1:2024 4.2.

(19) Verificarea stărilor limită se face prin una sau mai multe dintre metodele prevăzute în standardul SR EN 1997-1:2024 4.2.1., respectiv: prin calcul cu metoda coeficienților parțiali, prin aplicarea de reguli prescriptive, prin încercări sau prin metoda observațională. Prevederile generale aplicabile acestor metode sunt date în standardul SR EN 1997-1:2024 4.4 – 4.7.

(20) Pentru soluțiile de îmbunătățire a terenului se utilizează metodele de verificare a stărilor limită prevăzute în standardul SR EN 1997-1:2024 și în reglementările tehnice naționale aplicabile pentru fiecare structură geotehnică, în funcție de utilizarea dată soluțiilor de îmbunătățire a terenului, respectiv: pentru pante, debleuri și rambleuri în conformitate cu Articolul 4 din standardul SR EN 1997-3:2025, pentru fundații directe în conformitate cu Articolul 5 din standardul SR EN 1997-3:2025 și NP 112-2014, pentru structuri de susținere în conformitate cu Articolul 7 din standardul SR EN 1997-3:2025 și reglementarea tehnică NP 124-2010.

(21) Stările limită ultime și de serviciu care trebuie verificate pentru soluțiile de îmbunătățire a terenului sunt cele generale prevăzute în standardul SR EN 1997-1:2024 Articolele 8 și 9, cele proprii structurilor geotehnice pentru care au fost aplicate soluțiile de îmbunătățire (pentru pante, debleuri și rambleuri în conformitate cu Articolul 4 din standardul SR EN 1997-3:2025, pentru fundații directe în conformitate cu Articolul 5 din standardul SR EN 1997-3:2025 și reglementarea tehnică NP 112-2014, pentru structuri de susținere în conformitate cu Articolul 7 din standardul SR EN 1997-3:2025 și reglementarea tehnică NP 124-2010), precum și prevederile specifice prevăzute în standardul SR EN 1997-3:2025 12.2.5.1. și 12.2.5.2.

(22) Stările limită ultime specifice soluțiilor de îmbunătățire a terenului care trebuie verificate sunt, de exemplu, fără a fi limitate la:

- cedare prin depășirea capacității portante a terenului de sub terenul îmbunătățit;
- ridicare hidraulică sau rezistență insuficientă la tracțiune a zonei de teren îmbunătățit;
- cedare în teren datorată încărcării transversale a zonei de teren îmbunătățit;

- cedare prin zona de teren îmbunătățit sau cedare a incluziunii;
- cedare combinată prin terenul neîmbunătățit și prin cel îmbunătățit (zonă sau incluziune);
- cedare la marginile zonei îmbunătățite;
- apariția unor stări limită în platforma de transfer din cauza modificării în timp a distribuției încărcărilor în cazul încărcărilor ciclice sau dinamice;
- apariția unor stări limită din cauza modificărilor condițiilor apei subterane.

(23) Stările limită de serviciu specifice soluțiilor de îmbunătățire a terenului care trebuie verificate sunt, de exemplu, fără a fi limitate la:

- tasări și tasări diferențiate ale zonei de teren îmbunătățit sau a incluziunilor;
- ridicare a terenului;
- deplasări laterale;
- deplasări sau distorsiuni ale structurii fundate pe teren îmbunătățit datorate deplasărilor zonei de teren îmbunătățit.

4.2.2. *Principii și reguli generale de caracterizare a materialelor implicate în lucrările de îmbunătățire a terenului*

4.2.2.1. Teren

(1) Pentru investigarea terenului se aplică reglementarea tehnică NP 074-2022 și standardul SR EN 1997-2:2024.

(2) Dacă la etapa de investigare a terenului rezultă necesitatea potențială a adoptării unor soluții de îmbunătățire a terenului trebuie evaluat dacă extinderea investigațiilor geotehnice este suficientă pentru a acoperi informațiile necesare proiectării soluțiilor de îmbunătățire.

(3) În cazul în care investigația geotehnică nu este suficientă pentru a furniza informațiile și parametrii necesari pentru proiectarea geotehnică a soluțiilor de îmbunătățire a terenului, este necesară o investigație geotehnică suplimentară în cadrul aceluiași studiu geotehnic sau în cadrul unui studiu geotehnic de detaliu.

(4) Extinderea minimă a investigației geotehnice trebuie să respecte condițiile impuse diferitelor tipuri de construcții prin reglementarea tehnică NP 074-2022.

(5) Suplimentar se aplică prevederile specifice pentru soluții de îmbunătățire a terenului cuprinse în standardul SR EN 1997-3:2025 12.2.7.2. privind adâncimea minimă a investigațiilor geotehnice, respectiv (a se vedea Tabelul 12.2 din standardul SR EN 1997-3:2025):

- pentru soluțiile de îmbunătățire din clasa A (AI și AII) – adâncimea minimă de investigare trebuie să depășească cu minimum 5 m adâncimea pe care este prevăzută îmbunătățirea;
- pentru soluțiile de îmbunătățire din clasa B (BI și BII) - adâncimea minimă de investigare trebuie să depășească adâncimea pe care este prevăzută îmbunătățirea cu cel puțin valoarea maximă dintre: 5 m sau de 3 ori diametrul echivalent al incluziunii.

(6) Determinarea parametrilor geotehnici derivați ai terenului se face la etapa de investigare geotehnică.

(7) Determinarea parametrilor geotehnici reprezentativi se face la etapa de proiectare geotehnică, în conformitate cu standardul SR EN 1997-1:2024, 4.3.2. și reglementarea tehnică NP 122-2010.

(8) Valorile reprezentative ale parametrilor geotehnici ai terenului pot fi valori nominale, definite ca estimări prudente sau pot fi valori caracteristice, rezultate dintr-un calcul statistic.

(9) În cazul terenului ce urmează a fi îmbunătățit trebuie determinate acele caracteristici care definesc aptitudinea materialului respectiv de a fi îmbunătățit prin metodele anticipate. Unele indicații în acest sens pot fi găsite în standardul SR EN 1997-3:2025 12.3.2.

4.2.2.2. Teren îmbunătățit

(1) În funcție de metoda de îmbunătățire aplicată poate rezulta un material îmbunătățit din punct de vedere al performanțelor (clasa AI), un material semnificativ modificat (clasa AII) sau poate rezulta o zonă din teren care are caracteristici globale superioare prin introducerea de elemente discrete (incluziuni) (clasa BI sau BII). Prezentul paragraf cuprinde precizări de ordin general, iar elemente specifice sunt incluse în paragrafele care urmează, pentru fiecare metodă în parte, acolo unde este relevant.

(2) Determinarea parametrilor geotehnici ai materialului îmbunătățit este, în general, mai potrivită pentru materialul rezultat după aplicarea metodelor de îmbunătățire de clasa A.

(3) Determinarea valorilor reprezentative ale parametrilor geotehnici ai terenului îmbunătățit se face la etapa de proiectare geotehnică, în conformitate cu standardul SR EN 1997-1:2024, 4.3.2 și reglementarea tehnică NP 122-2010.

(4) Materialul rezultat după îmbunătățire trebuie să fie durabil și să asigure caracteristicile impuse pe toată durata proiectată de serviciu în condițiile de teren și de apă subterane anticipate pe această durată.

(5) Pentru terenul îmbunătățit trebuie estimate caracteristicile pe durata proiectată de serviciu, ținând cont de condițiile anticipate din teren și ale apei subterane.

(6) Caracteristicile terenului îmbunătățit trebuie determinate prin metode adecvate ținând cont de modul de îmbunătățire și de modul în care caracteristicile terenului inițial sunt modificate. De exemplu, după o îmbunătățire cu utilizarea unor lianți hidraulici materialul suferă modificări semnificative ale comportamentului, iar metodele de determinare aplicate terenului inițial este posibil să nu mai poată fi utilizate pentru materialul îmbunătățit.

(7) În procesul de proiectare geotehnică trebuie analizate caracteristicile determinate ale materialului rezultat după îmbunătățire față de cele specificate prin proiect.

(8) În cazul unor materiale rezultate din îmbunătățire pentru care nu există standarde aplicabile și care sunt rezultate după aplicarea unor metode de îmbunătățire din clasa BII, valoarea reprezentativă a rezistenței lor la compresiune monoaxială trebuie determinată pe baza prevederilor din standardul SR EN 1997-3:2025 12.5.4.

4.2.2.3. Alte materiale utilizate la îmbunătățire

(1) În cazul unor materiale precum beton, oțel sau lemn, valorile proprietăților acestora trebuie să fie determinate și trebuie să fie conforme cu prevederile standardelor SR EN 1997-1:2024, SR EN 1992-1-1, SR EN 1993-1-1 sau SR EN 1995-1-1.

(2) În cazul unor materiale pentru care nu există Eurocoduri se vor aplica prevederile standardelor de execuție sau standardelor de material corespunzătoare, europene, internaționale sau naționale, prevederile reglementărilor tehnice aplicabile sau, în lipsa acestora, se vor aplica prevederile proiectului.

4.2.3. Analiza geotehnică a lucrărilor de îmbunătățire a terenului

(1) Analiza geotehnică a lucrărilor de îmbunătățire a terenului trebuie să urmeze principiile analizei geotehnice a structurilor geotehnice rezultate, pentru care prevederile specifice sunt cuprinse în standardul SR EN 1997-3:2025 și reglementările tehnice naționale relevante, acolo unde acestea există.

(2) În cadrul analizei geotehnice este determinată rezistența structurii geotehnice respective și se verifică, prin una dintre metodele menționate în standardul SR EN 1997-1:2024 4.2.1. posibilitatea apariției unor stări limită.

(3) Analiza geotehnică a lucrărilor de îmbunătățire a terenului trebuie să cuprindă, acolo unde este relevant, și o analiză a interacțiunii dintre structură, terenul îmbunătățit și terenul natural sau inițial, pentru a verifica că nu sunt atinse stări limită ultime și de serviciu.

4.2.3.1. Rezistența lucrărilor de îmbunătățire a terenului din clasa A

(1) În cazul lucrărilor din clasa AI - îmbunătățire discretă fără rezistență măsurabilă la compresiune monoaxială - parametrii de rezistență ai pământului îmbunătățit sunt, în general, determinați cu aceleași metode ca pentru terenul inițial. Proiectarea structurilor geotehnice (taluzuri, debleuri, rambleuri, fundații directe, structuri de susținere, structuri din pământ armat) se face în același mod ca pentru terenul inițial, cu utilizarea parametrilor geotehnici reprezentativi rezultați după îmbunătățire și cu modelele convenționale.

(2) În cazul lucrărilor din clasa AII - îmbunătățire discretă cu rezistență măsurabilă la compresiune monoaxială - parametrii de rezistență ai pământului îmbunătățit pot fi determinați cu aceleași metode sau cu metode diferite față de terenul inițial. Proiectarea structurilor geotehnice (taluzuri, debleuri, rambleuri, fundații directe, structuri de susținere, structuri din pământ armat) se

face în același mod ca pentru terenul inițial, cu utilizarea parametrilor geotehnici reprezentativi rezultați după îmbunătățire, dar modelele de comportare ale terenului pot fi modificate.

(3) Indicații de ordin general privind rezistența lucrărilor din clasa A sunt cuprinse în standardul SR EN 1997-3:2025 12.5.2.

4.2.3.2. Rezistența lucrărilor de îmbunătățire a terenului din clasa B

(1) Modelul de calcul utilizat pentru analiza geotehnică a lucrărilor de îmbunătățire din clasa B - îmbunătățire discretă - trebuie să includă interacțiunea dintre teren, incluziuni, structură și, eventual, platformă de transfer. Indicații asupra efectelor de interacțiune pentru clasa BII sunt prezentate în standardul SR EN 1997-3:2025 12.5.3.

(2) Pentru lucrările din clasa BII - incluziuni rigide - este necesară verificarea rezistenței structurale a incluziunilor, pentru toate solicitările aplicate și în conformitate cu standardul de material aplicabil. Pentru incluziunile zvelte trebuie verificat și flambajul acestora, pentru care sunt prezentate indicații în Anexa C.13 a standardului SR EN 1997-3:2025.

(3) Pentru lucrările din clasa BII sunt date indicații asupra modelelor de calcul în standardul SR EN 1997-3:2025 12.5.3 și Anexa I.

4.2.4. Verificarea la stările limită ultime a lucrărilor de îmbunătățire a terenului

(1) Pentru verificarea la stările limită ultime a lucrărilor de îmbunătățire a terenului se aplică prevederile standardului SR EN 1997-1:2024 Articolul 8, inclusiv Anexa Națională, precum și cele ale reglementărilor tehnice naționale aplicabile structurilor geotehnice respective.

(2) Metodele utilizate pentru verificarea apariției stărilor limită ultime trebuie alese în funcție de clasa metodei de îmbunătățire aplicată, în conformitate cu prevederile standardului SR EN 1997-3:2025 12.6.1.

(3) În cazul metodelor încadrate în clasa AI - îmbunătățire difuză fără obținerea unei rezistențe măsurabile la compresiune monoaxială - se determină proprietățile terenului îmbunătățit și se verifică la SLU în conformitate cu regulile aplicabile structurilor geotehnice corespunzătoare precizate în reglementările tehnice naționale și/sau standardul SR EN 1997-3:2025.

(4) În cazul metodelor încadrate în clasa AII - îmbunătățire difuză cu obținerea unei rezistențe măsurabile la compresiune monoaxială - se determină proprietățile terenului îmbunătățit și se verifică la SLU și rezistența structurală în conformitate cu regulile aplicabile structurilor geotehnice corespunzătoare precizate în reglementările tehnice naționale și/sau standardul SR EN 1997-3:2025.

(5) În cazul metodelor încadrate în clasa BI - îmbunătățire discretă fără obținerea unei rezistențe măsurabile la compresiune monoaxială - incluziuni nerigide - se determină proprietățile incluziunilor nerigide, se verifică SLU utilizând separat proprietățile terenului și ale incluziunilor, se verifică rezistența structurală a incluziunilor.

(6) În cazul metodelor încadrate în clasa BII - îmbunătățire discretă cu obținerea unei rezistențe măsurabile la compresiune monoaxială - incluziuni rigide - se determină proprietățile incluziunilor, se verifică SLU și rezistența structurală a incluziunilor rigide.

(7) Zona de teren îmbunătățit se verifică la SLU prin calcul utilizând metoda coeficienților parțiali aplicați fie caracteristicilor de material (abordarea coeficientului de material - MFA), fie rezistențelor zonei îmbunătățite (abordarea coeficientului de rezistență - RFA).

(8) Valoarea de proiectare a rezistenței corespunzătoare lucrărilor de îmbunătățire a terenului aparținând clasei A se determină în același mod cu situația terenului neîmbunătățit, în conformitate cu prevederile specifice aplicabile structurilor geotehnice proiectate.

(9) Valoarea de proiectare a rezistenței corespunzătoare lucrărilor de îmbunătățire a terenului aparținând clasei BI este rezistența de proiectare a sistemului de îmbunătățire cu incluziuni și poate fi determinată prin aplicarea unui coeficient parțial pentru sistemul de incluziuni și, eventual, a unui factor de model la valoarea reprezentativă a rezistenței, în conformitate cu standardul SR EN 1997-3:2025 12.6.3.

(10) Valoarea de proiectare a rezistenței corespunzătoare lucrărilor de îmbunătățire a terenului aparținând clasei BII se determină în conformitate cu standardul SR EN 1997-2:2025 12.6.3. și este suma dintre:

- rezistența incluziunilor rigide, calculată ca suma rezistențelor reprezentative individuale ale celor „n” incluziuni, la care se aplică coeficientul parțial corespunzător pentru sistemul de incluziuni rigide și un factor de model care ține cont de determinarea utilizată pentru valoarea reprezentativă a rezistenței incluziunilor; factorul de model este egal cu cel aplicat piloților unui grup, în conformitate cu standardul SR EN 1997-3:2025 6.6.3(4), Anexa Națională a acestuia și reglementarea tehnică NP 123-2022; coeficientul parțial pentru sistemul de incluziuni rigide este practic egal cu coeficientul parțial pentru grupul de piloți, în conformitate cu standardul SR EN 1997-3:2025 6.6.4.2., Anexa Națională a acestuia și reglementarea tehnică NP 123-2022.
- rezistența verticală a terenului după instalarea incluziunilor, la care se aplică coeficientul parțial corespunzător terenului îmbunătățit, în conformitate cu standardul SR EN 1997-3:2025 12.6.6.

(11) În cazul clasei BII, rezistența reprezentativă a unei incluziuni rigide trebuie determinată în conformitate cu standardul SR EN 1997-2:2025 12.6.3. și 6.5.3 - 6.5.5., în funcție de tehnica utilizată pentru realizarea incluziunii. Ea poate fi determinată prin calcul, prin metoda prescriptivă sau prin încercări.

(12) În cazul clasei BII, dacă sistemul constituit din teren și incluziuni poate redistribui încărcările fără a se depăși o stare limită se poate omite verificarea apariției stărilor limită în incluziuni.

(13) Pentru determinarea valorii de proiectare a rezistenței la compresiune monoaxială a materialului rezultat din aplicarea tehnicilor de îmbunătățire din clasa II (AII sau BII), altul decât beton, oțel sau lemn, se aplică prevederile standardului SR EN 1997-3:2025 12.6.4, respectiv se determină prin aplicarea la valoarea reprezentativă a rezistenței la compresiune monoaxială a coeficientului parțial de material corespunzător.

(14) Valorile de proiectare ale rezistențelor incluziunilor din beton, oțel sau lemn trebuie determinate în conformitate cu standardele Eurocoduri corespunzătoare și a reglementărilor tehnice naționale aplicabile.

(15) În cazul metodelor de îmbunătățire a terenului aparținând clasei B pentru care se utilizează platforme de transfer este necesară verificarea apariției stărilor limită ultime în acestea, cu excepția situației în care poate fi demonstrat că încărcările sunt redistribuite în interiorul sistemului de îmbunătățire (caroiajului de incluziuni) și cu condiția verificării la cedare a zonelor laterale ale platformei. În cazul în care platformele de transfer sunt armate, rezistența la tracțiune a armăturilor trebuie verificată în conformitate cu standardul SR EN 1997-3:2025 Articolul 9.

(16) Valorile coeficienților parțiali aplicabili verificărilor stărilor limită ultime pentru situații de proiectare persistente și tranzitorii pentru lucrările de îmbunătățire a terenului sunt cei din standardul SR EN 1997-3:2025 Tabelul 12.4 și Anexa Națională.

4.2.5. Verificarea la stările limită de serviciu a lucrărilor de îmbunătățire a terenului

(1) Pentru verificarea la stările limită de serviciu a lucrărilor de îmbunătățire a terenului se aplică prevederile standardului SR EN 1997-1:2024 Articolul 9, inclusiv Anexa Națională, precum și cele ale reglementărilor tehnice naționale aplicabile structurilor geotehnice respective.

4.2.6. Principii și reguli generale pentru specificarea lucrărilor de îmbunătățire a terenului de fundare

(1) Proiectul geotehnic al unei lucrări de îmbunătățire a terenului trebuie să cuprindă caietele de sarcini pe specialități pentru materialele, procedeele, echipamentele etc. utilizate.

(2) Caietele de sarcini și specificațiile tehnice trebuie să definească clar obiectivele urmărite prin lucrările propuse de îmbunătățire a terenului.

(3) Tema de investigare pentru studiul geotehnic trebuie să respecte prevederile reglementării tehnice NP 074-2022 și să fie adaptată specificului metodei de îmbunătățire, în conformitate cu indicațiile din prezenta reglementare tehnică.

(4) Dacă specificația tehnică este elaborată în cadrul proiectului structurii ce va fi fundată pe terenul îmbunătățit și are drept scop stabilirea soluției de îmbunătățire, atunci trebuie definite clar

criteriile de alegere a metodei de îmbunătățire, parametrii de proiectare și valorile țintă ale performanțelor de obținut pe terenul îmbunătățit.

(5) Specificațiile tehnice trebuie să includă, acolo unde este relevant și aplicabil, încercările ce trebuie efectuate înainte, în timpul și după execuția lucrărilor de îmbunătățire, precum și criteriile de acceptare a lucrărilor pe baza valorilor determinate prin încercări.

(6) Criteriile de acceptare trebuie definite pentru fiecare proiect și metodă în parte și adaptate specificului acestora. Ele cuprind, de regulă, parametrii care trebuie determinați pe pământul îmbunătățit, intervalul de valori acceptat, metodele prin care respectivii parametri trebuie determinați.

(7) Caietul de sarcini pentru execuția lucrărilor trebuie să cuprindă metoda sau metodele de execuție, procedeele sau metodologia de execuție (echipamente, secvența operațiilor, adâncimea îmbunătățirii, distanța dintre punctele de îmbunătățire, energia sau cantitățile de material de pus în operă, parametrii de execuție, de exemplu, presiunea de injecție sau energia de compactare sau de malaxare). De asemenea, trebuie să precizeze toleranțele admise pentru execuție.

(8) Pentru materialele ce urmează a fi utilizate trebuie elaborate specificații tehnice detaliate care să cuprindă parametrii impuși pentru acestea, să definească metodele prin care parametrii trebuie sau pot fi determinați, eventual variațiile admise.

(9) Proiectul geotehnic trebuie să conțină specificații tehnice clare și detaliate pentru activitatea de monitorizare și de urmărire a comportării în timp, în conformitate cu reglementările tehnice aplicabile (NP 074-2022, P 130-2025, reglementările tehnice de proiectare aferente structurilor geotehnice proiectate) și adaptate specificului fiecărei metode de îmbunătățire a terenului.

4.2.7. Principii și reguli generale pentru inspecția, monitorizarea și mentenanța lucrărilor de îmbunătățire a terenului de fundare

(1) Pentru lucrările de îmbunătățire a terenului este necesară verificarea implementării proiectului în execuție prin măsuri de inspecție, monitorizare și mentenanță pe parcursul execuției și în exploatare, în concordanță cu Categoria Geotehnică a lucrării, în conformitate cu prevederile standardului SR EN 1997-1:2024 Articolul 10 și standardului SR EN 1997-3:2025 12.8.

(2) Execuția lucrărilor de îmbunătățire a terenului trebuie realizată în conformitate cu standardele corespunzătoare de execuție, cu Instrucțiunea tehnică de execuție privind tehnicile de îmbunătățire a terenului de fundare, indicativ RTC 17-2026, iar acolo unde acestea nu există, în conformitate cu specificațiile din proiect.

(3) În cazul unor lucrări de îmbunătățire a terenului realizate în condiții care ar putea împiedica atingerea scopului acestora trebuie realizate încercări în cadrul inspecției pentru a se asigura că proprietățile specificate prin proiect pot fi atinse în urma îmbunătățirii. Aceste încercări trebuie realizate în conformitate cu standardele de execuție specifice, reglementările tehnice aplicabile sau specificațiilor din proiect.

(4) În cazurile în care terenul îmbunătățit este expus efectelor de mediu care pot determina degradarea proprietăților sale în timp, proiectul trebuie să specifice măsurile specifice de mentenanță sau protecție pentru a se asigura păstrarea caracteristicilor îmbunătățite pe durata proiectată de serviciu a lucrării.

4.2.8. Principii și reguli generale pentru încercarea lucrărilor de îmbunătățire a terenului de fundare

(1) Lucrările de îmbunătățire a terenului pot fi supuse încercărilor pentru a determina proprietățile terenului inițial, aptitudinea sa de a fi îmbunătățit prin anumite metode, caracteristicile terenului după îmbunătățire, pentru a verifica capacitatea elementelor structurale, pentru a verifica calitatea materialelor utilizate sau pentru a studia comportarea structurii geotehnice în prezența terenului îmbunătățit, în vederea elaborării proiectului tehnic.

(2) Proiectarea asistată de încercări trebuie să respecte prevederile standardului SR EN 1990:2023 7.3 și Anexa D, precum și cele specifice din standardul SR EN 1997-1:2024 Articolul 11 și cele ale standardului SR EN 1997-3:2025 12.9.

(3) Tipul de încercări trebuie adaptat tipului de îmbunătățire aplicat și cerințelor sale specifice.

(4) Încercările se pot realiza înaintea sau la începutul execuției lucrărilor de îmbunătățire a terenului sau pot fi încercări de control.

(5) Încercările efectuate înaintea sau la începutul execuției, cuprind:

- verificarea adecvării tratamentului propus pentru tipul de teren prin încercări realizate pe probe prelevate din teren;
- verificarea caracteristicilor obținute după aplicarea îmbunătățirii prin încercări pe probe realizate în laborator sau pe probe prelevate din terenul îmbunătățit;
- verificarea geometriei elementelor rezultate din îmbunătățire prin execuția unor elemente de probă;
- execuția unor poligoane de probă și prelevarea de probe după îmbunătățire pe care sunt efectuate încercări specifice;
- execuția unor poligoane de probă și verificarea rezultatului îmbunătățirii prin încercări pe teren.

(6) Încercările de control ale terenului îmbunătățit trebuie adaptate tipului de îmbunătățire aplicat:

- pentru metodele de îmbunătățire clasificate în clasa AI încercările de control se referă de regulă la proprietățile pământului îmbunătățit, dacă acestea corespund specificațiilor din proiect și sunt determinate în același mod ca pentru terenul inițial, în conformitate cu reglementarea tehnică NP 074-2022 și standardul SR EN 1997-2:2024;
- pentru metodele de îmbunătățire clasificate în clasa AII încercările de control se referă de regulă la proprietățile pământului îmbunătățit, în mod special a rezistenței la compresiune monoaxială, dacă acestea corespund specificațiilor din proiect; unele dintre caracteristici pot determinate în același mod ca pentru terenul inițial, în conformitate cu reglementarea tehnică NP 074-2022 și standardul SR EN 1997-2:2024, alte caracteristici trebuie determinate prin încercări și proceduri adaptate tipului de material rezultat după îmbunătățire;
- pentru metodele de îmbunătățire clasificate în clasa BI încercările de control se referă de regulă la încercări pe teren în zona de teren îmbunătățit, între incluziuni sau în dreptul acestora, încercări de probă pe un grup de incluziuni și terenul adiacent;
- pentru metodele de îmbunătățire clasificate în clasa BII încercările de control se referă de regulă la încercări de probă pe incluziuni izolate sau pe grupuri de incluziuni și teren adiacent, precum și la determinări ale rezistenței la compresiune monoaxială pe materialul din incluziune.

(7) Încercările de control ale terenului rezultat din îmbunătățire trebuie realizate în toate situațiile pentru a verifica că sunt atinse caracteristicile impuse prin proiect, cu o frecvență minimă după cum urmează:

- pentru metodele de îmbunătățire clasificate în clasa AI: încercări pe teren și de laborator pe toată adâncimea zonei îmbunătățite - numărul minim și distanța maximă dintre punctele de investigare se stabilește ca pentru investigarea terenului natural, în conformitate cu prevederile reglementării tehnice NP 074-2022, pentru structurile geotehnice corespunzătoare proiectate;
- pentru metodele de îmbunătățire clasificate în clasa AII: încercări de determinare a rezistenței la compresiune monoaxială pe probe prelevate din terenul îmbunătățit pe toată adâncimea de zonei îmbunătățite – frecvența de realizare a încercărilor trebuie să fie cea stabilită de standardele de execuție sau, în lipsa acestora, prin reglementările tehnice relevante sau, atunci când nu există astfel de documente, în conformitate cu specificațiile din proiect. În lipsa altor specificații, ca un minim, încercările de control trebuie să fie extinse pe toată adâncimea pe care este realizată îmbunătățirea, numărul minim de încercări este 4 pentru fiecare unitate geotehnică sau o încercare la fiecare 125 m³;
- pentru metodele de îmbunătățire clasificate în clasa BI: încercări pe teren și de laborator pe toată adâncimea de zonei îmbunătățite, pe zona incluziunilor și între acestea - numărul minim și distanța maximă dintre punctele de investigare se stabilește ca pentru investigarea terenului

natural, în conformitate cu prevederile reglementării tehnice NP 074-2022, pentru structurile geotehnice corespunzătoare proiectate;

- pentru metodele de îmbunătățire clasificate în clasa BII: încercări de determinare a rezistenței la compresiune monoaxială pe probe prelevate din terenul îmbunătățit sau din materialul din incluziuni pe toată adâncimea de zonei îmbunătățite - frecvența de realizare a încercărilor trebuie să fie cea stabilită de standardele de execuție sau, în lipsa acestora, prin reglementările tehnice relevante sau, atunci când nu există astfel de documente, în conformitate cu specificațiile din proiect. În lipsa altor specificații, ca un minim, încercările de control trebuie să fie extinse pe toată adâncimea pe care este realizată îmbunătățirea, numărul minim de încercări este 4 pentru fiecare unitate geotehnică sau o încercare la fiecare 125 m³.

(8) Acolo unde este necesară prelevarea de probe din materialul îmbunătățit sau din materialul din incluziuni, acestea trebuie prelevate în conformitate cu standardele relevante de execuție și/sau cu procedurile aplicate în conformitate cu tipul de material.

(9) Dacă materialul îmbunătățit nu permite prelevarea de probe netulburate se pot efectua încercări pe teren și se pot deriva parametrii de rezistență din corelații adaptate tipului de material.

(10) Pentru determinarea rigidității terenului îmbunătățit se pot utiliza încercări de laborator efectuate pe probe netulburate prelevate din terenul îmbunătățit, corelații documentate și adaptate cu rezultatele încercărilor pe teren sau prin monitorizarea deformațiilor.

(11) Pentru determinările de rezistență la compresiune monoaxială se aplică prevederile standardului SR EN 1997-3:2025 12.9.2.2. și ale altor standarde de încercare relevante.

(12) Raportul de încercări trebuie să consemneze rezultatele încercărilor de control, să prezinte valorile parametrilor de control și variația acestora.

4.3. Metode de îmbunătățire a terenurilor de fundare

4.3.1. Compactare

În acest capitol sunt tratate metodele de îmbunătățire în adâncime a terenului de fundare existent în amplasament, prin compactare dinamică prin batere și vibrare. Tehnicile de îmbunătățire prin substituție sau înlocuire, care presupun adăugarea de pământ de aport pentru formarea unor coloane sau ploturi sunt tratate la 4.3.3.

4.3.1.1. Compactare dinamică prin batere

A. Generalități

(1) Principiu: Compactarea prin batere acționează prin transmiterea la suprafața terenului a unor impacturi de mare energie, care generează unde de vibrații ce se propagă în teren (Figura 1). În terenurile nesaturate undele de forfecare generate deplasează particulele de pământ și le rearanjează într-o structură mai îndesată. În terenurile saturate se produce o creștere rapidă a presiunii apei din pori, iar dacă terenul este drenant și nu foarte fin, aceasta se disipează rapid și urmează o rearanjare a particulelor într-o stare mai îndesată. Impactul este produs prin căderea unui mai metalic cu greutate ce variază între 3 - 5 tone (maiuri grele) și 5 - 20 tone (maiuri super grele), de la înălțimi care variază de la câțiva metri (5 - 8 m) până la câțiva zeci de metri (25 - 40 m) (Figura 2), în puncte care sunt definite într-o rețea. Compactarea dinamică prin batere îmbunătățește întâi straturile de pământ din adâncime și apoi, progresiv, prin mai multe etape de batere, și pe cele superioare.

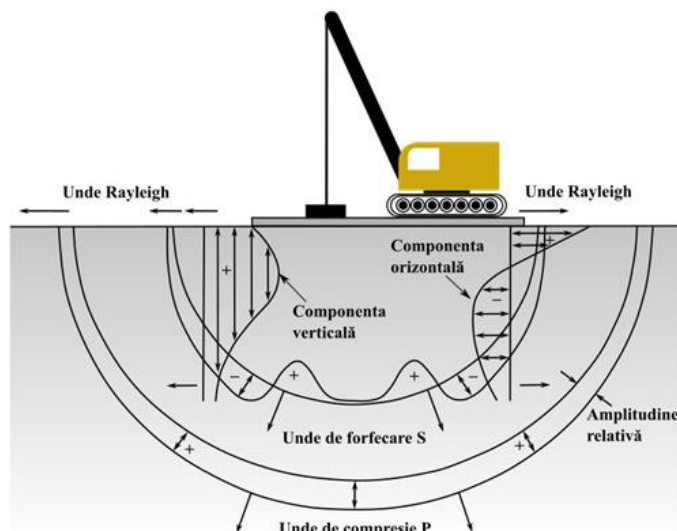


Figura 1. Unde generate în teren de un impact (Briancon et al., 2018¹)



Figura 2. Principiul compactării dinamice (Briancon et al., 2018)

În această categorie sunt incluse și metodele de compactare rapidă prin impuls, care constă în căderea unei mase de 7 - 12 tone de la înălțimi mici, de 1 - 2 m, cu o frecvență de cca 1 lovitură/secundă (Figura 3). Aceste metode creează inițial un strat mai dens la suprafața terenului, și apoi acest „dop” pătrunde progresiv în teren la adâncimi mai mari.

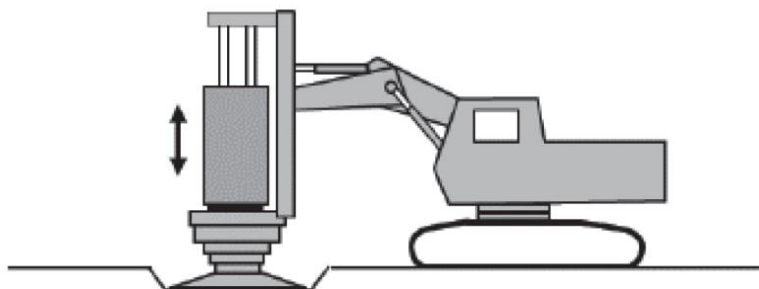


Figura 3. Schemă de principiu pentru compactarea dinamică rapidă prin impuls

(2) Scop: Compactarea dinamică prin batere vizează creșterea capacității portante a terenului de fundare, reducerea tasărilor, reducerea riscului de lichefiere, reducerea sensibilității la umezire.

(3) Domeniu de aplicare:

(i) Metoda de îmbunătățire prin compactare dinamică prin batere se aplică în general terenurilor naturale granulare afânate, cu conținut de particule fine mai mic de 20%, umpluturilor

¹ Briancon L., Liausu P., Plumelle C., Simon B. (2018) Amelioration et renforcement des sols, Groupe Moniteur (Editions du Moniteur), Antony. 2018.

neomogene sau pământurilor sensibile la umezire, pentru structuri cu suprafață mare în plan – rambleuri, rezervoare, piste aeroportuare, structuri industriale, platforme portuare etc.

(ii) Metoda de compactare rapidă prin impuls se aplică umpluturilor sau terenurilor naturale granulare afânate care trebuie îmbunătățite pe primii câțiva metri, inclusiv pentru reducerea riscului de lichefiere. Ar putea fi aplicabilă și în unele contexte urbane unde compactarea dinamică prin batere are limitări. De asemenea, poate fi aplicată și pentru reducerea sensibilității la umezire, deși eficiența este limitată așa cum au arătat unele lucrări.

(4) Limitări:

(i) Pământurile care pot fi compactate cel mai eficient prin batere sunt cele granulare cu conținut de particule fine < 20%, pentru care energia de compactare rămâne în limite rezonabile.

(ii) Dacă pământurile au conținut mai mare de 20% de particule fine eficiența scade, iar energia necesară pentru compactare crește. În diagrama din Figura 4 sunt indicate criteriile pentru compactarea diverselor tipuri de pământuri.

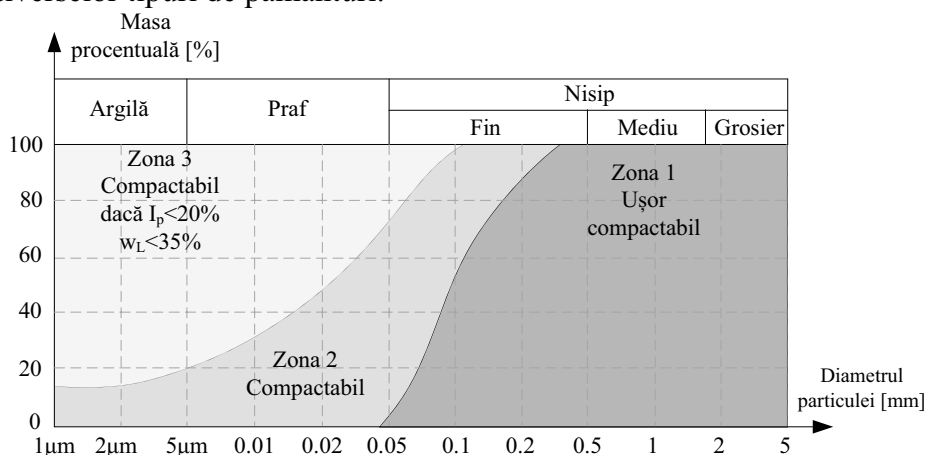


Figura 4. Criterii de eficiență a compactării dinamice pentru diferite tipuri de pământuri (Van Impe, 1995²)

(iii) Adâncimea până la care compactarea dinamică prin batere are efect depinde de energia de compactare și poate varia de la 5 - 6 m (pentru o energie specifică de 200 t·m) până la 11 - 12 m (pentru o energie specifică de 600 t·m).

(iv) Adâncimea până la care compactarea rapidă prin impuls are efect este mai redusă, de ordinul a 3 - 7 m.

(v) Este necesară păstrarea unei distanțe tampon față de structurile vecine sensibile la vibrații, în general de cca. 20 - 30 m pentru compactarea dinamică prin batere și de cca. 8 - 10 m pentru compactarea rapidă prin impuls, dar distanța de siguranță este dependentă de energia de compactare (masa maului și înălțimea de cădere) și de sensibilitatea construcției.

(vi) Se vor avea în vedere reglementările tehnice în vigoare în ceea ce privește frecvența maximă admisă și vitezele de propagare a undelor maxime admise, precum și nivelul de zgomot. În Anexa A sunt date indicații privind determinarea efectelor compactării dinamice asupra vecinătăților.

B. Materiale utilizate

(5) Având în vedere că în acest capitol sunt tratate metode fără substituție/înlocuire, craterele formate prin compactarea dinamică pot fi eventual umplute cu același material din terenul de fundare.

C. Studii și încercări necesare pentru proiectare

(6) Pentru terenul de fundare al viitoarei structuri este necesară elaborarea unui studiu geotehnic în conformitate cu reglementarea tehnică NP 074-2022.

(7) Informațiile și parametrii geotehnici specifici necesari a fi furnizați prin studiul geotehnic pentru terenul de fundare pentru îmbunătățirea terenului prin compactare dinamică prin batere sunt de regulă următoarele (următorii):

² Van Impe, W.F., Mahdar, R.H. (1995) Deep dynamic densification of granular deposits. XIX Convegno Nazionale di geotechnica, Pavia.

- grosimea stratului compresibil și dispunerea sa în plan pe suprafața zonei de influență a lucrării;
- nivelul apei subterane și regimul apei subterane;
- greutatea volumică, gradul de îndesare, capacitatea de îndesare;
- coeficientul de permeabilitate;
- parametrii rezistenței la forfecare – unghiul de frecare internă, eventual coeziunea în stare drenată;
- modulul de deformare.

(8) Caracteristicile geotehnice ale terenului de fundare inițial pot fi determinate prin încercări de laborator pe probe netulburate prelevate din teren, dar, având în vedere aplicabilitatea metodei în special la terenurile granulare sunt adecvate încercări pe teren (încercări cu placa, încercări CPTu, SPT, cu dilatometrul, scizometrul de șantier etc.).

(9) Este necesară și o estimare sau determinare prin măsurători a evoluției parametrilor geotehnici după îmbunătățire, întrucât aceștia vor fi semnificativ modificați (coeficientul de permeabilitate, parametrii de compresibilitate și rigiditate, parametrii rezistenței la forfecare).

(10) Regimul apei subterane este necesar a fi determinat prin campanii de monitorizare pe teren a nivelului apei subterane, precum și prin încercări hidrogeologice specifice pe teren.

(11) De asemenea, sunt necesare cel puțin următoarele informații referitoare la proiect:

- geometria amplasamentului, mărimea suprafeței ce urmează a fi îmbunătățită prin consolidare, acces, restricții de înălțime etc.;
- valoarea finală a încărcării transmise de construcția proiectată;
- valorile admisibile ale tasării viitoarei construcții, ale capacității portante.

(12) Pentru a determina numărul optim de lovituri pentru fiecare punct de compactare se poate realiza un poligon de încercare pentru a observa volumul craterului format și a refulării laterale.

(13) Se pot realiza poligoane experimentale și pentru determinarea distanței de propagare a undelor provocate de impact.

D. Proiectare

(14) Lucrările de îmbunătățire a terenului prin compactare dinamică prin batere fără aport de material de adaos fac parte din clasa AI de metode, în conformitate cu standardul SR EN 1997-3:2025 Articolul 12.

(15) Proiectarea lucrărilor de îmbunătățire a terenului prin compactare dinamică prin batere constă în stabilirea, de regulă pe baza unor poligoane de încercare, a:

- adâncimii necesare de compactare pentru a atinge obiectivele stabilite (o valoare limită a capacității portante, a tasării absolute sau diferențiate etc.);
- rețelei de puncte de compactare - distanța dintre punctele de compactare: adâncimile de compactare mari necesită distanțe mai mari între punctele de compactare (nodurile rețelei);
- energiei de compactare necesare pentru atingerea adâncimii de compactare stabilite - masa maiului, înălțimea de cădere;
- numărului de lovituri pentru fiecare punct de compactare;
- secvenței de compactare - în general, prima fază a îmbunătățirii este realizată cu o rețea cu ochiuri mai mari, cu o distanță între punctele de compactare de cca 4 - 8 m și cu o energie maximă de compactare (pentru a compacta straturile din adâncime). Ulterior, pentru a compacta straturile mai de suprafață, se poate îndesi rețeaua prin intercalare (Figura 5). Ultima fază se realizează cu energie scăzută lăsând amprente care se suprapun;
- măsurilor care se impun pentru reducerea nivelului de vibrații indus, ca de exemplu prin prevederea de tranșei de izolare.

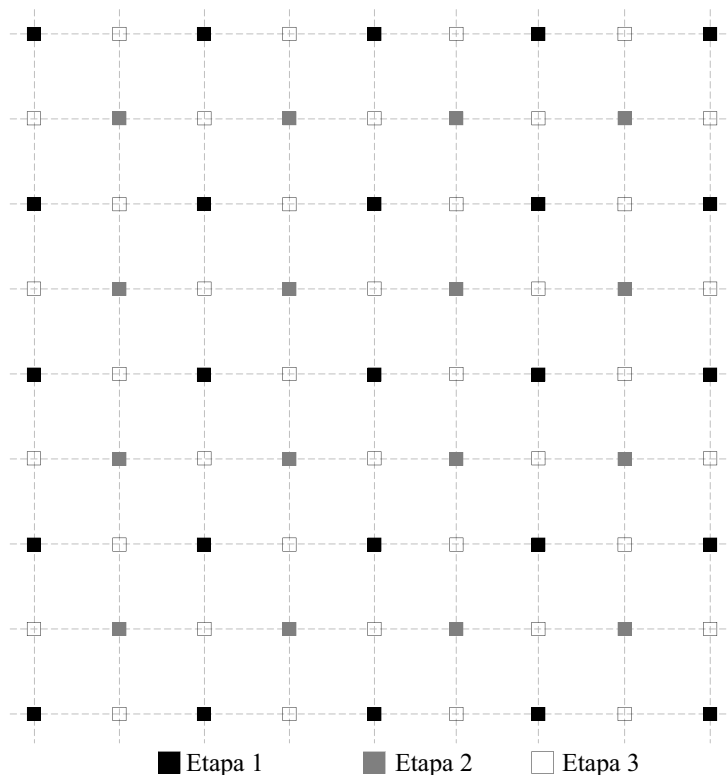


Figura 5. Exemplu de îndesire a rețelei de puncte de compactare pe etape succesive

(16) Proiectul geotehnic trebuie să cuprindă planul de control al lucrărilor, pentru a verifica dacă s-au atins parametrii specificați și, dacă este necesar, să se adapteze tehnologia pentru a-i atinge.

(17) Parametrii de control sunt cel puțin următorii:

- energia de baterie pentru fiecare impact - prin încercări pe poligoane experimentale;
- controlul asupra răspunsului terenului - prin măsurători de tasare;
- presiunea apei din pori;
- parametrii mecanici ai terenului îmbunătățit – încercări pe teren;
- vibrații.

(18) Proiectul geotehnic trebuie să cuprindă și proiectul de monitorizare în timpul exploatării.

(19) Anexa A cuprinde indicații pentru determinarea unor parametri de proiectare pentru compactarea dinamică.

4.3.1.2. Compactare dinamică prin vibrație

A. Generalități

(1) În acest capitol este tratată îmbunătățirea terenurilor granulare afânate prin vibro - compactare, fără adaos de material de aport.

Principiu: Compactarea de adâncime a unui teren necoeziv afânat poate fi realizată prin introducerea în teren a unui utilaj vibrator de adâncime (Figura 6) care imprimă o mișcare pulsatorie orizontală sau a unui profil vibrant (Figura 7) de care este atașat un utilaj vibrator care rămâne la suprafață și care oscilează de regulă pe verticală, determinând oscilații ale profilului (de regulă orizontale). Acest procedeu este denumit vibro-compactare sau vibro-flotație. Acest procedeu este similar cu cel care permite formarea de coloane de teren îmbunătățit prin adaos de material (descrie la capitolul 4.3.3.), dar nu totdeauna se formează coloane în acest caz. Frecvențele de vibrație pot fi adaptate pentru a amplifica vibrațiile terenului, caz în care metoda este cunoscută sub numele de compactare prin rezonanță. În anumite cazuri eficacitatea tratamentului poate fi sporită prin utilizarea unui jet de apă la introducerea vibratorului în teren sau prin asocierea cu drenuri verticale. Punctele în care este introdus utilajul vibrator sunt de regulă amplasate în nodurile unui caroiaj. Etapele de execuție sunt prezentate în Figura 8: a) introducerea utilajului vibrator până la adâncimea stabilită sub acțiunea vibrațiilor și a jetului de apă; b) compactare prin ridicarea în pase succesive (0,5 – 1 m) a utilajului vibrator; c) nivelarea sau umplerea craterului cu același material din teren.

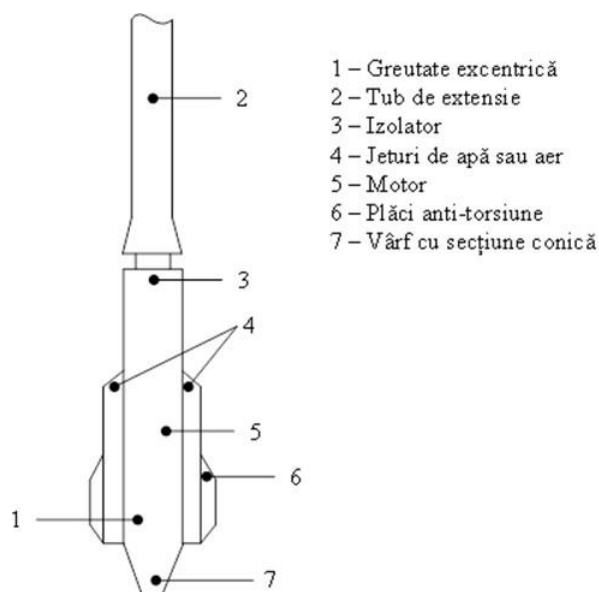


Figura 6. Utilaj vibrator de adâncime (SR EN 14731)

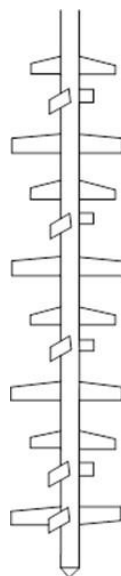


Figura 7. Exemplu de profil vibrant (SR EN 14731)

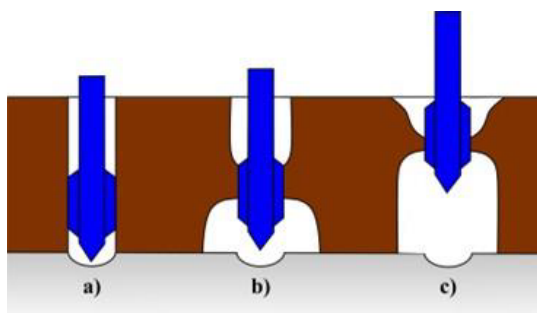


Figura 8. Etapele de execuție ale îmbunătățirii terenului în loc prin vibro-compactare (Briancon et al., 2018)

(2) Scop: Îmbunătățirea terenurilor granulare afânate prin vibro-compactare, fără adaos de material, are ca scop reducerea tasărilor, creșterea capacității portante, sporirea rigidității și a rezistenței la forfecare, reducerea potențialului de lichefiere sau prevenirea refulării laterale.

(3) Domeniu de aplicare: îmbunătățirea terenurilor nisipoase curate, afânate, pe suprafețe mari, de regulă terenuri recuperate din mare prin umplere prin hidromecanizare, eventual aflate în zone seismice.

(4) Limitări:

(i) Principala limitare a metodei este conținutul de particule fine din terenul care trebuie îmbunătățit prin vibro-compactare, care se recomandă să rămână sub 10 - 12% pentru ca metoda să fie eficientă (Figura 9).

(ii) Conținutul de argilă ($< 2 \mu$) se recomandă să fie sub 2%.

(iii) De asemenea, terenurile granulare foarte grosiere pot împiedica pătrunderea utilajului vibrator sau a profilului vibrant.

(iv) Prezența lentilelor prăfoase sau argiloase afectează negativ compactarea, iar influența acestora se poate simți pe adâncimi de 1 m deasupra și dedesubt.

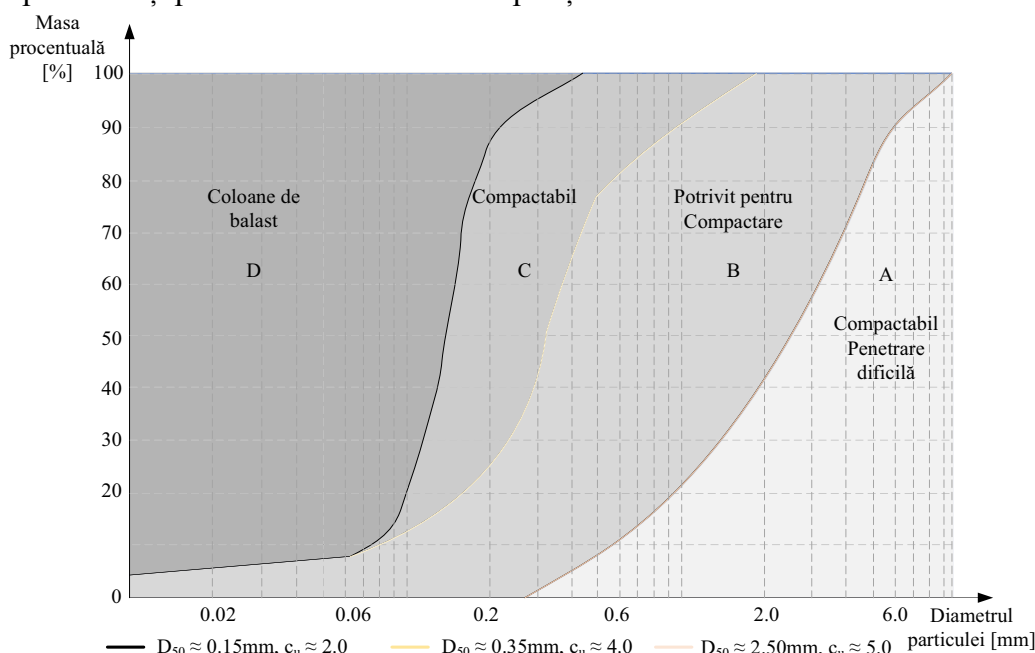


Figura 9. Domeniul granulometric pentru aplicarea vibro-compactării (Briancon et al., 2018)

(v) Este necesară păstrarea unei distanțe tampon față de structurile vecine sensibile la vibrații. În general vibrațiile induse sunt mai mici decât la compactarea prin batere.

(vi) Se vor avea în vedere reglementările tehnice în vigoare în ceea ce privește frecvența maximă admisă și vitezele de propagare a undelor maxime admise, precum și nivelul de zgomot. În Anexa A sunt date indicații privind determinarea efectelor compactării dinamice asupra vecinătăților.

B. Materiale utilizate

(5) În acest paragraf sunt tratate metodele de îmbunătățire a terenului din loc prin vibro-compactare fără adaos de material, deci nu sunt necesare alte materiale în afara terenului de îmbunătățit. Craterelor formate prin vibrare se pot umple cu același material local.

C. Studii și încercări necesare pentru proiectare

(6) Pentru terenul de fundare al viitoarei structuri este necesară elaborarea unui studiu geotehnic în conformitate cu reglementarea tehnică NP 074-2022.

(7) Informațiile și parametrii geotehnici specifici necesari a fi furnizați prin studiul geotehnic pentru terenul de fundare pentru îmbunătățirea terenului prin vibrare sunt de regulă următoarele (următorii):

- grosimea stratului de îmbunătățit;
- prezența eventuală a lentilelor cu conținut de particule fine;
- nivelul apei subterane și regimul de curgere al apei subterane;
- granulozitatea, capacitatea de îndesare și gradul de îndesare ale materialului nisipos din teren;
- rezistența la sfărâmare a particulelor;
- permeabilitatea;
- potențialul de lichefiere a terenului;
- starea de consolidare a terenului (prezența umpluturilor care se consolidează sub greutate proprie);

- parametrii de rezistență la forfecare și de compresibilitate ai terenului;
- eventuale contaminări existente ale terenului.

(8) Având în vedere natura terenurilor care fac obiectul acestei metode de îmbunătățire, metodele de investigare adaptate sunt cele pe teren, respectiv penetrare statică cu conul CPT sau cu măsurarea presiunii apei din pori CPTu și încercări de penetrare dinamică standard SPT. Se mai pot utiliza presiometrul Menard, penetrometre dinamice sau dilatometrul Marchetti.

(9) Frecvența încercărilor de investigare trebuie să respecte prevederile reglementării tehnice NP 074-2022 în funcție de structurile proiectate pentru terenul îmbunătățit. Strict pentru metoda de îmbunătățire prin vibro – compactare se recomandă un minim de o încercare pe teren la 2500 m² de teren de îmbunătățit, iar dacă se așteaptă o variabilitate a condițiilor geotehnice se poate realiza minim o încercare la 1000 m² de teren de îmbunătățit.

(10) În cazul utilizării încercărilor CPT, pentru a determina adecvarea terenului pentru această metodă de îmbunătățire se poate utiliza diagrama din Figura 10.

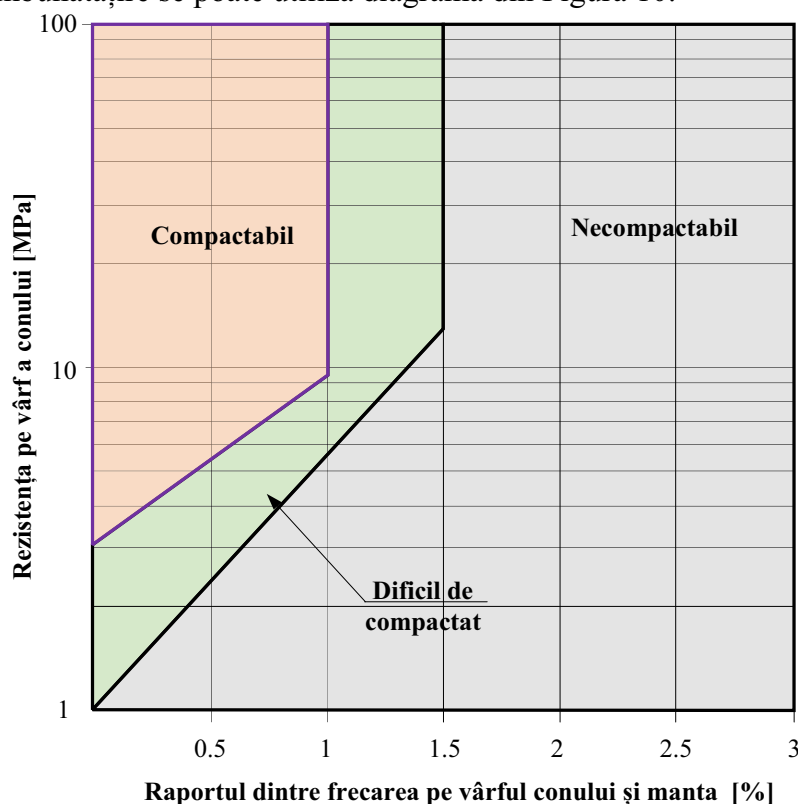


Figura 10. Clasificarea terenurilor pentru îmbunătățire prin vibro – compactare pe baza rezultatelor încercării CPT (Raport TC211)

D. Proiectare

(11) Lucrările de îmbunătățire a terenului prin compactare dinamică prin vibrare fără aport de material de adaos fac parte din clasa AI de metode, în conformitate cu standardul SR EN 1997-3:2025 Articolul 12.

(12) Proiectul geotehnic de îmbunătățire prin vibro-compactare a terenului din loc trebuie să cuprindă:

- dacă se poate atinge obiectivul îmbunătățirii terenului (de exemplu, sporirea capacității portante, reducerea tasărilor construcției prevăzute, reducerea potențialului de lichefiere, reducerea colapsibilității anumitor pământuri, reducerea permeabilității etc.);
- dacă terenul de fundare are proprietățile geotehnice corespunzătoare tehnicii prin vibrare;
- definirea criteriilor de proiectare, pe baza cărora se vor stabili adâncimea îmbunătățirii și distanța dintre punctele de îmbunătățire;
- definirea criteriilor de performanță ale terenului îmbunătățit (care sunt parametrii pe baza cărora se va analiza performanța obținută în urma îmbunătățirii);

(v) definirea criteriilor legate de uniformitatea terenului îmbunătățit, respectiv împrăștierea admisă a proprietăților rezultate;

(vi) dacă este cazul, analiza efectelor utilizării apei în timpul execuției asupra terenului în sine și asupra terenurilor din jur;

(vii) analiza efectelor pe care tehnica de îmbunătățire le poate avea asupra structurilor vecine (tasări, vibrații, generarea de exces al presiunii apei din pori etc.);

(13) Pot fi necesare poligoane experimentale pentru a testa eficiența diferitelor tehnologii posibile.

(14) Proiectul trebuie să stabilească extinderea în plan (care este de multe ori mai mare decât amprenta viitoarei construcții) și în adâncime a îmbunătățirii și locația punctelor de îmbunătățire.

(15) Deviația maximă admisă față de punctele de îmbunătățire de pe plan este de 150 mm.

(16) Atunci când terenul îmbunătățit este utilizat ca teren de fundare, adâncimea îmbunătățirii trebuie stabilită astfel:

– îmbunătățire pe toată adâncimea stratului afănat, caz în care utilajul vibrator sau profilul vibrant trebuie să pătrundă până în stratul rezistent de dedesubt;

– îmbunătățire parțială pe zona activă a fundației pentru a îndeplini cerințele impuse de capacitate portantă și/sau de tasare. În acest caz este necesară estimarea tasărilor zonei inferioare a stratului rămasă neîmbunătățită.

(17) Metodele de proiectare utilizate pot fi prin calcul, pe bază de reguli prescriptive, prin încercări sau prin metoda observațională, care este bine adaptată și des utilizată pentru acest tip de lucrări de îmbunătățire a terenului.

(18) Pentru situația în care craterele formate prin vibrare nu sunt umplute, trebuie estimată tasarea suprafeței terenului.

(19) Proiectul trebuie să stabilească secvența de execuție, etapele acestuia și numărul de pase.

(20) Proiectul trebuie să cuprindă planul de control și planul de monitorizare.

(21) Proiectul trebuie să cuprindă și dimensionarea platformei de lucru necesare execuției.

(22) Anexa A cuprinde indicații pentru determinarea unor parametri de proiectare pentru compactarea dinamică.

E. Specificații tehnice

(23) Specificațiile tehnice ale proiectului trebuie să cuprindă indicații privind materialul de umplere al craterelor formate prin vibrare, acolo unde este aplicabil.

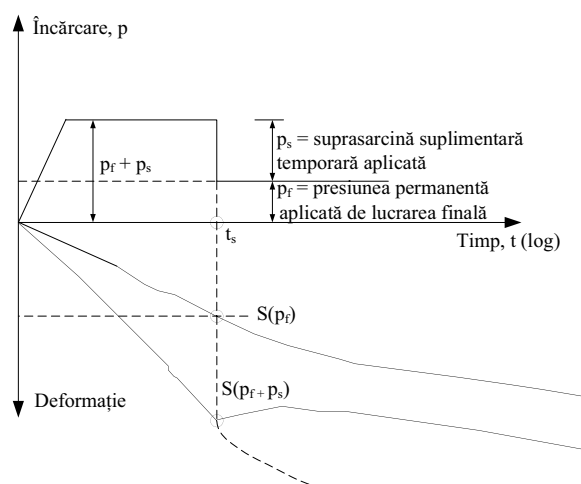
(24) Specificațiile tehnice ale proiectului trebuie să cuprindă cerințe asupra parametrilor ce trebuie obținuți după îmbunătățire și încercările prin care aceștia trebuie determinați, precum și modul de raportare.

4.3.2. Consolidare

4.3.2.1. Preîncărcare

A. Generalități

(1) Principiu: metoda de preîncărcare vizează creșterea vitezei de consolidare a terenurilor fine saturate prin aplicarea unei suprasarcini și drenarea excesului de presiune a apei din pori provocat de aceasta prin instalarea unor sisteme de drenaj și de colectare a apei drenate. Preîncărcarea presupune aplicarea unei pre-încărcări temporare excedentare pe teren, înaintea amplasării structurii, pentru a consuma majoritatea sau chiar totalitatea tasărilor primare, dezvoltarea tasărilor de consolidare secundară și a grăbi procesul de consolidare (Figura 11). Astfel, capacitatea portantă a terenului crește, iar compresibilitatea terenului se reduce. De asemenea, după înlăturarea suprasarcinii excedentare se obține o supraconsolidare a terenului, iar tasarea reziduală din consolidare secundară este redusă. Preîncărcarea poate fi asociată cu sisteme de accelerare a consolidării precum: drenuri verticale, drenuri verticale și vacuum.



Legendă: p_f – presiunea permanentă aplicată de lucrarea finală, $S(p_f)$ – tasarea sub sarcina permanentă aplicată de lucrarea finală, p_s – suprasarcină suplimentară temporară aplicată, $p_f + p_s$ – sarcina totală aplicată de rambleul de preîncărcare, $S(p_f + p_s)$ – tasarea totală sub sarcina adusă de rambleul de preîncărcare

Figura 11. Diagrama de încărcare – tasare a terenului în timpul și după preîncărcare (Smolczyk, 2002³)

(2) Scop: Scopul metodei de preîncărcare este de a crește capacitatea portantă și de a reduce tasările din consolidare în cazul pământurilor moi.

(3) Domeniu de aplicare: Metoda de preîncărcare se aplică structurilor cu suprafață mare în plan, de regulă pentru rambleuri pentru drumuri, căi ferate sau piste aeroportuare, dar și pentru radiere, rezervoare sau structuri similare fondate pe terenuri fine, moi, saturate, normal consolidate sau cel mult foarte puțin supraconsolidate.

(4) Metoda de preîncărcare poate avea următoarele variante:

- Metoda de preîncărcare cu rambleu provizoriu din pământ (Figura 12), care este ulterior total sau parțial îndepărtat. Rambleul trebuie construit în etape, fiecare etapă de încărcare fiind menținută suficient timp înainte de aplicarea etapei următoare pentru a permite consolidarea terenului.
- Metoda de preîncărcare cu rambleu provizoriu din pământ și rețea de drenuri verticale (Figura 12); înaintea executării rambleului de preîncărcare se execută o rețea de drenuri verticale pentru accelerarea consolidării, care sunt conectate la o saltea drenantă din material granular sau din materiale geosintetice amplasată sub rambleul de preîncărcare. Acestea sunt eficiente doar pentru accelerarea tasărilor din consolidare primară și creșterea rezistenței la forfecare nedrenată (coeziunii nedrenate). Această metodă nu are efect în ceea ce privește consolidarea secundară, dar scurtează considerabil timpul de consolidare primară. Metoda de preîncărcare poate fi asociată și cu drenarea prin electro-osmoză.

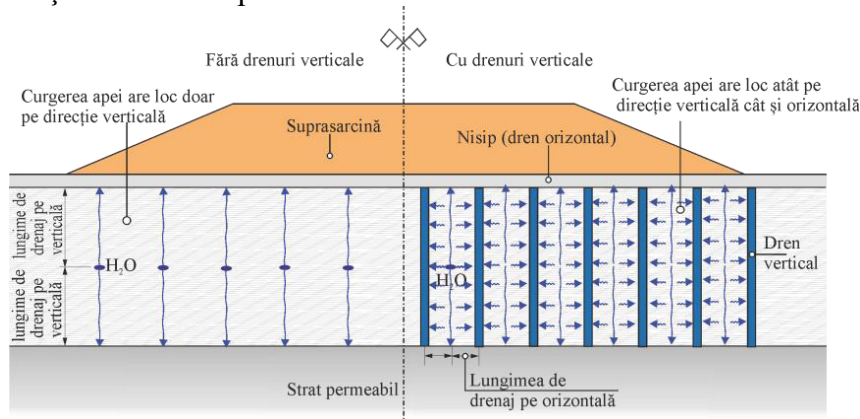


Figura 12. Principiul metodei de preîncărcare: în stânga fără drenuri verticale, în dreapta cu drenuri verticale

³ Smolczyk U. (2002) Geotechnical Engineering Handbook, Ernst & Sohn

- Metoda de preîncărcare cu rambleu provizoriu din pământ și rețea de drenuri verticale cu vacuum (Figura 13), care constă în etanșarea stratului de drenaj și aplicarea unei sucțiuni pentru a grăbi drenajul excesului de presiune interstițială provocat de supraîncărcare.

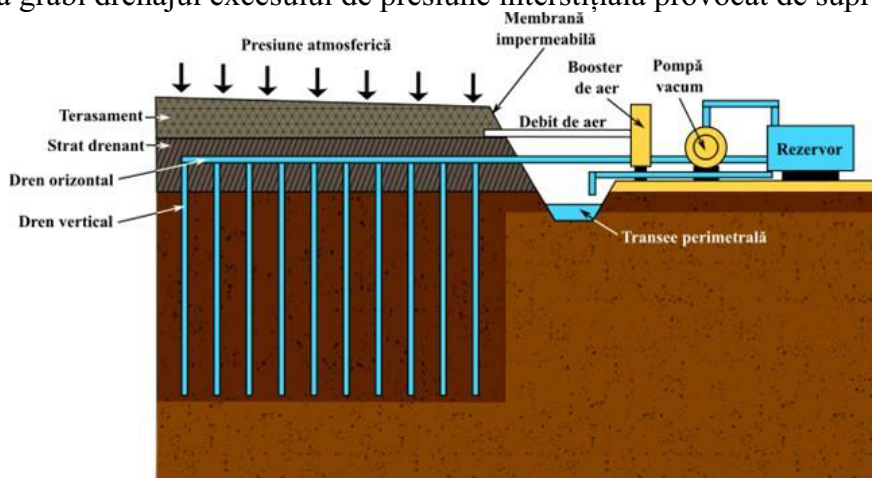


Figura 13. Principiul metodei de preîncărcare cu drenuri verticale și vacuum (Briancon et al., 2018)

(5) Limitări: Metoda de preîncărcare prezintă următoarele limitări:

- durata de preîncărcare este de regulă lungă, pentru a permite consolidarea terenului și necesită o execuție în etape care sunt urmate de o durată de menținere a încărcării care este cu atât mai lungă, cu cât terenul este mai slab și mai puțin permeabil și cu cât sarcina de preîncărcare este mai mare;
- în cazul metodei cu vacuum, terenul nu trebuie să conțină straturi permeabile în interiorul stratului compresibil ce va fi îmbunătățit;
- disponibilitatea materialelor necesare pentru construirea rambleului de preîncărcare;
- cantități mari de material necesare pentru execuția rambleului de preîncărcare și compensarea tasărilor mari care vor surveni inclusiv în corpul rambleului;
- necesitatea unui strat (saltele) drenant(e) din material drenant natural sau geosintetic;
- complexitatea fenomenelor de consolidare primară și secundară (fluaș) duce la o incertitudine (10 - 20% în general) a tasărilor calculate și diferențe față de cele măsurate pe teren;
- în cazul utilizării drenurilor verticale, adâncimea la care se poate face îmbunătățirea variază de obicei între 10 m și 25 m, dar unele echipamente de execuție permit atingerea unor adâncimi superioare, de peste 30 m;
- în cazul utilizării drenurilor verticale se obțin scurtări ale duratei de consolidare, dar care nu depășesc 2 - 3 luni;
- pentru utilizarea metodei cu drenuri verticale este necesară o platformă de lucru de calitate pentru a permite accesul echipamentelor și execuția drenurilor;
- în cazul metodei cu vacuum, sucțiunea care poate fi aplicată este de ordinul a 70 - 80 kPa;
- este necesară o supraveghere atentă a operațiunilor, monitorizare și, dacă este cazul, adaptarea proiectului și aplicarea unei metode de proiectare de tip metodă observațională.

B. Materiale utilizate

(6) Pentru rambleul de preîncărcare se pot utiliza diferite materiale disponibile în apropierea amplasamentului care respectă condițiile generale stabilite prin standardul SR EN 16907-1, precum și condițiile de rezistență și stabilitate pentru structura provizorie rezultată.

(7) Materialele utilizate pentru rambleul de preîncărcare trebuie identificate și clasificate conform standardelor și reglementărilor în vigoare pentru lucrări din pământ.

(8) Caracterizarea geotehnică a materialelor utilizate pentru rambleul de preîncărcare trebuie realizată în conformitate cu reglementarea tehnică NP 074-2022, standardul SR EN 16907-2, și standardul SR EN ISO 14688-1 și 2.

(9) Caracteristicile geotehnice ce trebuie determinate pentru pământuri sau roci utilizate la execuția rambleului de preîncărcare sunt cele indicate în standardul SR EN 16907-2;

(10) Stratul drenant trebuie executat din materiale granulare care îndeplinesc cerințele de filtrare și drenaj. Dacă stratul de drenaj este folosit și ca platformă de construcție materialul utilizat trebuie verificat să îndeplinească cerințele impuse de verificările la SLS și SLU.

(11) Drenurile verticale pot fi drenuri din nisip sau drenuri fitil sau drenuri plate realizate din materiale geosintetice sau drenuri tubulare (compuse dintr-un tub de drenaj perforat și un filtru de geotextil), având caracteristicile în conformitate cu standardul SR EN 15237. A se vedea și 4.3.2.2.

(12) În cazul utilizării metodei cu vacuum, impermeabilizarea stratului de drenaj se face de regulă cu geomembrane care trebuie să îndeplinească cerințele de grosime și rezistență la tracțiune prevăzute în proiect.

C. Studii și încercări necesare pentru proiectare

(13) Pentru terenul de fundare al viitoarei structuri este necesară elaborarea unui studiu geotehnic în conformitate cu reglementarea tehnică NP 074-2022.

(14) Informațiile și parametrii geotehnici specifici necesari a fi furnizați prin studiul geotehnic pentru terenul de fundare pentru îmbunătățirea terenului prin preîncărcare sunt de regulă următoarele (următorii):

- grosimea stratului compresibil și dispunerea sa în plan pe suprafața zonei de influență a lucrării, precum și condițiile de drenaj furnizate de straturile de sub și de deasupra acestuia;
- nivelul apei subterane și regimul apei subterane;
- caracteristicile de compresibilitate ale stratului compresibil;
- presiunea de preconsoolidare și raportul de supraconsoolidare;
- caracteristicile de consolidare: coeficientul de consolidare pe direcție orizontală (c_h) și pe direcție verticală (c_v), coeficientul de consolidare secundară (c_α);
- coeficientul de permeabilitate pe direcție orizontală și verticală;
- indicele porilor, umiditatea și greutatea volumice;
- parametrii rezistenței la forfecare în condiții drenate și nedrenate;
- modulul de deformare în condiții drenate și nedrenate.

(15) Caracteristicile geotehnice ale terenului de fundare inițial pot fi determinate prin încercări de laborator pe probe netulburate prelevate din teren și/sau prin încercări pe teren (încercări cu placa, încercări CPTu, cu dilatometrul, scizometrul de șantier etc.).

(16) Este necesară și o estimare sau determinare prin măsurători a evoluției parametrilor geotehnici în timpul consolidării produse de metoda de preîncărcare, întrucât aceștia vor fi semnificativ modificați (coeficientul de permeabilitate, parametrii de compresibilitate și rigiditate, parametrii rezistenței la forfecare).

(17) Regimul apei subterane este necesar a fi determinat prin campanii de monitorizare pe teren a nivelului apei subterane, precum și prin încercări hidrogeologice specifice pe teren.

(18) De asemenea, sunt necesare cel puțin următoarele informații referitoare la proiect:

(i) geometria amplasamentului, mărimea suprafeței ce urmează a fi îmbunătățită prin consolidare, acces, restricții de înălțime etc;

(ii) timpul disponibil pentru aplicarea preîncărcării;

(iii) valoarea finală a încărcării transmise de construcția proiectată;

(iv) valorile admisibile ale tasării viitoarei construcții, ale capacității portante, asociate cu gradul de consolidare solicitat pentru terenul de fundare, precum și a vitezei de consolidare (de tasare). Acestea sunt stabilite prin proiectul geotehnic al construcției finale. Din punct de vedere al deformațiilor admisibile, acestea pot fi tasări totale maxime, tasări medii, tasări maxime în anumite puncte ale lucrării, tasări diferențiate etc.

(19) Pentru sursele potențiale de materiale de împrumut pentru realizarea rambleului de preîncărcare este necesară identificarea și caracterizarea geotehnică a acestora în conformitate cu standardul SR EN 16907-1 și - 2 pentru a stabili adecvarea lor pentru a fi utilizate ca material de umplură pentru rambleul de preîncărcare.

(20) Pentru materialele potențial a fi utilizate pentru realizarea drenurilor verticale se determină acele caracteristici care sunt indicate în standardul SR EN 15237.

(21) Dacă este necesar, se pot realiza poligoane experimentale pentru testarea eficacității tehnicilor ce vor fi aplicate.

D. Proiectare

(22) Lucrările de îmbunătățire a terenului prin preîncărcare fac parte din clasa AI de metode, în conformitate cu standardul SR EN 1997-3:2025 Articolul 12.

(23) Proiectarea lucrărilor de îmbunătățire a terenului de fundare prin preîncărcare constă în stabilirea caracteristicilor rambleului de preîncărcare (înălțime, ampriză, pante, material, etape de execuție etc.), a eventualei rețele de drenuri verticale (stabilirea caroiajului de drenuri verticale, material, lungime și diametru dren etc.), a caracteristicilor eventualului strat drenant (grosime, material etc.), a eventualei sucțiuni aplicate (valoare).

(24) Proiectarea rambleului de preîncărcare se face în conformitate cu prevederile standardului SR EN 1997-1:2024 și standardului SR EN 1997-3:2025, împreună cu Anexele Naționale.

(25) Rambleul de preîncărcare trebuie verificat la stările limită ultime și de serviciu pentru a se asigura stabilitatea și rezistența sa.

(26) Rambleul de preîncărcare trebuie dimensionat astfel încât să permită atingerea obiectivelor de consolidare stabilite prin proiectul structurii finale ce va fi edificată pe terenul îmbunătățit.

(27) Ampriza rambleului de preîncărcare trebuie să depășească ampriza viitoarei construcții, adică lățimea zonei îmbunătățite trebuie să depășească lățimea viitoarei construcții.

(28) Pentru predimensionarea amprizei rambleului de preîncărcare se recomandă ca aceasta să depășească în lateral viitoarea construcție cu o lățime egală cu (2 - 3) ori grosimea stratului compresibil.

(29) Ampriza finală a rambleului de preîncărcare se va verifica prin calcul dacă zona de transmitere a încărcărilor de la viitoarea construcție la teren depășește sau nu această valoare.

(30) Înălțimea rambleului de preîncărcare rezultă din suprasarcina de preîncărcare necesar a fi aplicată pe teren pentru a obține gradul de consolidare impus prin proiectul structurii definitive și trebuie să țină cont și de caracteristicile de rezistență și compresibilitate ale terenului neîmbunătățit.

(31) Pentru predimensionarea înălțimii rambleului de preîncărcare se poate lua în considerare o valoare egală cu de (3 - 4) ori raportul c_u/γ (c_u - coeziunea nedrenată, γ - greutatea volumică).

(32) Pentru stabilirea suprasarcinii necesar a fi aplicată prin intermediul rambleului de preîncărcare este necesară realizarea unui calcul de consolidare pe baza relației următoare (vezi Figura 11):

$$U_{(f+s)} \cdot s_{c(p_s+p_f)} = s_{c(p_f)} \quad (1)$$

unde: $U_{(f+s)}$ este gradul de consolidare care trebuie atins în terenul de fundare (stabilit prin proiectul lucrării finale), $s_{c(p_s+p_f)}$ este tasarea datorată presiunii totale aplicate la preîncărcare, iar $s_{c(p_f)}$ este tasarea datorată presiunii permanente aplicate de construcția finală.

(33) Gradul de consolidare $U_{(f+s)}$ care poate fi obținut în funcție de presiunile aplicate poate fi calculat cu relația :

$$U_{(f+s)} = \frac{\log\left(1 + \frac{p_s}{p_0}\right)}{\log\left[1 + \frac{p_f}{p_0} \left(1 + \frac{p_s}{p_f}\right)\right]} \quad (2)$$

unde, în plus față de notațiile precedente, p_0 este presiunea în mijlocul stratului de pământ compresibil.

(34) În cazul preîncărcării simple, fără drenuri verticale, calculul timpului de consolidare se poate face prin aplicarea teoriei consolidării unidimensionale a lui Terzaghi, respectiv cu ajutorul relației:

$$T_v = \frac{t \cdot c_v}{d^2} \quad (3)$$

unde: T_v este factorul timp care depinde de distribuția presupusă a apei din pori în stratul de teren compresibil, în conformitate cu drenajul posibil al excesului de presiune interstițială și de gradul de consolidare, t este timpul, c_v este coeficientul de consolidare verticală, iar d este lungimea drumului maxim de drenaj al apei (toată grosimea stratului compresibil pentru drenaj pe o singură direcție, sau jumătate din aceasta pentru drenajul pe două direcții). Se va avea în vedere faptul că, în cazul drenajului pe două direcții, după aplicarea preîncărcării și consolidarea intenționată, la limitele superioară și inferioară a stratului compresibil gradul de consolidare va fi foarte aproape de 100%, iar excesul de presiune interstițială va fi aproape complet disipat, în timp ce în zona mediană a stratului compresibil gradul de consolidare va fi mai mic, iar excesul de presiune interstițială nu se va fi disipat. În cazul unui drenaj pe o singură direcție la limita stratului compresibil pe unde are loc drenajul gradul de consolidare va fi foarte aproape de 100%, iar excesul de presiune interstițială va fi aproape complet disipat, în timp ce în restul stratului compresibil gradul de consolidare va fi mai mic, iar excesul de presiune interstițială nu se va fi disipat.

Notă. În Anexa B se găsesc formule pentru calculele de consolidare.

(35) Pentru determinarea înălțimii necesare a rambleului de preîncărcare, pe lângă presiunea necesară a fi aplicată pe teren, trebuie luat în calcul și faptul că va exista o tasare a corpului rambleului care trebuie compensată printr-o înălțime suplimentară (Figura 14).

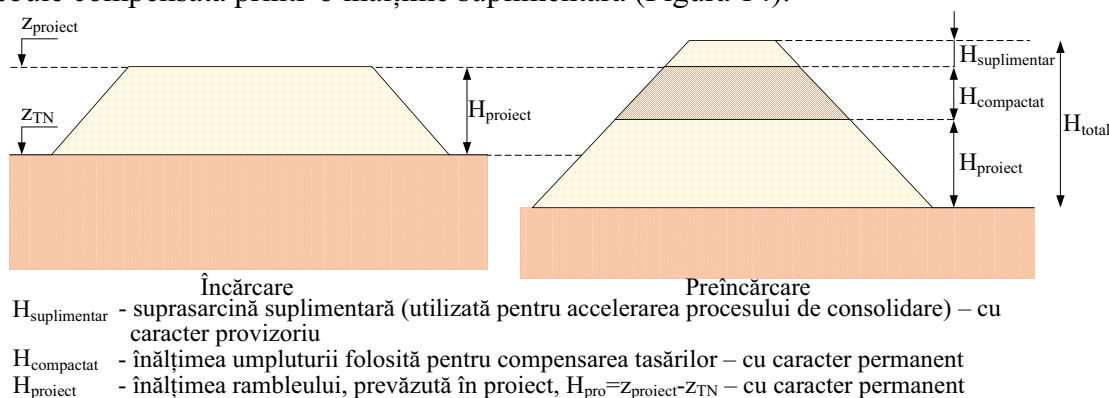


Figura 14. Definierea înălțimilor rambleului final și a celui de preîncărcare (Briancon et al., 2018)

(36) Pentru determinarea vitezei de consolidare se vor trasa grafice ale evoluției tasării de consolidare în timp, pentru diferite grade de consolidare atinse.

(37) În afară de deformațiile verticale (tasări) trebuie evaluate și deplasările laterale ale rambleului de preîncărcare. Acestea pot fi determinate, în general, prin modelare numerică sau pe baza unor modele empirice.

(38) Pentru reducerea deplasărilor laterale ale rambleului de preîncărcare, ca și cele ale rambleului definitiv dacă acesta este cazul, se pot prevedea banchete laterale.

(39) Este necesară modelarea generării și disipării presiunii interstițiale din teren pe măsura aplicării încărcării și evoluției consolidării, ținând cont și de modificarea geometriei rambleului de încărcare (deformare) pe parcursul procesului.

(40) Tasările dezvoltate în perioada de preîncărcare trebuie determinate luând în considerare cele mai nefavorabile condiții ale apei subterane și fluctuațiile posibile ale acesteia, care este foarte probabil să nu fie aceleași cu condițiile care se pot dezvolta pe durata proiectată de serviciu a lucrării definitive.

(41) Tasările finale ale construcției după aplicarea îmbunătățirii prin preîncărcare trebuie calculate în cadrul proiectului geotehnic al acestei construcții și pot fi calculate prin diferite metode, inclusiv cea edometrică (pentru tasarea în axul construcției). Calculul acestor tasări trebuie să țină

cont de modificarea caracteristicilor de compresibilitate după îmbunătățire, de gradul de consolidare atins, de raportul de supraconsolidare (de regulă în zona superioară a straturilor compresibile se obține o ușoară supraconsolidare), precum și de faptul că după înlăturarea sarcinii suplimentare aduse de rambleul de preîncărcare va exista o revenire (umflare), urmată de o continuare a procesului de consolidare sub sarcina finală, caracteristicile (pantele) acestor etape fiind diferite. De asemenea, se va ține cont de modificarea stării de saturare sau submersare pe măsura consolidării (o parte din materialul de preîncărcare poate ajunge în stare submersată în timpul procesului de consolidare).

(42) În cazul terenurilor moi care prezintă și consolidare secundară (fluaj), calculul tasărilor din consolidarea primară trebuie completat cu un calcul de tasare din consolidare secundară. În acest caz, pentru a obține tasările admisibile ale construcției finale pe durata proiectată de serviciu a acesteia este posibil necesar a adăuga o sarcină suplimentară (deci, o înălțime suplimentară de rambleu de preîncărcare) pentru a permite o consolidare primară mai accentuată și a reduce ulterior tasările din consolidarea secundară.

(43) Stările limită ultime și de serviciu, precum și situațiile de proiectare ce trebuie analizate pentru rambleul de preîncărcare sunt cele prevăzute de standardul SR EN 1997-3:2025 Articolul 4.

(44) Trebuie analizate stări limită ultime în rambleul de preîncărcare, în terenul de fundare, precum și mixte.

(45) Având în vedere natura terenului de fundare trebuie avute în vedere și stări limită ultime (cedare) din deformații excesive ale terenului și ale corpului rambleului.

(46) Situațiile de proiectare analizate trebuie să fie relevante pentru etapele de execuție ale rambleului de preîncărcare și să țină cont de evoluția parametrilor geotehnici ai terenului și ai corpului rambleului pe parcursul consolidării și consumării tasărilor.

(47) Pentru dimensionarea pantelor rambleului se vor analiza moduri de cedare prin corpul rambleului și mixte prin corpul rambleului și prin terenul de fundare, fie prin metode de echilibru limită, fie prin metode numerice în conformitate cu standardul SR EN 1997-3:2025 și reglementarea tehnică GP 129 - 2014.

(48) Se vor analiza diferite moduri de cedare prin depășirea capacității portante în conformitate cu starea terenului de fundare și cu structura fundată pe acesta, respectând prevederile reglementărilor tehnice corespunzătoare acestora.

(49) În cazul utilizării metodei cu drenuri verticale, acestea pot fi dispuse în ochiurile unui caroiă triunghiular sau pătrat (Figura 15).

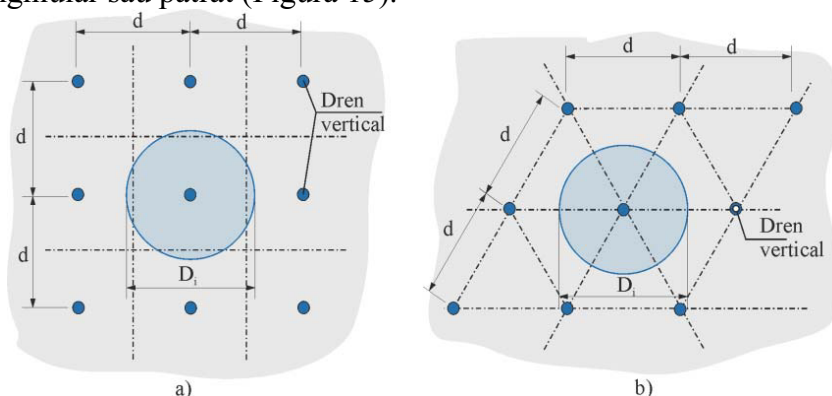


Figura 15. Modul de poziționare a drenurilor: a) rețea pătrată; b) rețea triunghiulară

(50) Distanța dintre drenurile verticale, respectiv modul de amplasare al acestora influențează aria echivalentă de influență a fiecărui dren (indicată prin diametrul D_i pe Figura 15).

(51) Zona de influență a fiecărui dren poate fi determinată astfel:

$$D_i = 1,13 \cdot d \text{ - pentru o configurație de rețea pătrată;} \quad (4)$$

$$D_i = 1,06 \cdot d \text{ - pentru o configurație de rețea triunghiulară;} \quad (5)$$

unde: D_i – este diametrul echivalent al zonei de influență al drenului; d – distanța dintre centrele a două drenuri verticale.

(52) În cazul aplicării soluției cu drenuri verticale este mai potrivită aplicarea teoriei consolidării radiale pentru calculul timpului de consolidare și a gradului de consolidare. În acest caz se pot disocia consolidarea verticală (uni-dimensională) de cea radială astfel:

$$1 - U_t = (1 - U_v)(1 - U_r) \quad (6)$$

unde: U_t este gradul de consolidare total, U_v este gradul de consolidare pe verticală, iar U_r este gradul de consolidare radială (orizontală).

Notă. În Anexa B se găsesc formule pentru calculele de consolidare.

(53) Atunci când se utilizează drenuri verticale, calculul timpului de consolidare trebuie să ia în considerare pierderea de sarcină hidraulică din drenuri, precum și tulburarea indusă terenului din jurul acestora de procedeul de execuție, care duc la creșterea timpilor de consolidare față de cei teoretici.

(54) În cazul utilizării consolidării prin preîncărcare și rețea de drenuri verticale cu vacuum calculele de consolidare trebuie să țină cont de modificarea presiunii interstițiale datorită aplicării sucțiunii.

(55) Pentru lucrările de preîncărcare a terenului este necesar ca proiectul geotehnic să cuprindă și proiectul de monitorizarea lucrărilor, precum și măsurile de control al execuției acestora.

(56) Monitorizarea lucrărilor de preîncărcare și a efectului lor asupra terenului este necesară pentru a verifica stabilitatea lucrării și pentru a controla deplasările acesteia. În cazul utilizării metodei observaționale de proiectare monitorizarea face parte din proces.

(57) Principalii parametri supuși monitorizării sunt: deplasările (tasări și deplasări orizontale) pentru toate straturile compresibile, presiunea apei din pori și nivelul apei subterane.

(58) Proiectul de monitorizare geotehnică trebuie să respecte prevederile din reglementările tehnice NP 074-2022 și P 130-2025, precum și pe cele ale reglementărilor tehnice aplicabile structurilor geotehnice respective.

E. Specificații tehnice

(59) În cadrul proiectului geotehnic pentru îmbunătățirea terenurilor moi prin preîncărcare trebuie impuse caracteristicile materialelor utilizate și ale structurilor (rambleul de preîncărcare, drenuri verticale etc.), precum și metodele de execuție.

(60) Pentru materialele utilizate la realizarea rambleului de preîncărcare specificațiile tehnice trebuie să respecte prevederile standardului SR EN 16907-1 și 2.

(61) Pentru materialele utilizate la drenurile verticale specificațiile tehnice trebuie să respecte prevederile standardului SR EN 15237.

(62) Dacă rambleurile de preîncărcare vor fi utilizate parțial și ca rambleuri definitive pot fi aplicabile și alte reglementări tehnice în funcție de destinația lor.

4.3.2.2. Drenuri verticale

A. Generalități

(1) Principiu: Pământurile fine, cu permeabilitate scăzută, în stare saturată au capacitate portantă scăzută și pentru creșterea acesteia au nevoie să se consolideze. În procesul de consolidare apa interstițială trebuie drenată, iar drenurile verticale permit crearea de căi preferențiale de drenaj către acestea. Drenurile verticale permit scăderea presiunii apei din porii pământurilor, astfel accelerând consolidarea masivelor de pământ fine saturate, coborând nivelul apei subterane, crescând eforturile efective din teren și atenuând efectele lichefierii. Drenurile verticale pot fi combinate cu alte metode de îmbunătățire, precum preîncărcarea (vezi 4.3.2.1), electro-osmoza, compactarea dinamică etc.

(2) Scop: Accelerarea consolidării terenurilor fine, moi, saturate, sporirea capacității lor portante, scăderea presiunii apei din pori.

(3) Domeniu de aplicare: Drenurile verticale sunt utilizate pentru consolidarea terenurilor fine saturate sub construcții în general de suprafață mare (rambleuri rutiere sau feroviare, diguri, depozite industriale, radiere, construcții marine etc.), dar și pentru aplicații de mediu cum ar fi reabilitarea terenurilor contaminate. De asemenea, drenurile verticale pot fi instalate sub construcții

fundate pe terenuri cu potențial de lichefiere pentru a drena rapid excesul de presiune interstițială produs de solicitarea seismică și a evita, astfel, lichefierea terenului de fundare.

(4) Drenurile verticale pot fi realizate sub formă de drenuri de nisip (de obicei realizate în loc) sau de drenuri prefabricate, care constau de regulă dintr-un miez drenant și un filtru din geotextil sau un produs înrudit.

(5) Drenurile prefabricate pot fi:

- drenuri fitil (drenuri plate) - cu secțiune transversală rectangulară, compuse dintr-un miez central ce prezintă un sistem de canale care conduc lichidele și un filtru din geotextil;
- drenuri tubulare - cuprind un miez inelar deschis, ondulat (tub drenant perforat) și un manșon filtrant.

Principalele tipuri de drenuri verticale prefabricate sunt descrise în standardul SR EN 15237 Anexa A.

(6) Drenurile din nisip au secțiuni transversale circulare, sunt realizate din material granular cu permeabilitate mare și sunt executate pe teren prin diverse metode (de îndesare sau de dislocuire). Drenurile de nisip pot fi realizate și în tub de geotextil care acționează atât ca separator, cât și ca filtru între materialul granular și terenul fin din jur pentru a împiedica colmatarea și/sau pentru a menține integritatea coloanei de material granular în terenurile foarte moi.

(7) Drenurile verticale sunt în general conectate la partea superioară într-o saltea drenantă. Aceasta poate fi impermeabilizată și conectată la o pompă de vacuum pentru a aplica o sucțiune și a accelera procesul de drenare. O altă variantă este de a tăia drenurile fitil la baza unor tranșei cu adâncime de cca 1 m sub platforma de lucru, iar apoi fiecare rând de drenuri fitil este conectat la un dren tubular, cel din urmă fiind conectat la o pompă de vacuum, astfel că nu mai este necesară etanșeizarea salteii drenante. În schimb, pe primul metru nu există depresionare, iar depresionarea maximă este mai scăzută (cca 50 kPa, în loc de 70 - 80 kPa).

(8) Drenurile verticale pot fi asociate cu electro-osmoza, caz în care electrozii sunt montați, de exemplu, în benzile de drenaj prefabricate și conectați la o sursă de curent.

(9) Limitări: Drenurile verticale sunt eficiente doar dacă presiunea de preconsoildare a terenului va fi depășită de eforturile induse prin preîncărcare sau prin lucrarea definitivă, deoarece instalarea drenurilor poate provoca o creștere a tasării.

B. Materiale utilizate

(10) Materialele geosintetice utilizate pentru drenurile verticale prefabricate trebuie să fie conforme cu prevederile din standardul SR EN 13252 și cele din ale standardului SR EN 15237.

(11) Drenurile verticale prefabricate trebuie să aibă o durabilitate suficientă în conformitate cu prevederile standardului SR EN 13252 pentru o durată proiectată de serviciu de 5 ani. În cazul utilizării lor pentru lucrări definitive, cum ar fi drenarea excesului de presiunea a apei din pori pentru evitarea lichefierii durată proiectată de serviciu este mai mare, în conformitate cu specificațiile din proiect.

(12) Materialul granular utilizat pentru drenurile de nisip trebuie să aibă o curbă granulometrică care să se încadreze între limitele prevăzute în standardul SR EN 15237 Anexa A și un coeficient de permeabilitate care să fie conform precizărilor din același standard Anexa B.

C. Studii și încercări necesare pentru proiectare

(13) Pentru terenul de fundare al viitoarei structuri este necesară elaborarea unui studiu geotehnic în conformitate cu reglementarea tehnică NP 074-2022.

(14) Informațiile și parametrii geotehnici specifici necesari a fi furnizați prin studiul geotehnic pentru terenul de fundare pentru îmbunătățirea terenului cu drenuri verticale sunt de regulă următoarele (următorii):

- grosimea stratului compresibil și dispunerea sa în plan pe suprafața zonei de influență a lucrării, precum și condițiile de drenaj furnizate de straturile de sub și de deasupra acestuia;
- nivelul apei subterane și regimul apei subterane;
- caracteristicile de compresibilitate ale stratului compresibil;
- raportul de supraconsoildare și presiunea de preconsoildare;
- caracteristicile de consoildare în direcție verticală și orizontală;

- coeficientul de permeabilitate pe direcție orizontală și verticală;
- rezistența la forfecare nedrenată;
- prezența straturilor grosiere (bolovănișuri, straturi cimentate etc.) care pot crea dificultăți la execuția drenurilor verticale;
- rezistența la penetrare a terenului.

(15) Determinarea caracteristicilor geotehnice ale terenului de fundare pot fi determinate prin încercări de laborator pe probe netulburate prelevate din teren și/sau prin încercări pe teren (încercări cu placa, încercări CPTu, cu dilatometrul, scizometrul de șantier etc.).

(16) Regimul apei subterane este necesar a fi determinat prin campanii de monitorizare pe teren a nivelului apei subterane, precum și prin încercări hidrogeologice specifice pe teren.

(17) De asemenea, sunt necesare cel puțin următoarele informații referitoare la amplasament și la proiect:

- geometria amplasamentului, mărimea suprafeței ce urmează a fi îmbunătățită prin drenaj vertical, acces, restricții de înălțime etc.;
- prezența structurilor, rețelelor și utilităților subterane;
- restricțiile de mediu;
- contaminări eventuale existente.

(18) Pot fi necesare poligoane experimentale pentru a testa eficiența diferitelor sisteme, distanțe dintre drenuri sau tehnologii de execuție.

(19) Pe poligoanele experimentale este indicată realizarea unei monitorizări a consolidării induse de drenurile verticale, prin măsurarea presiunii apei din pori și a tasărilor. De asemenea, se pot efectua încercări pe teren sau se pot preleva probe din teren pe măsura evoluției consolidării pentru a urmări evoluția parametrilor mecanici.

D. Proiectare

(20) Pentru aspectele de proiectare a rambleurilor de preîncărcare asociate drenurilor verticale și determinarea deplasărilor verticale și orizontale a se vedea mai sus 4.3.2.1 D.

(21) Lucrările de îmbunătățire a terenului prin preîncărcare și drenuri verticale fac parte din clasa AI de metode, în conformitate cu standardul SR EN 1997-3:2025 Articolul 12.

(22) Pentru proiectarea sistemului de drenuri verticale și analiza vitezei de tasare din consolidare, trebuie stabilite caracteristicile drenurilor: diametrul zonei de influență a fiecărui dren, D_i , diametrul drenului d_w , diametrul zonei remaniate din jurul drenului d_s , debitul de descărcare q_w .

(23) Drenurile verticale pot fi dispuse în ochiurile unui caroiaj triunghiular sau pătrat (vezi Figura 15).

(24) Pentru determinarea diametrului zonei de influență a fiecărui dren a se vedea mai sus 4.3.2.1 formulele (4) și (5).

(25) În calculul tasărilor totale după consolidare este indicat a se ține cont de posibilele efecte perturbatoare provocate de instalarea în teren a drenurilor verticale. În unele condiții de teren instalarea drenurilor verticale poate determina o creștere a compresibilității, o reducere a coeficientului de consolidare și a coeficientului de permeabilitate, poate crea un exces de presiune a apei din pori.

(26) Pentru drenurile fitil parametrii de proiectare cei mai importanți sunt debitul de descărcare, q_w și caracteristicile de filtrare ale filtrului.

(27) Debitul de descărcare, q_w depinde de adâncimea drenului, de distanța dintre drenuri, de caracteristicile de consolidare ale terenului. Debitul de descărcare, q_w este definit ca:

$$q_w = \frac{q_p \times b \times R_T}{i \times f_{cr}} \quad (7)$$

unde: q_w este debitul de descărcare al drenului fitil, q_p este capacitatea de curgere determinată în conformitate cu standardul SR EN ISO 12958, b este lățimea drenului, R_T este un factor de corecție pentru temperatură, definit în standardul SR EN 15237, i este gradientul hidraulic, iar f_{cr} este un factor de corecție pentru fluaj care se aplică valorii q_p , ale cărui valori sunt prezentate în standardul SR EN 15237.

(28) Valorile reale ale capacității de curgere și debitului de descărcare ale drenurilor fitil depinde nu doar de proprietățile drenului, ci și de metoda de instalare (efectele zonei tulburate din jur, gaura creată de mandrină, prezența aerului în drenuri), de interacțiunea dintre dren și terenul din jur (presiunea orizontală a pământului asupra drenului, care poate determina intruziunea filtrului în miezul drenant, colmatarea filtrului și, eventual, și a miezului drenant cu particule fine, flambarea) și de temperatura din teren (care influențează rezistența la compresie și la fluaj ale drenului).

(29) Drenurile fitil pot flamba atunci când deformările pământului în care sunt instalate sunt mari (de obicei peste 20%), ceea ce influențează debitul de descărcare. Pentru a ține cont de acest lucru este necesară determinarea capacității de curgere pe drenuri fitil flambate, în conformitate cu standardul SR EN 15237.

(30) Pentru materialul filtrant al drenurilor fitil trebuie stabilite caracteristicile sale de filtrare (O_{90} - deschiderea caracteristică a porilor) și de permeabilitate (indicele de viteză, v_{h50}), pentru a fi adaptate granulozității și permeabilității terenului în care acestea sunt instalate. A se vedea prevederile standardului SR EN 15237 6.3.9.4.

(31) În cazul drenurilor tubulare prefabricate, debitul de descărcare este, de regulă, mult mai mare decât cel necesar pentru consolidarea terenului, dar poate fi redus prin deformarea miezului drenant (tubului) datorită presiunii laterale a pământului din jur sau a flambării tubului.

(32) În cazul drenurilor de nisip, proiectul trebuie să stabilească caracteristicile necesare de permeabilitate ale materialului granular adecvat terenului în care sunt instalate.

(33) Valoarea necesară a debitului de descărcare a drenurilor verticale se stabilește prin proiect prin calcule de consolidare, pe baza timpului de consolidare și a gradului de consolidare care trebuie atinse, pentru o rețea dată de drenuri și pentru o adâncime dată a acestora (penetrare totală sau parțială a straturilor compresibile). Indicații utile privind valorile necesare ale debitelor de descărcare pot fi găsite în standardul SR EN 15237 Anexa B.

(34) Proiectul geotehnic pentru lucrările de drenaj vertical trebuie să cuprindă și proiectul de monitorizare.

(35) Conținutul proiectului de monitorizare trebuie să respecte prevederile reglementărilor tehnice NP 074-2022 și P 130-2025.

(36) Principalele elemente supuse monitorizării în cazul lucrărilor de îmbunătățire a terenului prin drenaj vertical sunt: tasarea, eventualele deplasări laterale și presiunea apei din pori.

(37) Atunci când este relevant și/sau solicitat se pot realiza încercări pe teren sau de laborator pentru a urmări și confirma evoluția parametrilor mecanici ai terenului în cursul consolidării.

E. Specificații tehnice

(38) În cadrul proiectului geotehnic pentru îmbunătățirea terenurilor prin drenaj vertical trebuie impuse caracteristicile materialelor utilizate, precum și metodele de execuție.

(39) Pentru materialele utilizate la drenurile verticale specificațiile tehnice trebuie să respecte prevederile standardului SR EN 15237.

4.3.3. Coloane

4.3.3.1. Coloane granulare executate prin vibrare sau substituție dinamică, coloane în geotextil

A. Generalități

(1) În acest capitol sunt tratate coloanele realizate din material granular prin procedee de vibro - înlocuire, vibro - compactare sau substituție dinamică.

(2) Principii:

(i) Vibro-compactarea reprezintă îmbunătățirea terenului existent necoeziv prin vibrare, în care obiectivul principal este de mărire a densității terenului în zona coloanelor care se formează astfel. Metoda constă în introducerea în teren a unui vibrator de adâncime care determină o rearanjare a particulelor din teren datorată eforturilor de forfecare generate și a unei lichefierii locale determinată de vibrațiile transmise terenului de către vibrator (Figura 16).

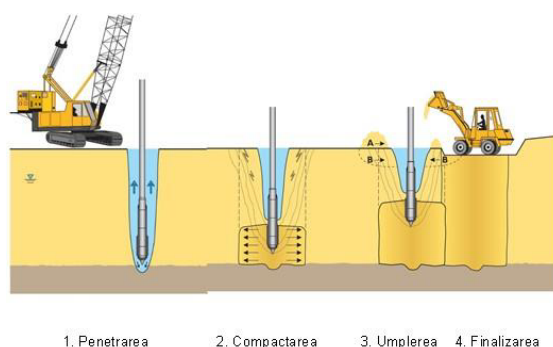


Figura 16. Principiul de realizare al coloanelor vibro-compactate în terenuri necoezive

(ii) Vibro-înlocuirea constă în executarea unor coloane prin aport de material care este vibrat. Aceasta implică introducerea în corpul coloanei a unor materiale de calitate superioară celor din teren (balast, nisip, piatră spartă sau alte materiale locale granulare), ceea ce conduce, pe lângă îndesarea terenului, la o ranforsare a acestuia. Coloanele realizate prin vibro – înlocuire pot fi realizate prin următoarele metode:

- tehnologia pe cale uscată – alimentare de sus - coloane vibro-deplasate (Figura 17). Echipamentul este suspendat cu o macara cu senile și este coborât la nivelul terenului. Penetrarea în umpluturi și/sau în terenuri moi este obținută sub efectul combinat al greutateii echipamentului, cel al vibrațiilor de frecvență înaltă și al aerului comprimat. După atingerea adâncimii dorite, echipamentul vibrator este menținut pentru puțin timp în pământ, apoi este retras. O cantitate mică de material granular este introdusă în gaura formată, după care echipamentul vibrator este din nou coborât pentru compactarea acestuia. Prin adaosuri succesive de cantități mici de material granular, compactat de fiecare dată sub energia dorită, se formează o coloană.

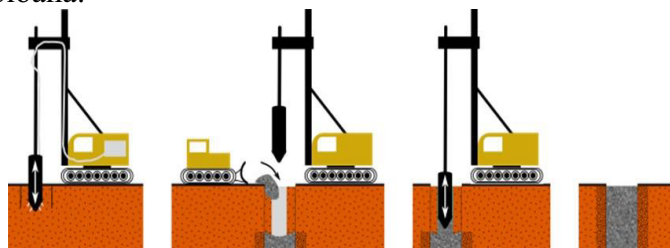


Figura 17. Principiul coloanelor din material granular vibro-deplasate (tehnologie pe cale uscată – alimentare de sus), (Dhouib A., Blondeau F., 2005⁴)

- tehnologia pe cale umedă (Figura 18) - echipamentul vibrator este dotat cu un sistem de injectare de apă. Echipamentul vibrator este suspendat cu o macara, coborât la nivelul terenului și apoi sistemul de injectare al apei este deschis. Sub efectul greutateii proprii și ajutat de jetul de apă și de vibrații, echipamentul intră rapid în terenurile moi. După realizarea unei găuri cu pereți stabili, materialul granular este introdus în porții mici printre vibrator și peretele găurii în scopul formării coloanei.

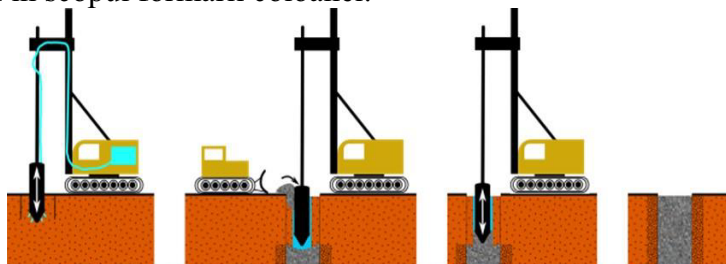
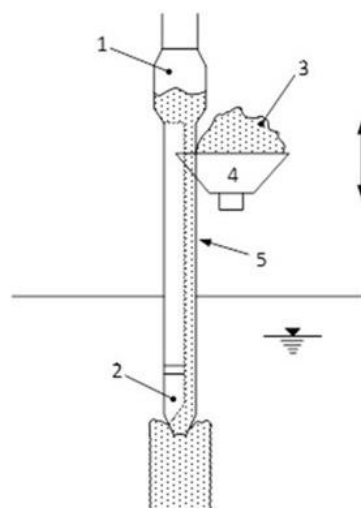


Figura 18. Principiul coloanelor din material granular realizate prin vibro-înlocuire pe cale umedă (Dhouib A., Blondeau F., 2005)

⁴ Dhouib A., Blondeau F. (2005) Colonnes ballastées, Presses de ENPC.

- tehnologia pe cale uscată - alimentare de jos (Figura 19). În această tehnologie echipamentul vibrator rămâne înfipt în teren în timpul realizării coloanei. Echipamentul este alcătuit dintr-un tub de alimentare cu debit mare racordat în permanență la mecanismul vibrator. Echipamentul este poziționat pe locul de tratare și umplut cu material granular, după care este introdus în pământ sub efectul combinat al greutateii proprii, al vibrațiilor și, dacă este necesar, a unui jet de aer comprimat și al unei forțe descendente suplimentare. Coloana din material granular este apoi realizată și compactată prin ridicarea întâi a tubului, apoi prin reînfigerea acestuia în coloana constituită și repetarea operațiilor până la atingerea gradului de compactare dorit.



1 – Cameră de compresie
2 – Vibrator
3 – Rezervă material
4 – Echipament de alimentare
5 – Tub de alimentare

Figura 19. Principiul coloanelor din material granular realizate prin vibro - înlocuire (tehnologie pe cale uscată – alimentare pe jos), (SR EN 14731)

Pentru tehnologiile prin vibrație (vibro-înlocuire, vibro-compactare) se aplică prevederile standardului SR EN 14731.

(iii) Substituția dinamică presupune utilizarea compactării dinamice pentru a introduce în teren materiale granulare pentru a forma ploturi din material granular. Poate fi o extindere a compactării dinamice care utilizează baterea cu maiuri grele, în care craterele formate prin batere (îndesare) sunt apoi umplute cu material granular pentru a forma o coloană (Figura 20) sau pot fi tehnologii specifice de creare a unor ploturi din materiale granulare în cavități preformate (fie prin îndesare, fie prin dislocuire) și umplere cu porții mici de material granular compactat dinamic cu vibrații de frecvență înaltă și amplitudine mică pentru a forma ploturi similare cu coloanele (Figura 21).

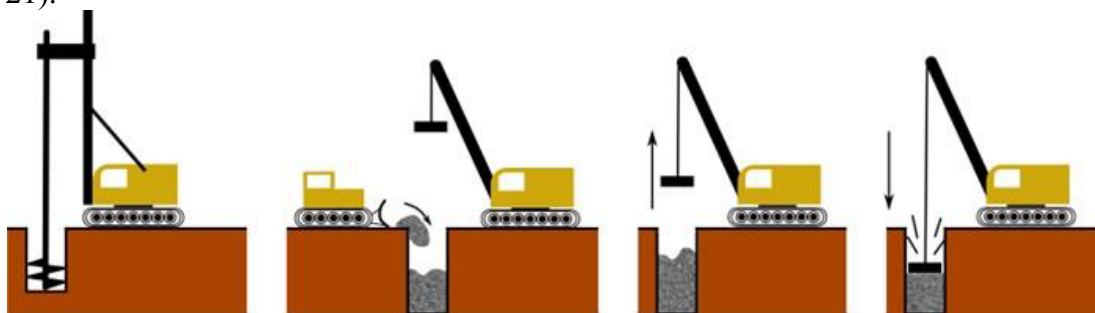


Figura 20. Principiul de realizare a ploturilor din balast prin compactare dinamică (batere), (Briancon et al., 2018)

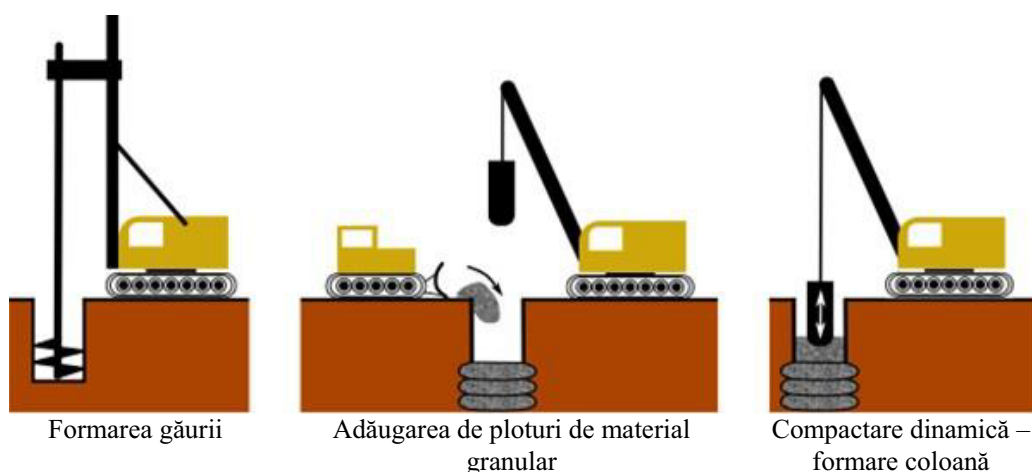


Figura 21. Principiul coloanelor din ploturi de material granular compactate dinamic

(iv) Atunci când coloanele din material granular sunt realizate în pământuri foarte moi, există posibilitatea ca acestea să nu aducă un aport semnificativ la capacitatea portantă a terenului din cauza slabei confinări a pământului pe direcție transversală, ceea ce conduce la supralărgire excesivă a coloanelor și a pătrunderii argilei moi în golurile materialului granular din coloană. Se utilizează o teacă dintr-un geotextil țesut cu rezistență mare la tracțiune. Materialul folosit pentru umplerea tecii de geotextil poate fi nisip sau balast. Teaca din material geosintetic controlează diametrul coloanei, previne pierderea de material, sporește rigiditatea generală a coloanelor și previne contaminarea cu pământ a coloanelor, păstrând astfel proprietățile de drenaj.

Coloanele în teacă din geotextil pot fi instalate cu sau fără deplasare laterală a pământului moale (Figura 22 și Figura 23).

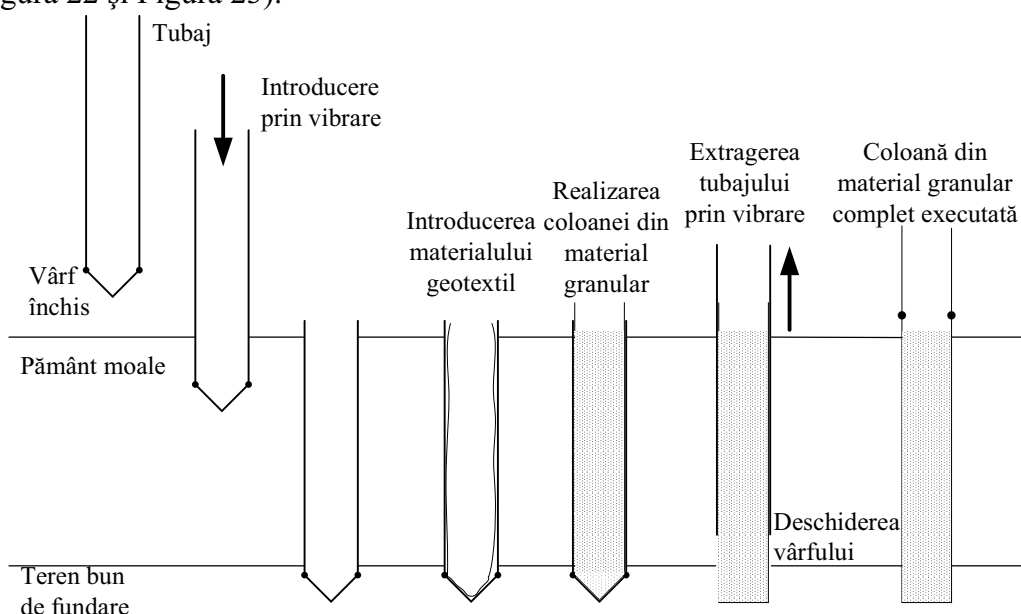


Figura 22. Metoda de instalare a coloanelor în geotextil cu deplasarea terenului (Alexiew et al., 2005⁵)

⁵ Alexiew, D., Brokemper, D. Lothspeich, S. (2005) Geotextile encased columns (GEC) load capacity, geotextile selection, and pre-design graphs. Proceedings of Geofrontiers, Austin.

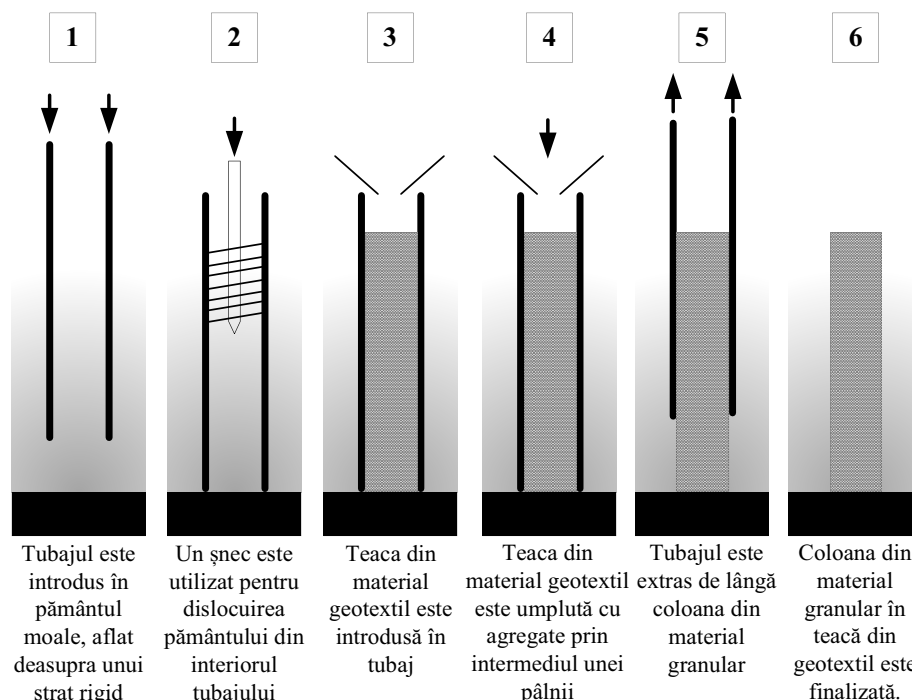


Figura 23. Metoda de instalare a coloanelor în geotextil cu dislocuirea terenului (Gniel și Bouazza, 2010⁶)

(v) În România se mai aplică și metoda de realizare a coloanelor de balast prin batere, care presupune formarea unui dop din beton la partea inferioară a coloanei și îndesarea acestuia în coloana metalică prin aplicarea de lovituri de berbec coloanei de la o înălțime de (1 ÷ 2) m. Introducerea coloanei în teren se realizează prin aplicarea de lovituri betonului din interiorul coloanei de la o înălțime de (7 ÷ 10) m. După ce se atinge cota din proiect, se scoate dopul din coloana metalică prin aplicarea de lovituri scurte introducând în coloana metalică o cantitate de balast ce se îndeasă prin batere cu berbecul, cu lovituri date de la înălțimea de (2 ÷ 3) m.

(3) Scop: Coloanele realizate în teren cu aceste procedee asigură îmbunătățirea terenului prin compactare și/sau înlocuire a materialului natural cu unul superior, cresc capacitatea portantă a terenului (ca urmare a rigidității sporite și rezistenței mai mari a materialului din coloană față de cel al terenului natural în care se execută), pot avea și rol de ranforsare sau de drenaj.

(4) Domeniu de aplicare:

(i) Coloanele realizate prin vibro – compactare, vibro – înlocuire sau substituție dinamică se pot utiliza pentru o varietate de lucrări: drumuri, rambleuri, structuri de sprijin, depozite, silozuri, rezervoare, construcții civile și industriale, structuri off-shore, terenuri câștigate din mare etc.

(ii) Coloanele realizate prin vibro – compactare se pot utiliza pentru terenuri granulare – nisipuri, pietrișuri cu conținut mic de particule fine (sub 10% fracțiune praf).

(iii) Coloanele realizate prin vibro – înlocuire se utilizează pentru pământuri coezive ce prezintă o rezistență la forfecare în condiții nedrenate mai mare de 15 - 20 kPa. Tehnica nu este adecvată pentru turbe sau pământuri cu peste 5% materie organică și nici pentru umpluturi din deșeuri menajere. Pentru pământurile foarte moi poate fi necesară asocierea cu o măsură de preîncărcare sau consolidare.

(iv) În Figura 24 sunt prezentate domeniile granulometrice pentru vibro - compactare și vibro–înlocuire.

⁶ Gniel J., Bouazza A. (2010) Construction of geogrid encased stone columns: A new proposal based on laboratory testing, Geotextiles and Geomembranes, Volume 28, Issue 1, February 2010, Pages 108-118.

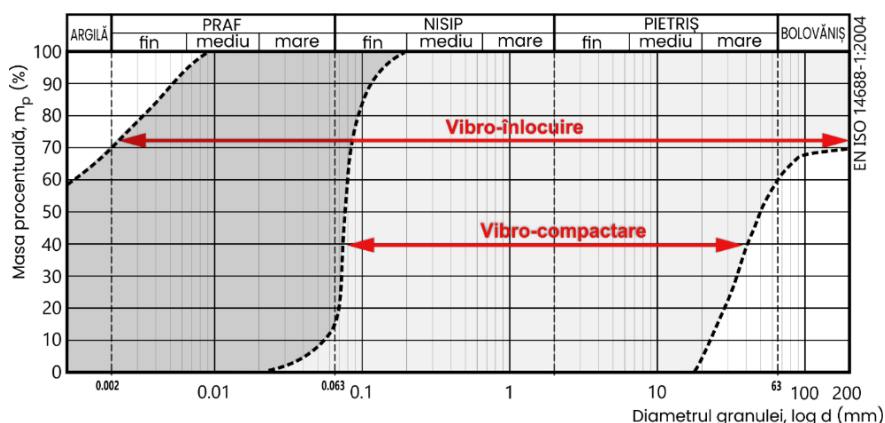


Figura 24. Domenii granulometrice pentru terenurile în care se pot aplica coloanele realizate prin vibro – compactare și vibro – înlocuire (Briancon et al., 2018)

(v) Metoda de substituție dinamică cu ploturi din materiale granulare se poate utiliza în terenuri diverse, argile și prafuri de la moi la vârtoase, terenuri necoezive afânate sau mediu îndesate, deasupra sau sub nivelul apei subterane, depozite de deșeuri.

(vi) Tehnologia coloanelor în geotextil este utilizată pentru terenuri foarte moi și terenuri cu conținut ridicat de materii organice cu o rezistență la forfecare în condiții nedrenate de 5 - 15 kPa, sau chiar mai mici de 5 kPa, inclusiv în turbe și mълuri. De regulă, această tehnică este utilizată pentru rambleuri fondate pe terenuri cu un modul edometric între 0,5 și 3,0 MPa și o grosime a stratului compresibil între 8 și 30 m. Înălțimea minimă recomandată a rambleului deasupra coloanelor în geotextil este de 1,5 m.

(vii) Coloanele din material granular în geotextil sunt adecvate în cazul fundațiilor sensibile la împingerea laterală, cum ar fi piloții din vecinătatea rambleurilor înalte, haldele de depozitare sau alte încărcări din fundare directă. Ele pot fi, de asemenea, utilizate în zone seismice pentru menținerea integrității coloanelor granulare sub acțiunea seismică de forfecare. O altă aplicație a coloanelor din material granular în geotextil este pentru rambleurile feroviare existente modernizate pentru trenuri de mare viteză, deoarece îmbunătățesc stabilitatea lor dinamică.

(5) Limitări:

(i) În cazul coloanelor realizate prin vibro-înlocuire:

- tehnologia pe cale uscată - alimentare de sus (coloane vibro-deplasate) este aplicabilă în pământuri granulare, deasupra pânzei freatice, pentru adâncimi curente maxime de 20 m;
- tehnologia pe cale umedă este utilizată atunci când tehnica pe cale uscată nu poate fi adoptată datorită instabilității pereților găurii formate prin vibrare;
- tehnologia pe cale uscată - alimentare de jos este aplicabilă în cazurile în care stabilitatea pereților găurii nu este asigurată și poate înlocui procedeul pe cale umedă în majoritatea situațiilor.

(ii) Adâncimea tipică de execuție a coloanelor prin metoda de vibro-înlocuire este de 10 - 15 m.

(iii) Coloanele realizate prin vibro-înlocuire pot reduce tasările construcțiilor de cca 2 - 3 ori.

(iv) Pentru coloanele de nisip, tehnologia a fost utilizată până la o adâncime de 70 m.

(v) Adâncimea tipică a coloanelor în geotextil este de 5 - 10 m.

(vi) Coloanele din materiale granulare (agregate) realizate prin substituție dinamică sunt utilizate în principal pentru a îmbunătăți terenurile până la o adâncime de 5 - 10 m, în funcție de tehnologia aplicată. Coloanele realizate prin compactare dinamică (batere) de la suprafață au adâncimi mai mici, de cca 5 - 6 m maximum, în timp ce ploturile de agregate compactate, în funcție de tehnologie (de îndesare sau cu dislocuire) pot avea adâncimi de 5 - 25 m.

(vii) Pentru coloanele realizate prin vibro-compactare terenurile care pot fi îmbunătățite prin această tehnică prezentate în Figura 24 pot fi sub-divizate în mai multe sub-domenii granulometrice (Figura 25):

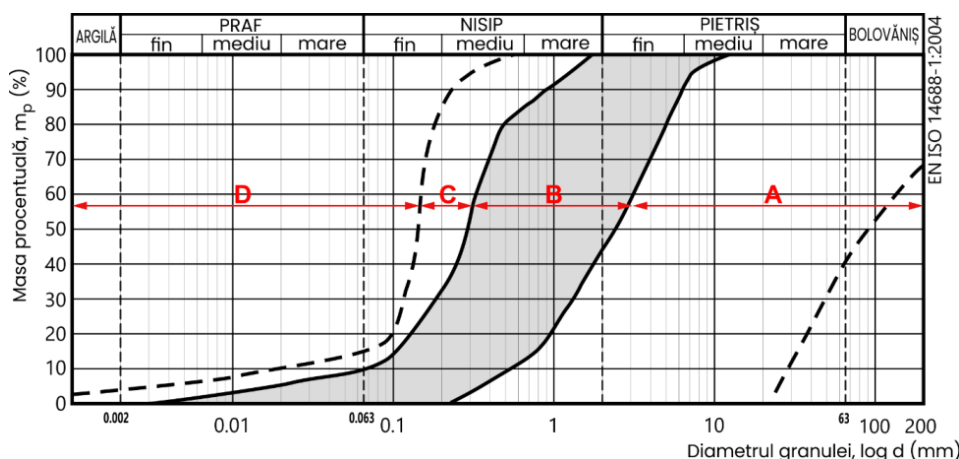


Figura 25. Sub-domenii granulometrice ale terenului pentru îmbunătățire prin metoda vibro-compactării (Bertago et al., 1996)

În cazul terenurilor cu o granulometrie cuprinsă în zona A, metoda de vibro-compactare este adecvată, dar va fi dificilă introducerea vibratorului datorită diametrelor mari ale fracțiunii de pietriș și bolovăniș. Zona B, care cuprinde fracțiunea de nisip fin până la pietriș fin, este cea mai adecvată pentru vibro-compactare. Zona C cuprinde terenuri pentru care vibro-compactarea este fezabilă, dar necesită un timp mai îndelungat pentru îndesarea pământului din cauza coeziunii aparente pentru pământurile nesaturate sau a permeabilității relativ scăzute pentru pământul saturat. Zona D cuprinde terenuri pentru care vibro-compactarea nu este fezabilă.

(vi) Prin realizarea de coloane din material granular, drenant, se pot pune în comunicare diferitele acvifere din teren, care, în anumite cazuri, poate duce la contaminarea acestora.

B. Materiale utilizate

(6) Pentru realizarea coloanelor realizate prin vibro-compactare, vibro – înlocuire sau prin substituție dinamică se pot utiliza: materialele necoezive din terenul de fundare (ținând cont de domeniul geotehnic de aplicare al fiecărei metode) sau materiale de aport granulare.

(7) Pentru coloanele vibro-deplasate granulozitatea materialului granular utilizat este cuprinsă între 40 mm și 75 mm.

(8) Pentru coloanele realizate prin vibro – înlocuire pe cale umedă granulozitatea materialului granular utilizat este cuprinsă între 25 mm și 75 mm.

(9) Pentru coloanele realizate prin compactare dinamică de la suprafață se pot utiliza materiale granulare, inclusiv grosiere, cu blocuri de până la 50 cm, dată fiind energia ridicată de compactare. Se poate utiliza și deșeu de carieră sau materiale din demolări.

(10) Materialele granulare utilizate pentru corpul coloanelor trebuie să fie curat și inert din punct de vedere chimic, precum și să aibă o duritate suficientă pentru a rămâne stabil în timpul compactării.

(11) Materialele granulare utilizate pentru corpul coloanelor trebuie să nu fie friabile. De regulă, degradarea sa la încercarea Los Angeles trebuie să fie sub 45% pierdere, iar diametrul granulelor să fie între 12 și 75 mm.

(12) Geosinteticele utilizate în mod obișnuit pentru încapsularea coloanelor din material granular sunt geotextilele țesute cu rezistență mare la tracțiune uni-dimensională și tri-dimensională. Rezistența maximă la tracțiune este atinsă de obicei la deformății tridimensionale de aproximativ 5 - 10%, ceea ce implică valori de rezistență între 100 - 300 kN/m.

C. Studii și încercări necesare pentru proiectare

(13) Pentru terenul de fundare al viitoarei structuri este necesară elaborarea unui studiu geotehnic în conformitate cu reglementarea tehnică NP 074-2022.

(14) Informațiile și parametrii geotehnici specifici necesari a fi furnizați prin studiul geotehnic pentru terenul de fundare pentru îmbunătățirea terenului cu coloane sunt cel puțin următoarele (următorii):

- grosimea stratului compresibil și dispunerea sa în plan pe suprafața zonei de influență a lucrării, precum și condițiile de drenaj furnizate de straturile de sub și de deasupra acestuia;
- posibilele obstacole, straturi dure, elemente grosiere (blocuri, bolovăniș);
- prezența pământurilor dificile precum sensibile la umezire, sensibile la remaniere, lichefiabile, subconsolidate etc.;
- nivelul apei subterane și regimul apei subterane;
- granulozitatea și conținutul de particule fine;
- limitele de plasticitate și indicele de consistență pentru pământurile coezive;
- gradul de îndesare a pământurilor granulare;
- conținutul de materii organice;
- greutate volumică;
- permeabilitate;
- rezistența la forfecare nedrenată;
- coeficientul lui Poisson;
- caracteristicile de compresibilitate ale stratului compresibil;
- rezistența la fragmentare a particulelor – pentru pământuri granulare.

(15) Determinarea caracteristicilor geotehnice ale terenului de fundare pot fi determinate prin încercări de laborator pe probe netulburate prelevate din teren și/sau prin încercări pe teren (încercări cu placa, încercări CPTu, cu dilatometrul, scizometrul de șantier etc.).

(16) Regimul apei subterane este necesar a fi determinat prin campanii de monitorizare pe teren a nivelului apei subterane, precum și prin încercări hidrogeologice specifice pe teren.

(17) De asemenea, sunt necesare cel puțin următoarele informații referitoare la amplasament și la proiect:

- geometria amplasamentului, mărimea suprafeței ce urmează a fi îmbunătățită, acces, restricții de înălțime etc.;
- prezența structurilor, rețelelor și utilităților subterane;
- restricțiile de mediu;
- contaminări eventuale existente.

(18) Pentru materialele granulare care vor fi utilizate pentru execuția coloanelor trebuie determinați următorii parametri geotehnici:

- granulozitate;
- capacitate de îndesare;
- greutate volumică;
- unghi de frecare internă în stare compactată;
- modul de deformare în stare compactată;
- coeficientul Poisson;
- unghi de dilatanță.

(19) În cazul coloanelor în geotextil, pentru materialul geosintetic trebuie determinate caracteristicile prevăzute în standardele corespunzătoare aplicației intenționate și a funcției îndeplinite de materialul geosintetic. În principal, pentru lucrări de terasamente și fundații este aplicabil standardul SR EN 13251.

D. Proiectare

(20) Lucrările de îmbunătățire a terenului cu coloane din material granular realizate prin vibrare (vibro-compactare, vibro-înlocuire) sau compactare dinamică fac parte din clasa BI de metode, în conformitate cu standardul SR EN 1997-3:2025 Articolul 12.

(21) Pentru coloanele realizate prin vibrare (vibro-compactare, vibro-înlocuire) sau compactare dinamică prima etapă de proiectare este stabilirea adecvării tehnicii de compactare prin vibrare pentru terenul de fundare din amplasament, pe baza datelor geotehnice disponibile, respectiv:

(i) dacă se poate atinge obiectivul îmbunătățirii terenului (de exemplu, sporirea capacității portante, reducerea tasărilor construcției prevăzute, reducerea potențialului de lichefiere, reducerea colapsibilității anumitor pământuri, reducerea permeabilității etc.);

(ii) dacă terenul de fundare are proprietățile geotehnice corespunzătoare tehnicii prin vibrare;

(iii) dacă gaura realizată este stabilă în terenul din amplasament;

(iv) definirea criteriilor de proiectare, pe baza cărora se vor stabili adâncimea îmbunătățirii și distanța dintre punctele de îmbunătățire;

(v) definirea criteriilor de performanță ale terenului îmbunătățit (care sunt parametrii pe baza cărora se va analiza performanța obținută în urma îmbunătățirii);

(vi) definirea criteriilor legate de uniformitatea terenului îmbunătățit, respectiv împrăștierea admisă a proprietăților rezultate;

(vii) dacă este cazul, analiza efectelor utilizării apei în timpul execuției asupra terenului în sine și asupra terenurilor din jur;

(viii) analiza efectelor pe care tehnica de îmbunătățire le poate avea asupra structurilor vecine (tasări, vibrații, generarea de exces al presiunii apei din pori etc.);

(ix) atunci când coloanele de material granular rezultat au și o funcție de drenaj se vor analiza posibilitățile de evacuare a apei rezultate din consolidare.

(22) Pot fi necesare poligoane experimentale pentru a testa eficiența diferitelor tehnologii posibile.

(23) Metodele de proiectare utilizate pot fi prin calcul, pe bază de reguli prescriptive, prin încercări sau prin metoda observațională, care este bine adaptată și des utilizată pentru acest tip de lucrări de îmbunătățire a terenului.

(24) Stabilirea diametrului coloanelor depinde foarte mult de tehnica de execuție aleasă și de echipamentul corespunzător:

- coloanele din nisip compactat executate cu tubaj pot avea diametre între 0,60 și 0,80 m;
- coloanele din balast executate prin vibrare pot avea diametre între 0,5 m și 1,2 m;
- coloanele din agregate compactate realizate cu tubaj și burghiu continuu pot avea diametre între 0,70 și 0,90 m;
- coloanele din material granular în geotextil realizate cu tubaj pot avea diametre între 0,70 și 0,90 m;
- ploturile din agregate compactate pot avea diametre între 0,70 și 0,90 m.

(25) Pentru verificarea la stările limită ultime trebuie luate în considerare modurile de cedare potențiale ale coloanelor izolate care sunt figurate în Figura 26:

(i) cedare prin expansiune laterală, care este de regulă modul de cedare care guvernează (Figura 26a);

(ii) cedare prin poansonare a coloanelor scurte flotante (Figura 26b);

(iii) cedare prin forfecare (cedare generală), un mecanism de cedare care apare mai rar în cazul coloanelor scurte (Figura 26c).

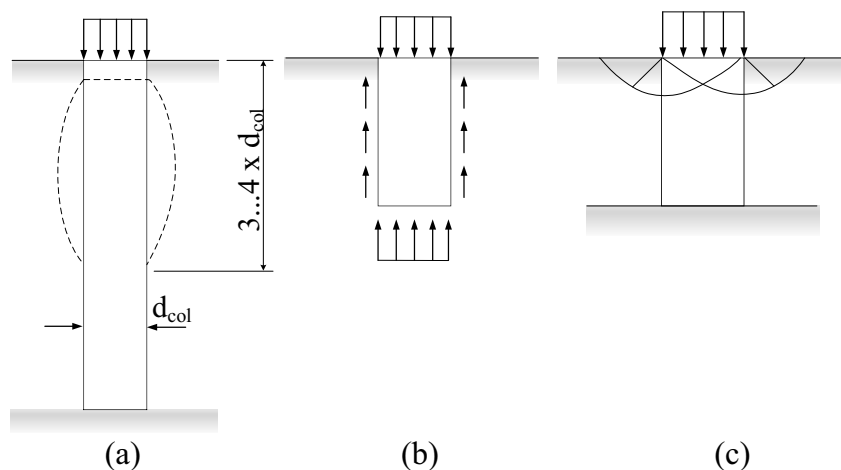


Figura 26. Moduri posibile de cedare ale unei coloane într-un teren omogen supusă la încărcări verticale: (a) cedare prin expansiune laterală; (b) cedare prin poansonare; (c) cedare prin forfecare (Dhouib, Blondeau, 2005)

Notă. În Anexa C se găsesc indicații pentru calculul capacității portante ultime pentru diferitele mecanisme de cedare.

(26) Criteriile de dimensionare adoptate în general sunt:

(i) Sarcina globală admisibilă pe terenul îmbunătățit cu verificarea cedării prin rupere a coloanelor (SLU);

(ii) Tasarea absolută și diferențiată admisibilă a terenului îmbunătățit între coloane.

(27) În funcție de aplicație se pot adopta și alte criterii de dimensionare, ca de exemplu:

(i) timpul de consolidare, dacă coloanele au și rol drenant;

(ii) stabilitatea pantelor.

(28) Dimensionarea rețelei de coloane se face, de regulă, pe baza conceptului de celulă elementară, prin care fiecărei coloane i se atribuie o zonă de influență având un diametru echivalent. Definirea parametrilor geometrici pentru o rețea triunghiulară sau pătrată este prezentată în Figura 27. Zona de influență este prezentată în secțiune verticală în Figura 28. Se pot adopta și alte geometrii de rețele, de exemplu hexagonală sau radială. Se menționează că acest concept de dimensionare poate să nu fie potrivit oricărei dispunerii a coloanelor, ca de exemplu grup mic de coloane dispuse sub o fundație izolată sau coloane dispuse pe un rând pentru tălpi continue.

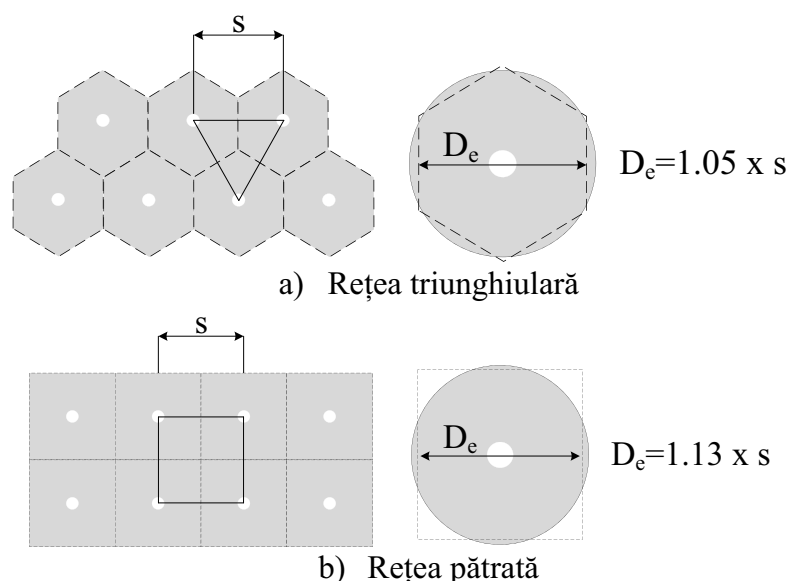


Figura 27. Diametrul echivalent al celulei elementare pentru rețea triunghiulară și pătrată.

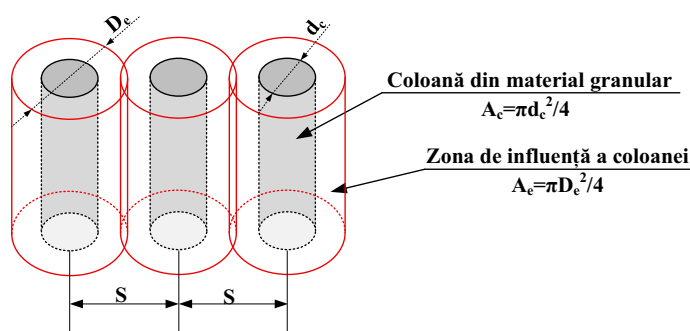


Figura 28. Zona de influență a unei coloane

(29) Presiunea aplicată la suprafața terenului îmbunătățit se repartizează între coloană și terenul dintre coloane, în funcție de suprafața celor două zone. De aceea este important raportul dintre suprafețele celor două zone, a , denumit coeficient de încorporare (în cazul coloanelor realizate pe cale umedă) sau coeficient de substituție (cale uscată):

$$a = \frac{A_c}{A} \quad (8)$$

unde: A_c este aria secțiunii coloanei, iar A este aria totală a zonei de influență a coloanei.

(30) Pentru criteriul de dimensionare legat de capacitatea portantă trebuie calculat raportul de concentrare al eforturilor, n , care caracterizează comportamentul coloanei de material granular, care este definit ca:

$$n = \frac{\sigma_c}{\sigma_s} \quad (9)$$

unde: n este raportul de concentrare al eforturilor, σ_c este efortul normal unitar vertical pe coloană, iar σ_s este efortul normal unitar vertical pe terenul dintre coloane.

(i) Această concentrare de eforturi nu apare imediat după încărcare, ci se dezvoltă pe parcursul consolidării terenului.

(ii) Factorul de concentrare a eforturilor depinde de o serie de variabile, inclusiv de rigiditatea relativă a celor două materiale, lungimea coloanei, raportul de încorporare sau de substituție și, eventual, de caracteristicile platformei de transfer din material granular amplasată deasupra coloanelor. Valorile măsurate ale acestui factor au fost, în general, între 2,0 și 5,0, cu posibilitate ca valorile să crească în timp.

(iii) Un factor de concentrare al tensiunilor de 3 până la 4 poate fi justificat dacă terenurile din amplasament sunt foarte slabe și distanțele dintre coloane sunt foarte mici.

(iv) Pentru straturi de pământ mai rezistente și distanțe mari între coloane sunt indicate valori mai mici pentru acest factor de 2 până la 2,5.

(v) Pentru proiectarea preliminară, un raport de 2,5 se poate utiliza în mod conservator pentru calculele de stabilitate și capacitate portantă.

(vi) Pentru fundații perfect rigide tasarea coloanei este egală cu tasarea terenului, de aceea în acest caz $n = E_c/E_s$, unde E_c este modulul de elasticitate al coloanei, iar E_s modulul de elasticitate al terenului. De regulă acest raport este aproximativ egal cu 10.

(31) Pentru evaluarea eficacității îmbunătățirii în ceea ce privește tasările, trebuie calculat factorul de reducere al tasărilor, β :

$$\beta = \frac{s_i}{s_f} \quad (10)$$

unde: s_i este tasarea terenului natural, iar s_f tasarea terenului după îmbunătățire.

(32) Pentru determinarea factorului de reducere a tasărilor se poate utiliza metoda Priebe, care transformă modelul inițial compus din coloane și teren într-un model echivalent omogenizat având parametri echivalenți sau alte metode mai avansate, analitice, empirice sau numerice.

Notă. În Anexa C se găsesc indicații pentru determinarea factorului de îmbunătățire cu metoda Priebe⁷.

(33) Pentru o mai bună modelare a tasărilor se poate utiliza metoda modificată a lui Priebe care ține cont de compresibilitatea proprie a materialului din coloană și de creșterea efortului lateral asupra coloanei cu adâncimea.

Notă. În Anexa C se găsesc indicații pentru determinarea factorului de îmbunătățire cu metoda Priebe modificată.

(34) În cazul coloanelor de material granular în teacă de geotextil utilizarea metodei celulei elementare a fost modificată pentru a furniza forța de tracțiune din geosintetic și deformația tridimensională a acestuia.

E. Specificații tehnice

(35) În cadrul proiectului geotehnic pentru îmbunătățirea terenurilor prin coloane realizate prin vibrare sau batere trebuie impuse caracteristicile materialelor utilizate, precum și metodele de execuție.

(36) Pentru materialele utilizate pentru coloane specificațiile tehnice trebuie să respecte prevederile standardului SR EN 14731.

(37) Pentru materialele geosintetice specificațiile tehnice trebuie să respecte prevederile SR EN 13251.

4.3.3.2. Coloane din pământ (loess)

(1) În acest subcapitol sunt tratate coloanele din pământ, de regulă aplicate în cazul terenurilor sensibile la umezire (loess).

A. Generalități

⁷ Priebe, H.J. (1995) The design of vibroreplacement, GeTec Ingenieurgesellschaft für Informations- und Planungstechnologie mbH.

(2) Principiu: Pentru îmbunătățirea terenurilor sensibile la umezire, în România se utilizează procedeul de realizare a coloanelor de pământ prin îndesare în adâncime ca urmare a căderii unui mai (de 1,5 – 1,6 t) având în capăt un dorn ce străpunge terenul și îl îndeasă lateral. Găurile astfel formate, care sunt stabile în loess uscat, sunt apoi umplute cu porții succesive de material de același tip care se compactează până la refuz.

(3) Scop: Reducerea porozității terenului sensibil la umezire pe toată adâncimea și în toată masa, pentru eliminarea sensibilității la umezire.

(4) Domeniu de aplicare: Coloanele din pământ se folosesc de obicei în cazul unor terenuri sensibile la umezire cu o grosime mai mare de 8 m, dar se pot folosi și pentru grosimi mai mici ale stratului dificil de fundare (minim 5 m) în cazul construcțiilor industriale fără sarcini dinamice importante, respectiv de minim 6 m în cazul construcțiilor civile cu regim de înălțime P+10E.

(5) Limitări:

(i) Nu se pot executa coloane de pământ sub nivelul hidrostatic și nici în terenuri a căror umiditate naturală depășește limita inferioară de plasticitate a pământului cu $\Delta w \geq 5\%$.

(ii) Diametrul uzual al maiului utilizat este de 0,35 m, dar diametrul final al coloanei depinde de îndesarea terenului.

B. Materiale utilizate

(6) Pentru realizarea coloanelor din pământ se utilizează doar materialul din loc, pământuri prăfoase cu umiditate $< 5\%$.

C. Studii și încercări necesare pentru proiectare

(7) Pentru îmbunătățirea terenului sensibil la umezire cu coloane din pământ trebuie elaborat un studiu geotehnic în conformitate cu reglementarea tehnică NP 074-2022.

(8) Pentru pământul din terenul supus îmbunătățirii prin coloane din pământ, precum și cel din cariera de aprovizionare trebuie determinați cel puțin următorii parametri geotehnici:

- granulozitate;
- limite de plasticitate;
- caracteristici de compresibilitate în stare naturală, inclusiv sensibilitatea la umezire;
- parametrii de rezistență la forfecare în condiții drenate și nedrenate în stare naturală și inundată (unghi de frecare internă, coeziune);
- parametrii de rezistență la forfecare în condiții drenate și nedrenate în stare compactată (unghi de frecare internă, coeziune);
- modul de deformare în stare compactată.

D. Proiectare

(9) Proiectul geotehnic pentru îmbunătățirea terenurilor sensibile la umezire cu coloane de pământ trebuie să respecte cerințele specifice ale reglementărilor tehnice NP 125-2010, NP 074-2022, precum și cele generale ale standardului SR EN 1997-1:2024.

(10) Proiectarea compactării cu coloane de pământ include stabilirea următoarelor date:

- diametrul coloanei de pământ (d_c);
- adâncimea de compactare (h_c);
- distanța dintre centrele (axele) coloanelor (l); determinată experimental;
- lățimea zonei de gardă;
- cantitatea de pământ (G) necesară pentru umplerea găurii coloanei, determinată experimental;
- numărul de lovituri (N) necesar pentru compactarea unei porții de pământ, determinat experimental;
- cariera de aprovizionare cu pământ și caracteristicile geotehnice ale acestuia.

(11) Diametrul coloanei de pământ este funcție de diametrul maiului folosit la realizarea coloanei prin percuție. De obicei diametrul de proiectare al coloanei se ia ca fiind egal cu $d_c=0,4$ m.

(12) Lungimea coloanelor din pământ (L) este egală cu adâncimea de compactare (h_c), ce se va lua egală cu grosimea stratului de pământ sensibil la umezire.

(13) Distanța dintre axele coloanelor (S) se determină folosind relația:

$$S = 0,95 \cdot d_c \cdot \sqrt{\frac{\rho_{dm}}{\rho_{dm} - \rho_d}} \quad (11)$$

unde: d_c – diametrul coloanei din pământ; ρ_{dm} – densitatea medie în stare uscată a pământului compactat din coloană; ρ_d – densitatea medie în stare uscată pentru terenul natural.

(14) Pentru calculul distanței dintre axele coloanelor se pune condiția obținerii unei densități medii în stare uscată a pământului compactat de $\rho_{dm}=1,65 \text{ t/m}^3$. În Tabelul 1 sunt date valori orientative pentru distanța dintre axele coloanelor în funcție de porozitatea medie, indicele porilor și densitatea uscată a terenului natural cu condiția obținerii pe întreg masivul consolidat a unei densități ρ_{dm} egală cu $1,65 \text{ t/m}^3$.

Tabelul 1. Distanța S dintre centrele coloanelor de pământ în funcție de valorile porozității indicele porilor și densitatea uscată a terenului natural cu condiția obținerii pe întreg masivul consolidat a unei densități ρ_{dm} egală cu $1,65 \text{ t/m}^3$

Porozitatea, n (%)	52	50	48	46	44
Indicele porilor, e (-)	1,083	1,0	0,9202	0,85	0,785
Densitatea uscată a terenului natural, ρ_d (t/m^3)	13,0	13,5	14,0	14,8	15,2
Distanța dintre centrele coloanelor de pământ, S (m)	$2,1 \cdot d_c$	$2,2 \cdot d_c$	$2,4 \cdot d_c$	$3,0 \cdot d_c$	$3,4 \cdot d_c$

(15) Coloanele trebuie dispuse, de preferință după o rețea regulată, într-un model triunghiular echilateral, de latură S . O dispunere tipică într-un model triunghiular echilateral este prezentată în Figura 29.

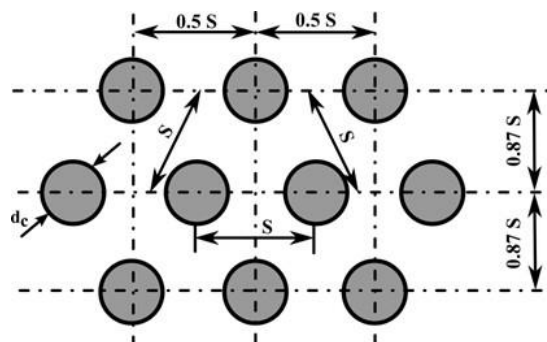


Figura 29. Rețea tipică pentru coloanele din pământ.

(16) Lățimea zonei de gardă: Suprafața îmbunătățită prin coloane din pământ trebuie să depășească în plan dimensiunile tălpii fiecărei fundații cu o lățime ($B_{\text{zonă gardă}}$) egală cu cea mai mare valoare rezultată în urma calculului cu următoarele relații:

$$B_{\text{zonă gardă}} = B \times \eta \quad (12)$$

unde:

$B_{\text{zonă gardă}}$ este lățimea cu care se depășește în plan dimensiunile tălpii fundației (zona de gardă);

B este lățimea fundației;

η este un coeficient care se ia egal cu 0,5 pentru fundații continue și izolate și 0,35 pentru radiere.

$$B_{\text{zonă gardă}} = (h_c - 3 \cdot B)/6 \quad (13)$$

unde:

h_c este adâncimea îmbunătățită măsurată de la talpa fundației.

- cel puțin 1/3 din grosimea stratului de loess (grupa B), măsurat de la nivelul tălpii fundației;

- grosimea minimă $B_{\text{zonă gardă}} \geq 1,5 \text{ m}$.

(17) Cantitatea de pământ necesară umplerii unui metru liniar de coloană se calculează cu relația:

$$G = K \cdot A \cdot \rho_{dc} \cdot \left(1 + \frac{w}{100}\right) \quad (14)$$

unde:

G este cantitatea de pământ ce urmează a fi compactată pentru obținerea unui metru liniar de coloană;

K este un coeficient egal cu 1,1 pentru loessuri argiloase și 1,4 pentru loessuri prăfoase și nisipoase;

A este aria coloanei de diametru d_c ;

ρ_{dc} este densitatea medie în stare uscată a pământului compactat din coloană;

w este umiditatea pământului compactat exprimat în procente.

(18) Rezultatele obținute prin folosirea relației de mai sus trebuie verificate experimental.

(19) Numărul de lovituri (N) necesar pentru compactarea coloanelor de pământ se determină într-un poligon experimental. Pământul din coloană este compactat prin aplicări de lovituri succesive ale berbecului asupra pământului din coloană până la atingerea refuzului, măsurându-se de fiecare dată avansarea berbecului. Se consideră că materialul din coloană a ajuns la refuz atunci când la 3 lovituri succesive se obțin valori ale avansării berbecului care nu diferă cu mai mult de 1 cm. Numărul de lovituri (N) este cel mai mic număr la care s-a obținut această diferență. Numărul N de lovituri pentru compactarea pământului din coloană este media aritmetică a numerelor obținute pentru fiecare strat compactat.

E. Specificații tehnice

(20) Proiectul geotehnic trebuie să precizeze condițiile de execuție a coloanelor de pământ, caracteristicile geometrice ale acestora, parametrii de acceptare a lucrărilor și condițiile de execuție a poligoanelor experimentale.

4.3.4. Incluziuni rigide

A. Generalități

(1) Principiu: transferul parțial al încărcărilor de la terenul slab către terenul mai rezistent din adâncime prin intermediul unei rețele de incluziuni și a unei platforme granulare de transfer dispusă peste capetele incluziunilor, fără conectare la structură (Figura 30). În lipsa platformei de transfer o soluție de radier pe incluziuni rigide poate fi asimilată cu o fundație pe piloți (dacă încărcările sunt preluate exclusiv de piloți – incluziuni) sau cu o fundație mixtă (radier pilotat) dacă se ia în considerare și partea de încărcări preluate de terenul dintre incluziuni. Incluziunile pot avea capiteluri.

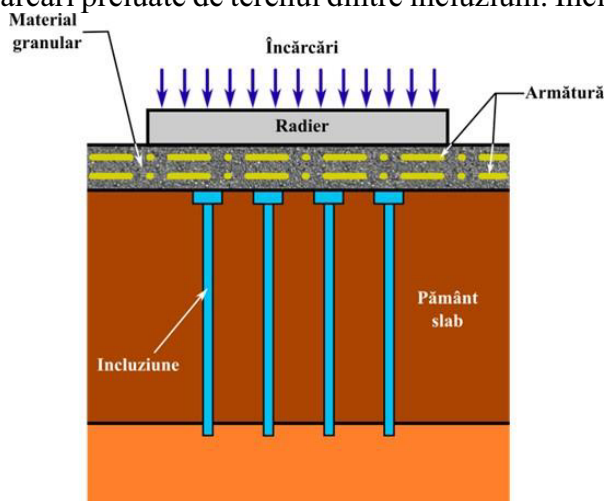


Figura 30. Elementele componente ale unei fundații pe teren îmbunătățit prin incluziuni rigide (ASIRI, 2012⁸)

⁸ Recommendations for the design, construction and control of rigid inclusion ground improvements (2012) ASIRI National Project, Presse des Ponts.

(2) Termenul incluziuni rigide este utilizat de regulă pentru a acoperi atât pe cele rigide, cât și pe cele semi-rigide.

(3) Incluziunile rigide sunt constituite din elemente zvelte, de regulă cilindrice, verticale, continui, dispuse în nodurile unei rețele.

(4) Conceptul de incluziune rigidă presupune că stabilitatea coloanei este asigurată fără confinarea asigurată de terenul din jur (spre deosebire, de exemplu de coloanele din material granular).

(5) Platforma de transfer este cel mai adesea armată cu straturi de armături, de regulă din materiale geosintetice, dar pot fi utilizate și armături metalice, care au rolul de a:

- asigura transmiterea eforturilor provenite din structură care sunt situate în afara conurilor de transmitere a încărcărilor către incluziuni, ceea ce are o influență asupra grosimii optime a platformei;
- prelua eforturile laterale (de exemplu, în cazul rambleurilor fundate pe un sistem de incluziuni rigide, acestea sunt date de împingerea rambleului);
- îmbunătăți transferul de încărcări către incluziuni.

(6) În mod uzual, se acceptă că încărcările orizontale din partea suprastructurii sunt disipate în grosimea platformei de transfer, iar incluziunile preiau doar forțe verticale. Dacă platforma de transfer nu are grosimea sau caracteristicile necesare pentru a disipa aceste forțe orizontale (sau dacă aceasta lipsește), atunci incluziunile vor prelua și eforturi orizontale, nu doar verticale, și trebuie proiectate corespunzător. Într-o astfel de situație, ele capătă un comportament similar piloților și trebuie dimensionate conform reglementărilor tehnice aplicabile lucrărilor de piloți.

(7) Incluziunile pot fi clasificate în incluziuni rigide sau semi-rigide în funcție de valoarea modulului lor de deformare sau de raportul dintre modulul de deformare al incluziunilor și cel al terenului:

- incluziunile rigide au moduli de deformare $E > 0.5...1.0 \times 10^7$ kPa, respectiv un raport $E_{incl}/E_{teren} > 0.5...1.0 \times 10^3$;
- incluziunile semi-rigide au moduli de deformare $E < 0.5...1.0 \times 10^7$ KPa, respectiv un raport $E_{incl}/E_{teren} < 0.5...1.0 \times 10^3$

(8) Incluziunile pot fi obținute prin diferite tehnici, fie de dislocuire, fie de îndesare, ca de exemplu:

- realizate pe loc prin vibrare sau batere;
- prefabricate introduse prin batere sau vibrare;
- coloane de pământ malaxat cu liant sau realizate prin injecție cu presiune înaltă.

(9) În general pot fi utilizate toate tehnicile de execuție a piloților sau minipiloților,

(10) Incluziunile pot fi realizate din beton (simplu sau armat), mortar, oțel, lemn etc.

(11) Scop: ranforsarea terenului atunci când acesta nu are capacitate portantă suficientă sau este prea compresibil pentru a suporta structura prevăzută fără tasări care depășesc pe cele admisibile, Soluțiile de îmbunătățire a terenului de fundare prin execuția incluziunilor rigide au, în principal, următoarele obiective:

- sporirea modulului de deformare liniară echivalent al terenului de fundare, implicit uniformizarea și reducerea tasărilor fundațiilor;
- îmbunătățirea comportării terenului din jur;

(12) Domeniu de aplicare: Domeniile de aplicare ale soluțiilor de îmbunătățire a pământurilor prin execuția incluziunilor rigide sunt:

- clădiri rezidențiale și comerciale;
- clădiri industriale, depozite, centre logistice;
- rezervoare de stocare fluide, precum și bazine și structuri ale stațiilor de epurare a apelor uzate;
- rambleuri pentru infrastructuri rutiere și feroviare;
- turbine eoliene, centrale solare, centrale nucleare.

- alte clădiri sau structuri pentru care se urmăresc creșterea capacității portante a terenului de fundare și reducerea tasărilor fundațiilor și radierelor.

(13) Alegerea unei soluții de îmbunătățire cu incluziuni rigide în locul unei alte soluții de îmbunătățire precum preîncărcare cu drenuri verticale, coloane de material granular, compactare dinamică prin batere sau vibrație se face pe baza condițiilor de teren, a structurii ce urmează a fi construită, tasării admisibile, timpului de execuție etc.

(i) De exemplu, pământurile coezive nu pot fi îmbunătățite prin compactare dinamică prin batere sau vibrație, cele coezive foarte moi sau organice nu pot fi îmbunătățite prin tehnici de coloane necimentate,

(ii) Adâncimea până la care se dezvoltă pământul ce trebuie îmbunătățit este de asemenea un criteriu important, tehnicile de execuție a incluziunilor rigide permițând atingerea unor adâncimi mai mari decât în alte cazuri.

(14) Din punct de vedere al condițiilor de teren, domeniul de aplicare al tehnicii de îmbunătățire cu incluziuni rigide este cel al pământurilor naturale sau antropice coezive, moi și foarte moi, cu grosimi mari.

(15) Limitări:

- (i) limitări care decurg din tehnologiile de execuție ale diferitelor tipuri de incluziuni;
- (ii) platforma de transfer necesită în general material granular de calitate;
- (iii) este necesară prevederea unei platforme de execuție care să asigure stabilitatea necesară pentru echipamentele de execuție;
- (iv) dimensionarea acestui sistem de fundare necesită cunoștințe avansate și o bună înțelegere a mecanismelor de funcționare a acestuia;
- (v) în situațiile în care incluziunile sunt supuse unor solicitări laterale semnificative sunt necesare incluziuni din beton armat (costuri sporite);
- (vi) în situațiile în care există un strat deformabil sub cota inferioară a incluziunilor această soluție nu este recomandată din cauza tasărilor suplimentare ale acestei zone;
- (vii) soluția nu este potrivită pentru fundațiile izolate datorită spațiului limitat;
- (viii) prezența unor lentile de turbă poate pune în pericol integritatea incluziunilor realizate pe loc.

B. Materiale utilizate

(16) Materialele utilizate pentru incluziuni trebuie să respecte prevederile din reglementările tehnice aplicabile fiecăruia în parte, acolo unde acestea există (beton, oțel, lemn).

(17) Pentru incluziunile realizate prin malaxare de adâncime se aplică prevederile prezentei reglementări tehnice capitolul 4.3.6.

(18) Pentru incluziunile realizate prin injectare cu presiune înaltă se aplică prevederile prezentei reglementări tehnice capitolul 4.3.5.

(19) În cazul incluziunilor realizate din beton acestea sunt de regulă din beton simplu, existând posibilitatea de a include o armătură pentru cazul necesității preluării de sarcini laterale,

(20) Pentru platforma de transfer se utilizează de regulă material granular compactat pentru a obține o anumită valoare a modulului de deformare. Se poate utiliza și material mai fin stabilizat cu lianți hidraulici (var, var și ciment), caz în care trebuie evitate dozaje prea mari de ciment pentru a nu obține o platformă rigidă care ar fi fisura.

(21) Atunci când platforma de transfer este armată se pot utiliza armături geosintetice (geogridurile sau geotextile țesute) sau metalice (grile sudate). Armăturile geosintetice trebuie să respecte prevederile standardului SR EN 13251.

(22) Pentru platforma de execuție trebuie utilizate materiale care permit atingerea criteriilor de performanță stabilite fie de reglementări tehnice, fie prin procedurile proprii ale fiecărui antreprenor.

C. Studii și încercări necesare pentru proiectare

(23) Pentru terenul de fundare al viitoarei structuri este necesară elaborarea unui studiu geotehnic în conformitate cu reglementarea tehnică NP 074-2022.

(24) Informațiile și parametrii geotehnici specifici necesari a fi furnizați prin studiul geotehnic pentru terenul de fundare pentru îmbunătățirea terenului cu incluziuni sunt cel puțin următoarele (următorii):

- grosimea stratului compresibil și dispunerea sa în plan pe suprafața zonei de influență a lucrării;
- stratificația pe toate adâncimea zonei de influență;
- nivelul apei subterane și regimul apei subterane;
- granulozitatea și conținutul de particule fine;
- limitele de plasticitate și indicele de consistență pentru pământurile coezive;
- gradul de îndesare a pământurilor granulare;
- conținutul de materii organice;
- greutate volumică și indicele porilor;
- permeabilitate;
- rezistența la forfecare nedrenată și drenată;
- coeficientul lui Poisson;
- caracteristicile de compresibilitate ale stratului compresibil – presiune de preconsolidare, raport de supraconsolidare, indice de compresibilitate, moduli de deformare;
- caracteristicile de consolidare: coeficient de consolidare în direcție verticală, coeficient de consolidare secundară.

(25) Determinarea caracteristicilor geotehnice ale terenului de fundare poate fi realizată prin încercări de laborator pe probe netulburate prelevate din teren și/sau prin încercări pe teren (încercări cu placa, încercări CPT/CPTu, SPT, cu dilatometrul, presiometrul, scizometrul de șantier etc.).

(26) Pentru materialul din care va fi executată platforma de transfer este necesară determinarea cel puțin a următorilor parametri:

- granulozitate, capacitate de îndesare;
- umiditate;
- conținut de materii organice;
- rezistență la sfărâmare a particulelor;
- unghi de frecare internă în stare compactată;
- modul de deformare în stare compactată;
- coeficientul Poisson;
- unghi de dilatanță.

(27) Materialele geosintetice de armare a platformei de transfer trebuie identificate în conformitate cu prevederile standardului SR EN 13251.

E. Proiectare

(28) Lucrările de îmbunătățire a terenului cu incluziuni rigide sau semi-rigide se încadrează în clasa BI sau BII în conformitate cu standardul SR EN 1997-3:2025, în funcție de rezistența la compresiune obținută după îmbunătățire. Incluziunile rigide din beton, oțel sau lemn introduse prin batere, vibrare sau realizate prin forare, coloanele din beton vibro-compactat, coloanele din balast stabilizat cu ciment etc. sunt clasificate în clasa BII. Coloanele realizate prin injecție de fluid de ciment cu presiune înaltă fac parte din clasa BII. Coloanele obținute prin malaxare de adâncime cu lianți hidraulici pe cale uscată sau umedă fac parte din clasa BI sau BII în funcție de rezistența la compresiune obținută.

(29) Proiectarea sistemelor de îmbunătățire cu incluziuni rigide trebuie realizată la stări limită, în conformitate cu prevederile standardului SR EN 1997-1 și 1997-3, prin verificări la stările limită ultime și de serviciu.

(30) Parțial se pot aplica prevederile reglementărilor tehnice pentru fundații directe de suprafață NP 112-2014 și cele pentru fundații pe piloți NP 123-2022.

(31) În cadrul proiectului geotehnic pentru o soluție de îmbunătățire a terenului cu incluziuni rigide pentru o construcție anume (cunoscută) trebuie determinate:

- incluziunile: tip, tehnologie de execuție, material, caracteristici de rezistență și de deformabilitate, prezența eventuală a unui capitel, adâncimea de încastrare în stratul portant;
- geometria rețelei de incluziuni: formă, dimensiunile ochiurilor;
- platforma de transfer: material, grad de compactare.

(32) În cadrul proiectului geotehnic trebuie determinate, pe baza utilizării unui model adecvat de calcul:

- proporția încărcării transmise componentelor sistemului (incluziunilor, platformei de transfer, terenului, armăturilor eventuale din platformă);
- deformațiile fiecărui element al sistemului și tasările rezultate;
- poziția planului neutral al incluziunii, care corespunde punctului în care tasarea incluziunii devine egală cu tasarea terenului.

(33) Modelele de calcul ce pot fi utilizate sunt diverse: simplificate (de regulă pentru încărcări pur verticale), modele 2D, modele 3D, modele numerice, modele analitice etc.

Notă. În Anexa D se găsesc principii generale de calcul pentru incluziunile rigide și indicații asupra modelelor ce pot fi utilizate.

(34) Modelul de calcul ales trebuie să fie reprezentativ pentru situația modelată și să se extindă pe toată adâncimea de teren a zonei active (zona mobilizată sub lucrare).

(35) Reprezentativitatea modelului de calcul utilizat trebuie analizată:

- prin comparare directă cu încercări de probă pe un grup de incluziuni în amplasament sau
- prin calibrare pe cazuri elementare, ca de exemplu:
 - pentru incluziuni, modelul cu o singură incluziune activată și încărcată trebuie să poată furniza o curbă efort – deplasare pentru capul incluziunii comparabilă cu rezultatele unei încărcări de probă pe o incluziune izolată sau, în lipsa acesteia, cu rezultatele aplicării unei legi de mobilizare de tip Frank și Zhao sau altă lege verificată;
 - modelul cu toate incluziunile dezactivate trebuie să furnizeze o valoare a tasării care este comparabilă cu cea obținută prin calcul pentru structura proiectată fundată pe același teren cu valoarea încărcării aferente terenului dintre incluziuni;
- în cazul unui model simplificat relevanța acestuia trebuie verificată în conformitate cu:
 - caracteristicile de forfecare și de deformație ale platformei de transfer;
 - efortul vertical aplicat terenului dintre incluziuni.

(36) Modelul de calcul trebuie să cuprindă toate elementele componente ale sistemului.

(37) Modelele de calcul trebuie validate în conformitate cu prevederile standardului SR EN 1997-1:2024 7.1.

(38) Se pot utiliza și modele experimentale la scară reală (incluziuni de probă izolate sau grupuri, instrumentate) sau modele la scară redusă, centrifugate sau nu, pentru determinarea modului de comportare în situații complexe.

(39) Pentru dimensionare sunt utilizați de regulă parametri precum:

- raportul de acoperire, α , definit ca raportul dintre suprafața capului incluziunii și suprafața ochiului rețelei;
- raportul de reducere al eforturilor, definit ca raportul dintre efortul aplicat pe teren în situația prezenței incluziunilor (partea de încărcare ce revine terenului) și efortul aplicat terenului în varianta fără incluziuni;
- eficacitatea transferului de încărcare, definită ca raportul dintre sarcina aplicată pe capul incluziunii și sarcina totală aferentă ochiului de rețea, la același nivel;
- factorul de reducere a tasărilor, definit ca raportul dintre tasarea terenului ranforsat și tasarea terenului neranforsat (sau inversul său, numit coeficient de îmbunătățire).

(40) Verificările sistemului de îmbunătățire cu incluziuni rigide se fac la stările limită ultime și de serviciu, cele din urmă fiind relevante de regulă.

(41) Pentru lucrările la care incluziunile rigide sunt utilizate doar pentru reducerea tasărilor (capacitatea portantă fiind asigurată fără incluziuni) este permisă verificarea doar la stările limită de serviciu a sistemului de incluziuni rigide.

(42) Verificările la stările limită ultime pot fi realizate prin calcul (cu metoda coeficienților parțiali), pe baza regulilor prescriptive, pe baza încercărilor sau, mai rar, prin metoda observațională, care este mai puțin aplicabilă în acest caz.

(43) Verificările la stări limită pentru sistemele de incluziuni rigide trebuie să ia în considerare interacțiunea dintre:

- structură și platforma de transfer;
- platforma de transfer și terenul îmbunătățit cu incluziunile rigide (blocul de pământ care include și incluziunile) ;
- terenul compresibil și incluziuni (la interfața dintre acestea);
- vârful incluziunii și terenul portant.

(44) Pentru verificarea stărilor limită de serviciu se vor lua în considerare deplasările verticale și orizontale ale sistemului.

(45) Pentru verificarea la stările limită de serviciu trebuie evaluate:

- tasările absolute și diferențiate ale zonei îmbunătățite;
- tasările structurii cauzate de deformațiile zonei îmbunătățite;
- deplasările transversale;
- ridicarea terenului (umflarea).

(46) Pentru verificările stărilor limită de serviciu, în cadrul proiectului de structură al construcției ce va fi edificată pe terenul îmbunătățit trebuie stabilite valorile admisibile ale:

- tasării absolute (maxime și/sau medii);
- tasării diferențiate;
- rotirii și rotirii relative;
- înclinării;
- încovoierii și încovoierii relative.

(47) Pentru starea limită de serviciu se verifică tasările și deplasările față de valorile admisibile.

(48) Suplimentar față de verificarea deplasărilor în raport cu cele admisibile, pentru incluziunile care sunt utilizate și pentru asigurarea capacității portante trebuie verificate la SLS și următoarele:

- la nivelul planului neutru intermediar (planul la care efortul axial din incluziune este maxim), verificarea că efortul maxim de proiectare din incluziune nu depășește valoarea de proiectare a sarcinii critice de fluaj din compresiune a incluziunii supuse la compresiune;
- la nivelul capului incluziunii se verifică ca valoarea medie de proiectare a efortului aplicat pe teren să nu depășească valoarea de proiectare a efortului vertical limită la suprafața terenului în situație cvasi-permanentă de proiectare;
- verificarea ca efortul maxim din incluziuni la SLS să nu depășească valorile limită ale materialului constitutiv al incluziunii.

(49) De asemenea, pentru toate incluziunile trebuie realizate verificările la SLS impuse de standardele și reglementările tehnice specifice pentru materialul din incluziune,

(50) Pentru verificarea la stări limită ultime trebuie avute în vedere:

- cedare internă sau deformație excesivă a elementelor structurale - incluziuni, platformă de transfer, fundație, armături în platforma de transfer);
- cedare în teren sau deformații excesive ale acestuia (implică analiza interacțiunii incluziunii cu terenul din jur, prin frecare și/sau poansonare).

(51) Verificările la Starea Limită Ultimă trebuie să includă, fără a fi limitate la:

- pierderea capacității portante a terenului de sub incluziuni;
- cedarea prin ridicare hidrolică a zonei de teren îmbunătățit;
- cedarea zonei de teren îmbunătățit cauzată de acțiuni transversale;

- flambajul, cedarea prin compresiune, întindere, forțe tăietoare sau încovoiere a incluziunilor;
- cedarea combinată în teren și incluziuni sau zona de teren îmbunătățit;
- instabilitatea la marginea zonei îmbunătățite;
- pierderea capacității portante cauzată de variații ale nivelului hidrostatic;
- limitele structurale ale platformei de transfer.

(52) Rezistența (capacitatea portantă verticală) a fiecărei incluziuni se determină în conformitate cu prevederile din standardul SR EN 1997-1:2024, Articolul 12, folosind metode adaptate tehnologiei specifice de execuție. Trebuie evaluată rezistența la compresiune, încovoiere, forfecare și flambaj.

(53) Rezistența la compresiune monoaxială a incluziunilor se determină în conformitate cu standardul SR EN 1997-3:2025 12.5.4.

(54) Rezistența de proiectare a terenului îmbunătățit cu incluziuni rigide ($R_{sys, d}$) se determină în conformitate cu standardul SR EN 1997-3:2025 12.6.3.

(55) Capacitatea portantă (rezistența) a incluziunilor rigide se determină în conformitate cu reglementarea tehnică NP 123-2022 și standardul SR EN 1997-3:2025 Articolul 6.

(56) În cazul prevederii de capiteli la incluziunile rigide, aceste se verifică în conformitate cu prevederile reglementărilor tehnice aferente materialului din care acestea sunt executate.

(57) Platforma de transfer trebuie verificată la stările limită ultime relevante (capacitate portantă) sub încărcările transmise de incluziuni. Aceste verificări permit fie limitarea eforturilor pe incluziuni pentru o platforma de grosime impusă, fie determinarea grosimii platformei pentru valorile rezultate ale încărcărilor pe incluziuni, în ambele situații pentru o geometrie dată a rețelei și un material dat pentru platforma de transfer.

Notă. În Anexa D se găsesc principii generale de calcul pentru platforma de transfer.

(58) Verificarea la stări limită ultime a platformei de transfer poate fi omisă dacă se poate demonstra că încărcările pot fi redistribuite în cadrul sistemului și că nu se pot produce cedări la marginile platformei.

(59) În cazul în care platforma de transfer este armată, armăturile trebuie verificate față de stările limită de rupere prin tracțiune și smulgere, în conformitate cu prevederile standardului SR EN 1997-3:2025 Articolul 9.

(60) Având în vedere caracteristicile terenurilor care sunt îmbunătățite prin incluziuni rigide este necesar a se determina frecarea negativă pe suprafața laterală a incluziunilor, precum și la periferia zonei îmbunătățite. Calculul forței de frecare negativă trebuie să țină cont de:

- rezistența la forfecare a interfeței dintre incluziuni și terenul din jur;
- deplasarea relativă teren-incluziune;
- greutatea volumică a terenului și eventualele suprasarcini;
- consolidarea în timp a terenului;
- modificări ale nivelului apei subterane.

(61) Verificarea flambajului poate fi omisă dacă:

- diametrul incluziunii este mai mare de 300 mm și
- grosimea stratelor slabe care sunt caracterizate de o coeziune nedrenată $c_u < 15$ kPa este mai mică decât 1.0 m.

(62) În cazul grupurilor de incluziuni, calculul trebuie să considere:

- redistribuirea sarcinilor între incluziuni și teren;
- influența platformei de transfer;
- efecte de interacțiune incluziune-teren și incluziune-incluziune.

(63) La calculul grupurilor de incluziuni se va ține cont de interacțiunea între incluziuni (efectul de grup) atât în calculele de deformații (SLS), cât și de capacități portante (SLU).

F. Specificații tehnice

(64) Pentru incluziuni proiectul trebuie să specifice condițiile tehnice pe care trebuie să le respecte materialele din care acestea sunt constituite, ținând cont și de tehnologia de execuție.

(65) Pentru platforma de transfer proiectul trebuie să includă specificațiile tehnice ale materialului din care aceasta trebuie realizată, gradul de compactare care trebuie atins și/sau caracteristicile mecanice care trebuie obținute după compactare.

(66) Grosimea minimă a platformei de transfer este recomandată a fi 40 cm.

(67) Platforma de transfer se poate realiza din orice material care permite, după compactare, obținerea unghiului de frecare internă minim necesar rezultat din calcule.

(68) Pentru platforma de transfer se pot utiliza aceleași materiale ca pentru straturile de formă utilizate sub pardoseli industriale sau pentru terasamente, în funcție de caz.

(69) Pentru platforma de transfer sunt de regulă adoptate materiale granulare care nu sunt friabile, cu capacitate mare de compactare, fără conținut de argilă ($<2\mu$) și fără elemente grosiere.

(70) Pentru platforma de transfer se pot utiliza și materiale mai fine stabilizate cu diferiți lianți hidraulici, pentru fiecare liant hydraulic respectându-se domeniul de aplicabilitate și cu condiția ca materialul rezultat după stabilizare să continue a fi ductil.

(71) În cazul utilizării de lianți hidraulici proiectul trebuie să conțină specificații tehnice pentru aceștia, precum și dozajul optim rezultat din studiul de rețetă și tehnologia de execuție.

(72) În cazul platformelor armate este necesară utilizarea unui material care să fie compatibil cu armătura intenționată, astfel încât să se poată realiza transferul eforturilor de la platforma către armături în mod optim (a se vedea prevederile GP 093-2006).

(73) Pentru armăturile geosintetice trebuie specificate caracteristicile în conformitate cu standardul SR EN 13251.

4.3.5. *Injectii și injectii cu presiune înaltă*

(1) Prezentul subcapitol se aplică pentru injectarea terenurilor și injectarea cu presiune înaltă a terenurilor (jet-grouting) în conformitate cu prescripțiile standardului SR EN 12715 și, respectiv, a standardului SR EN 12716.

A. Generalități

(2) Principiu:

(i) În domeniul construcțiilor injectarea terenului de fundare face referire la introducerea unor fluide în teren cu ajutorul presiunii, capabile să modifice proprietățile fizico-mecanice ale materialelor din care acesta este alcătuit.

(ii) Injectarea se poate face:

- fără deplasarea terenului (injectii de impregnare), care constă în umplerea golurilor dintre particulele de pământ sau discontinuităților existente cu un fluid, fără rearanjarea particulelor de pământ, cu sau fără presarea și îndesarea pământului din jur. Acestea pot fi:
 - injectii de penetrare
 - injectii de îmbibare: are drept scop umplerea porilor existenți între granulele pământului (porozitate efectivă), fără a le deranja. Această metodă are drept scop reducerea permeabilității, creșterea densității și îmbunătățirea proprietăților mecanice. Metoda se execută de regulă la presiuni și debite reduse, controlate, pentru a evita deplasarea terenului;
 - injectarea fisurilor și injectarea de contact este utilizată cu scopul de a introduce fluidul de injectare în fisurile deschise sau fracturile existente în rocă, fără a crea fisuri noi sau a le deschide mai mult pe cele existente, cu rolul de a reduce permeabilitatea și/sau a crește rezistența terenului;
 - injectii de umplere: pentru a umple goluri mari existente în teren, având origine naturală sau antropică și presupune, de regulă, injectarea unor volume mari de material la presiuni scăzute sau chiar gravitațional. De multe ori această metodă de injectare este asociată cu o metodă de injectare sub-presiune pentru a umple golurile rămase necolmate. În raport cu volumele mari de material injectat, de regulă, pentru acesta se alege o rețetă din care să rezulte proprietăți asemănătoare cu ale terenului adiacent.
- cu deplasarea terenului, care presupune pătrunderea substanței injectate în fisuri formate datorate presiunii de injectare. Acestea pot fi:

- fracturare hidrolică (clacare): procedeul se utilizează de regulă pentru a stabili pământurile sau rocile, de a le etanșa sau pentru a consolida și ridica anumite structuri. Pentru a obține rezultate optime procedeul este aplicat în mai multe etape, la intervale diferite de timp.
 - injectarea solidă: introducerea în teren a unui fluid relativ vâscos, pentru a provoca deplasarea și deformarea acestuia. Fluidul este împins prin presiune prin tuburile de injectare. Consistența fluidului este pregătită astfel încât fluidul rămâne ca o masă omogenă pentru ca nici penetrarea și nici fracturarea hidrolică să nu se producă asupra terenului. În cele mai multe cazuri, injectarea solidă este folosită pentru a compacta și densifica terenurile afânate, precum și pentru a ridica sau susține structuri care s-au tasat.
 - injectarea de compensare este utilizată atunci când obiectivul injectării este de a compensa pierderile de volum ale terenului din cauza rezultatului unor lucrări ingineresti (excavații adânci, tuneluri) sau consolidarea unui teren compresibil, astfel încât pierderea de volum să fie compensată sau redusă. Aceasta se execută în două etape, injectare inițială pentru pregătirea terenului (consolidare inițială) și o injectare secundară care generează deplasarea terenului.
 - injectarea cu presiune înaltă a terenurilor (jet grouting) constă în a dezagrega un pământ sau o rocă friabilă prin intermediul unui jet de fluid și a le amesteca, sau a le înlocui parțial cu un agent de cimentare. Prin acest procedeu rezultă coloane (întregale sau parțiale), panouri, voaluri, radieri sau bolți din pământ – ciment. Tehnologia de injectare cu presiune înaltă a terenurilor se împarte în 3 metode, după cum urmează:
 - jet simplu în care dezagregarea și cimentarea pământului se realizează printr-un jet de înaltă presiune constituit dintr-un singur fluid, de regulă suspensie de ciment;
 - jet dublu în care dezagregarea și cimentarea pământului se realizează printr-un jet de înaltă presiune (constituit de regulă din suspensie de ciment), dublat (înconjurat la exterior) de un jet de aer;
 - jet triplu în care dezagregarea și pământului se realizează printr-un jet de apă de înaltă presiune, dublat de un jet de aer, iar cimentarea se face simultan printr-un jet separat constituit de regulă din suspensie de ciment;
- (3) Scop:
- (i) Principalele obiective ale injectării fără deplasarea terenului sunt:
 - modificarea caracteristicilor hidrolice/hidrogeologice ale terenului;
 - modificarea proprietăților fizico-mecanice ale terenului;
 - umplerea cavităților naturale, a lucrărilor miniere, a golurilor adiacente structurilor;
 - inducerea deplasărilor pentru a compensa pierderile de teren sau pentru a stabili și ridica fundațiile, plăcile și pardoselile.
 - (ii) Principalele obiective ale injectării cu presiune înaltă sunt:
 - execuția de fundații noi;
 - subzidirea fundațiilor existente;
 - execuția de ecrane cu permeabilitate redusă;
 - execuția structurilor de sprijin;
 - consolidarea unui masiv de pământ.
 - (iii) Principalele obiective ale injectărilor solide sunt:
 - creșterea gradului de îndesare;
 - îmbunătățirea caracteristicilor mecanice ale terenului prin compactare și ranforsare prin prezența unor elemente de tip incluziuni semi-rigide sau rigide (în funcție de caracteristicile mortarului utilizat) rezultate prin această tehnică;
 - crearea unor elemente de fundare în cazul subzidirilor.

(iv) Principalele obiective ale injectiilor de compensare sunt reducerea sau inversarea pierderii de volum datorată execuției unor lucrări precum excavații adânci sau tuneluri sau datorată consolidării terenurilor compresibile.

(4) Domeniu de aplicare: Principalele domenii de aplicare sunt îmbunătățirea etanșeității și consolidarea terenurilor:

- lucrări de impermeabilizare: voaluri de etanșare la baraje, radiere injectate, tuneluri;
- lucrări de consolidare: pentru traversarea de zone cu terenuri dificile, reabilitarea zidărilor, a fundațiilor și altor lucrări de construcție, subzidiri, ridicarea construcțiilor, îmbunătățirea capacității portante a terenurilor de fundare a fundațiilor de suprafață, tratamentul masivelor de teren deasupra bolților lucrărilor subterane, injectii în fața frontului în timpul execuției tunelurilor, reducerea potențialului de lichefiere etc.

(5) Limitări:

(i) Îmbunătățirea prin injectii este condiționată de dimensiunea porilor terenului și de sarcina geologică existentă.

(ii) Fiecărei fracțiuni granulometrice îi corespunde unul sau mai multe materiale sau tehnici care sunt adaptate pentru injectie în condiții optime din punct de vedere tehnic și economic. Cu titlu informativ, în Figura 31 sunt prezentate variantele orientative de alegere a metodelor de injectare în funcție de granulozitatea și permeabilitatea pământurilor.

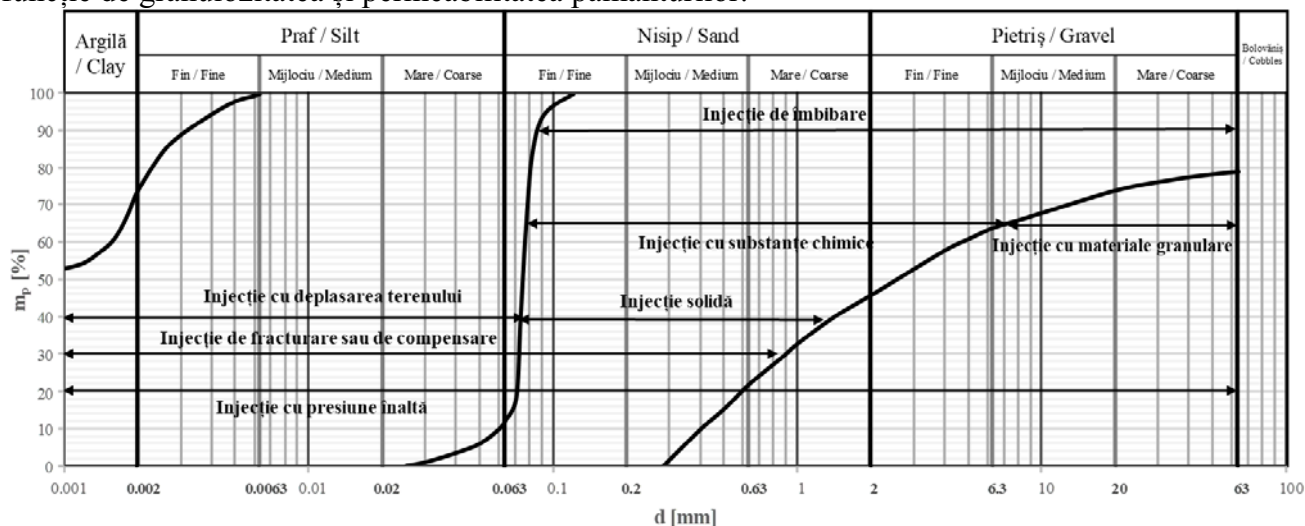


Figura 31. Clasificarea generală a metodelor de injectare și aplicabilitatea lor în funcție de granulozitatea și permeabilitatea pământurilor (FHWA Geotechnical Engineering Circular (GEC) 013 Ground Modification Methods Reference Manual V. 1 and 2 (2017))

(iii) Produsele chimice și organice au aplicabilitate mai redusă datorită restricțiilor de mediu.

(iv) Pentru tehnologia de injectare cu presiune înaltă diametrul rezultat al coloanelor formate variază în funcție de tehnologia de execuție (jet simplu, dublu sau triplu) și de caracteristicile terenului.

(v) Limitele tehnicii de injectie cu presiune înaltă sunt date de gestiunea detritusului rezultat, necesitatea de a avea spațiu pentru realizarea de tranșei sau rezervoare de recuperare și de preparare a fluidului de injectie, precum și de riscul de infiltrație în zonele vecine.

(vi) Injectiile solide se execută în terenuri granulare deasupra sau sub nivelul apei subterane, dar pot fi aplicate și pentru compactarea pământurilor colapsibile, precum loessul, în argile și prafuri moi nesaturate.

(vii) Pentru a putea aplica injectiile solide este necesar ca terenul să nu fie foarte compact (valori ale rezistenței pe con în încercarea CPT de maximum 8 MPa pentru un nisip și de maximum 2 MPa pentru un praf).

(viii) În cazul injectiilor solide, dacă presiunea de injectie este mare este necesară o coloană minimă de pământ deasupra zonei de injectie (de regulă 4 - 5 m) pentru a se opune presiunii de

injecție. În cazul terenurilor foarte afânate poate fi necesară tratarea prealabilă a zonei de pământ de deasupra prin alte metode (de exemplu, prin compactare dinamică).

B. Materiale utilizate

(6) Tipul și compoziția fluidului de injectare trebuie să fie alese în funcție de stratificația terenului și de specificul lucrărilor.

(7) Fluidele de injecție pot fi grupate în două categorii:

- fluide de injecție pe bază de lianți hidraulici în suspensie și
- fluide de injecție pe bază de substanțe chimice în soluție.

(8) Pentru injecțiile solide de umplere a golurilor de mari dimensiuni pot fi utilizate și mortare de ciment.

(9) Aplicabilitatea diferitelor materiale de injecție pentru diferite terenuri și tipuri de injecții este indicată în standardul SR EN 12715.

(10) Parametrii caracteristici ai fiecărui tip de material sunt indicați în standardul SR EN 12715.

(11) Fluidele de injecție pe bază de lianți hidraulici în suspensie:

- (i) conțin unul sau mai multe produse solide dispersate în apă (ciment, argile, aditivi etc.)
- (ii) se caracterizează prin raportul A/C (apă/ciment) sau prin raportul dintre masa uscată și masa apei.

(iii) domeniul de aplicabilitate este ilustrat în Figura 32.

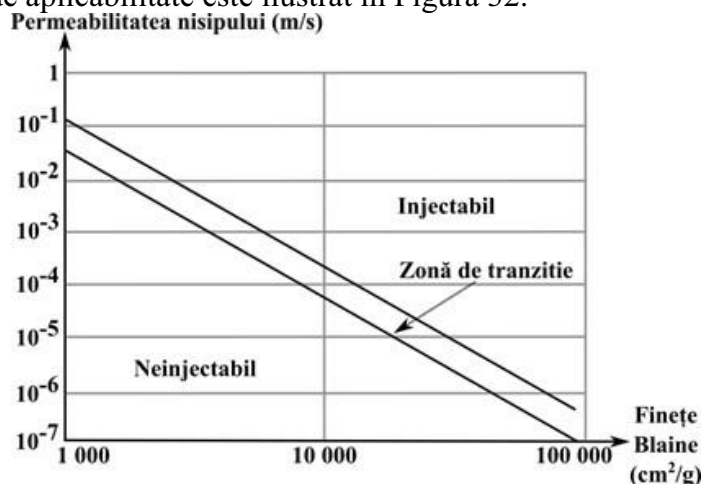


Figura 32. Domeniul de injectabilitate al fluidelor pe bază de lianți hidraulici în suspensie (Briancon et al., 2018)

(iv) Pot fi:

- suspensii bentonită - ciment,
- suspensii de ciment sau lianți hidraulici ultrafini și aditivi.

(12) Fluidele de injecție pe bază de substanțe chimice în soluție pot fi:

- geluri și suspensii de siliciu, care conțin reactivi pentru gelificare minerali sau organici. Pentru caracterizarea acestora se utilizează raportul dintre volumul de apă și cel de silicat și raportul dintre masa reactivului și volumul de silicat. Cele două rapoarte arată durabilitatea și rezistența;
- fluide pe bază de rășini sau alte substanțe chimice: rășini fenolice, aminoplaste sau furanice sau rășini poliuretanice (geluri, spume, solide, sisteme reactive la apă sau sisteme bi-component).

(13) Pentru injecția cu presiune înaltă de regulă se utilizează fluide (suspensii) de apă și ciment, cu raportul apă/ciment între 0,5 și 1,5. Se pot adăuga aditivi reducători de apă, stabilizatori, plastifianți, adaosuri de etanșizare sau împotriva spălării. Alte materiale, precum bentonita, filerul, cenușa de termocentrală pot fi adăugate amestecului de injectare. Când în amestec se utilizează bentonită se recomandă ca suspensia de apă și bentonită să fie preparată înainte de a se adăuga cimentul.

(14) În cazul injecțiilor solide se utilizează mortare a căror compoziție variază în funcție de scopul acestora, dar care trebuie să:

- aibă o consistență solidă cu o lucrabilitate măsurată cu conul Abrams < 10 ;
- să poată fi pompat;
- să nu producă clacarea (fracturarea hidraulică) a terenului;
- să nu blocheze prea devreme expansiunea coloanei formate;
- să aibă o filtrare redusă.

(15) Mortarele pentru injecții solide sunt constituite din nisip (0 - 2 mm sau 0 - 4 mm), de preferință rulat, la care se adaugă, după necesități, parte fină, ciment sau filere de calcar, cenuși zburătoare etc., posibil o doză redusă de bentonită (1 - 2 kg/m³ de mortar) pentru a îmbunătăți capacitatea de a fi pompat și/sau alți aditivi (întăzietori de priză, plastifianți etc.).

(16) Pentru toate materialele de injecție trebuie analizată durabilitatea lor în timp.

(17) Tabelul 2 este realizată o prezentare generală a tehnicilor de injectare în pământuri și roci.

Tabelul 2. Prezentare generală a tehnicilor de injectare în pământuri și roci (Stadler, 2012⁹)

	Pamanturi							Roci					
Tip	fin			grosier			Tip	fisurare difuza			fisuri discrete (fracturi)		
Mod de injectie					tija de foraj & lanci		Porturi	colapsibil/instabil		roca stabila		instabila	
	tevi perforate					Sistem		tub cu mansete si pachere multiple					
	tuburi cu mansete							pacher simplu/dublu					
	tuburi deschise								injectare in etape		injectare de jos in sus		etapa
Sistem	injectiile cu deplasare			injectiile cu penetrare				injectare fractura/ (fisura)		injectare de penetrare			
Fluide de injectie	silicat/acrilat						Fluide de injectie	acrilat/epoxy					
		liant extrafin							liant extrafin				
			bentonita/ciment						ciment portland normal				
Kf initial	10E-6	10E-5	10E-4	10E-3	10E-2	>>10E-1	Initial Lugeoni	1	5	10	25	50	>>100

C. Studii și încercări necesare pentru proiectare

(18) Pentru terenul de fundare al viitoareii structuri este necesară elaborarea unui studiu geotehnic în conformitate cu reglementarea tehnică NP 074-2022.

(19) Informațiile și parametrii geotehnici specifici necesari a fi furnizați prin studiul geotehnic pentru terenul de fundare pentru îmbunătățirea terenului prin injecții sunt cel puțin următoarele (următorii):

- restricții potențiale pentru execuția lucrărilor de injecție;
- prezența construcțiilor învecinate;
- restricții de mediu;
- condiții geologice;
- stratificație și descriere detaliată a unităților geotehnice;
- compoziție granulometrică, coeficient de neuniformitate;
- investigații hidrogeologice: identificarea acviferelor, determinarea nivelurilor piezometrice ale acestora, direcție de curgere și gradient hidraulic, conductivitate hidraulică orizontală, analiză chimică a apei subterane;
- impactul lucrărilor de injecție asupra condițiilor hidrogeologice;
- determinări pe teren (CPT, CPTu, SPT etc.).

(20) În funcție de granulozitatea terenului care trebuie îmbunătățit este posibil să fie necesare studii de injectabilitate pentru a verifica fezabilitatea acestei soluții.

D. Proiectare

(21) Lucrările de îmbunătățire a terenului prin injecții sunt clasificate în clasa AI (injecțiile solide) sau AII (injecțiile de îmbibare, injecțiile de umplere, injecțiile cu presiune înaltă), în conformitate cu standardul SR EN 1997-3:2025.

⁹ Stadler G., Krenn H. (2012) Ground Improvement, CRC Press.

(22) Proiectarea lucrărilor de îmbunătățire a terenului prin injecții trebuie să respecte prevederile standardelor SR EN 1997-1:2024 și SR EN 1997-3:2025.

(23) Pentru proiectare trebuie definite clar următoarele:

- (i) obiectivele îmbunătățirii;
- (ii) criteriile aplicabile îmbunătățirii;
- (iii) metodele de control;
- (iv) criteriile de recepție;
- (v) modul de gestionare al impactului asupra mediului.

D.1. Lucrări de injectare fără deplasarea terenului

(24) Se recomandă ca proiectarea să fie bazată pe rezultate obținute în poligoane experimentale pentru stabilirea soluțiilor pentru fluidul de injecție și a parametrilor de injecție.

(25) Aplicabilitatea fiecărui tip de fluid de injecție poate fi găsită în standardul SR EN 12715 Anexa B.

(26) Pentru evaluarea injectabilității terenului prin injecții fără deplasarea terenului se utilizează factorul de injectabilitate, N pentru care se utilizează următoarele criterii (Tabelul 3):

Tabelul 3. Criterii pentru evaluarea factorului de injectabilitate (Mitchell, 1993¹⁰)

Tip teren	Factor de injectabilitate	Injectabil	Neinjectabil
Pământ	$N_1 = \frac{D_{15,pământ}}{d_{85,fluid}}$	>24	<11
	$N_2 = \frac{D_{10,pământ}}{d_{95,fluid}}$	>11	<6
Rocă	$N_3 = \frac{e}{d_{95,fluid}}$	>5	<2

Legendă:

$D_{15,pământ}$ este diametrul corespunzător la 15% pe curba granulometrică a pământului de îmbunătățit,

$D_{10,pământ}$ este diametrul corespunzător la 10% pe curba granulometrică a pământului de îmbunătățit,

$d_{85,fluid}$ este dimensiunea maximă a particulelor din fracțiunea fină corespunzătoare la 85% din fluidul de injecție,

$d_{95,fluid}$ este dimensiunea maximă a particulelor din fracțiunea fină corespunzătoare la 95% din fluidul de injecție,

e este deschiderea fisurilor/fracturilor rocii.

(27) Pentru injecțiile fără deplasarea terenului în proiect trebuie precizate valorile medii și intervalele de valori pentru următorii parametri ai fluidului de injecție:

- densitatea, viscozitatea și coeziunea;
- rezistența la forfecare și la compresie;
- dimensiunile particulelor de lianți;
- capacitatea de reținere a apei;
- pentru gelurile de silicat, gradul de neutralizare;
- viteza de sedimentare.

(28) Metodele și condițiile pentru determinarea parametrilor fluidelor de injecție pentru injecțiile fără deplasarea terenului sunt prezentate în standardul SR EN 12715.

(29) Punctele de injectare pentru injecțiile fără deplasarea terenului se stabilesc în nodurile unei rețele definite în funcție de:

- volumul de teren de tratat;
- limitările geometrice;
- raza de acțiune a injecției;
- tipul de structură;

¹⁰ Mitchell, J.K. (1993) Fundamentals of soil behaviour, Wiley.

- condițiile geotehnice, geologice, hidrogeologice din teren;
- obiectivele îmbunătățirii;
- tipul de fluid utilizat.

(30) Se pot utiliza următoarele recomandări orientative pentru stabilirea rețelei de puncte de injecție pentru injecții fără deplasarea terenului:

- lucrări de injecție de tip voal în terenuri aluvionare: 2 - 3 linii, cu distanțe între foraje de 1 - 3 m;
- lucrări de injecție în masiv de teren aluvionar: ochiuri de la 1 x 1 m până la 3 x 3 m;
- lucrări de injecție pentru radier în terenuri aluvionare: ochiuri de la 1,5 x 1,5 m până la 7 x 7 m;
- lucrări de injecție cu adâncime < 25 m:
 - nisip fin: ochiuri de la 0.8 x 0.8 m până la 1,3 x 1,3 m,
 - nisip și pietriș: ochiuri de la 1 x 1 m până la 2 x 2 m,
 - pietriș: ochiuri de la 2 x 2 m până la 4 x 4 m.

(31) Raza de acțiune a fluidelor pe bază de lianți hidraulici depinde de:

- natura și caracteristicile terenului (porozitate și permeabilitate pentru terenurile granulare);
- presiunea de injecție admisibilă;
- volumul de injecții;
- deviația forajelor.

(32) Pentru injecțiile cu fluide pe bază de lianți hidraulici se pot utiliza, cu titlu orientativ, valorile din

(33) Tabelul 4 pentru distanța dintre foraje.

Tabelul 4. Valori orientative pentru distanța dintre foraje (Briancon et al., 2018)

Tip de pământ	Coeeficient de permeabilitate [m/s]	Distanță [m]
Bolovăniș	10^{-2}	2,5 – 3,5
Nisip cu pietriș	$10^{-2} - 10^{-3}$	1,5 – 1,7
Nisip mijlociu	$10^{-3} - 10^{-4}$	1,2 – 1,5
Nisip fin	$10^{-4} - 10^{-5}$	1 – 1,2
Nisip prăfos	10^{-5*}	0,8 - 1
* 10^{-5} m/s este limita de injectabilitate		

(34) Forajele de injecție pot fi dispuse subvertical (atunci când injecția se realizează de la suprafața terenului), radial (când injecția se realizează de la adâncime dintr-o structură existentă sau o galerie de injecție) sau suborizontal (atunci când injecția se realizează din frontul de lucru al unei galerii sau tunel, pe măsura avansării).

(35) Pentru rețeaua de puncte de injecție se pot utiliza dispuneri triunghiulare sau pătrate.

(36) Pentru injecțiile fără deplasarea terenului trebuie stabilită în cadrul proiectului o strategie de injectare (a se vedea standardul SR EN 12715):

- numărul fazelor de injectare,
- numărul de pași pentru fiecare fază – pas unic, pași multipli
- direcția pașilor – ascendentă, descendentă
- tipul de foraj și echiparea sa.

(37) Proiectul trebuie să stabilească parametrii de injecție: debit, presiune, volum, lungimea pasului.

(38) Volumul de injecție poate fi determinat pe baza porozității, n a terenului, a rețelei de puncte de injecție și a lungimii pazei, ținând cont și de pierderi (un coeficient în general de 1,20 – 1,40).

(39) Debitul de injecție depinde de tipul de pământ (permeabilitate), de adâncimea de injecție, de fazele injecției și de tipul de fluid de injecție, în special de caracteristicile de stabilitate ale acestuia (sedimentare) și cele reologice.

(40) Pentru a limita riscul de fracturare hidraulică la injecțiile fără deplasare de teren, debitul de injecție trebuie să respecte condiția următoare:

$$Q_{lim} \leq \frac{2\pi k l \eta_w}{D_c \eta_c \ln\left(\frac{R}{r}\right)} \gamma h (1 + \sin \phi) \nu \quad (15)$$

unde:

Q_{lim} – este debitul limită [m^3/s]

D_c – greutatea volumică a fluidului de injecție [kN/m^3]

η_c – viscozitatea cinematică a fluidului de injecție [$mPa.s$]

k – coeficientul de permeabilitate al terenului [m/s]

η_w – viscozitatea cinematică a apei [$mPa.s$]

L – grosimea stratului de îmbunătățit [m] (de obicei luat egal cu 0,33 m)

R – raza de acțiune conform Dupuit [m]

r – raza forajului [m] (de regulă 0.05 m)

γ – greutatea volumică a terenului deasupra zonei tratate [kN/m^3]

h – înălțimea coloanei de pământ deasupra zonei tratate [m]

ϕ – unghiul de frecare internă al terenului

ν – coeficientul Poisson al terenului.

(41) Presiunea de injecție depinde de tipul de injecție, de adâncime, de caracteristicile fluidului de injecție, de debitul de injecție.

(42) Proiectul trebuie să definească criteriile de oprire a injectării, respectiv:

- un volum predefinit de fluid injectat;
- o presiune maximă de injecție;
- un debit minim de injecție;
- reveniri – reluarea injecțiilor după priza fluidului de injecție;
- ridicări ale terenului.

(43) Proiectul trebuie să precizeze tipul de fluid de injecție și rețeta sa (dozajul componentelor).

D.2. Injecții cu presiune înaltă

(44) Proiectul lucrărilor de injecție cu presiune înaltă trebuie să precizeze clar scopul acestora, iar geometria elementelor sau structurilor de pământ – ciment rezultate să fie adecvate acestui scop.

(45) Când nu există experiență comparabilă este recomandată realizarea de poligoane experimentale preliminare în amplasament, prin execuția cel puțin a câte unui element de pământ – ciment pentru un procedeu de lucru. Poligoanele experimentale preliminare permit alegerea procedurii de execuție și a parametrilor de injecție cei mai potriviți și verificarea atingerii obiectivelor stabile.

(46) Pe elementele și structurile de pământ – ciment realizate pe poligoanele experimentale preliminare se pot face observații și determinări ale geometriei și ale caracteristicilor mecanice, fie prin prelevări de probe, fie prin determinări indirecte.

(47) Caracteristicile geometrice și mecanice ale lucrărilor realizate prin injectare cu presiune înaltă variază foarte mult în funcție de:

- tehnica utilizată;
- tipul de teren;
- diametrul rezultat al coloanelor;
- dispunerea coloanelor;

- rezistența la compresiune și tracțiune, precum și modulul de deformare;
- tipul de aplicație.

De aceea nu există metode unice de dimensionare.

(48) În etapele preliminare de proiectare, pentru evaluarea diametrului mediu al coloanei pământ - ciment rezultate se poate utiliza formula următoare:

$$D_{mediu} = 1.128 \sqrt{p V_g \lambda_E} \quad (16)$$

unde:

p este presiunea [MPa],

V_g este volumul de fluid injectat [m^3/m],

λ_E este eficiența energetică [m^3/MJ].

(49) Presiunea de injecție variază în funcție de procedeul de execuție: 30 - 50 MPa pentru procedeele cu jet simplu sau dublu cu aer, putând însă să fie utilizate și presiuni mai mici, de cca 10 MPa pentru a obține diametre mici sau putând fi atinse și presiuni superioare, de cca 70 MPa. Pentru procedeul cu jet triplu presiunea de injecție trebuie să fie mai mare de 2 MPa.

(50) Valori orientative ale parametrilor de injecție pentru diferitele procedee pot fi găsite în Anexa B a standardului SR EN 12716.

(51) În situația în care nu există date experimentale, diametrul mediu al coloanei pământ - ciment rezultată, D_{mediu} determinat anterior se poate reduce cu un factor, γ_D , în conformitate cu Tabelul 5 de mai jos:

Tabelul 5. Valori recomandate pentru factorul de reducere γ_D (Croce, 2014¹¹)

Aplicație	Informații experimentale disponibile	Valori γ_D		
		Neomogenitate scăzută a terenului	Neomogenitate medie a terenului	Neomogenitate mare a terenului
Coloane izolate, structuri subțiri	Nivel scăzut	1,10	1,15	1,25
	Nivel bun	1,00	1,05	1,10
Masive îmbunătățite	Nivel scăzut	1,05	1,1	1,20
	Nivel bun	1,00	1,00	1,05

(52) Diametrele posibile în funcție de tehnologia aplicată sunt prezentate în Tabelul 6.

Tabelul 6. Valori uzuale ale diametrelor coloanelor obținute prin injecție cu presiune înaltă (Croce, 2014)

Tehnologie	Diametrul mediu al coloanelor (m)			
	Argilă plastic vârtosă	Argilă și praf moale	Nisip prăfos	Nisip și/sau pietriș
Jet simplu	nerecomandat	0,4 – 0,8	0,6 – 1,0	0,6 – 1,2
Jet dublu	0,5 – 1,0	0,6 – 1,3	1,0 – 2,0	1,2 – 2,5
Jet triplu	0,8 – 1,5	1,0 – 1,8	1,2 – 2,5	1,5 – 3,0

(53) Proiectul trebuie să precizeze dimensiunile minime și maxime ale elementelor și structurilor de pământ – ciment care trebuie obținute, precum și toleranțele corespunzătoare.

¹¹ Croce, P., Flora, A., Modoni, G. (2014) Jet grouting. Technology, design and control, CRC Press Taylor and Francis Group, Boca Raton.

(54) Proiectul trebuie să stabilească limitele admisibile ale deplasărilor și deformațiilor structurii (tasării, ridicării, distorsiunii).

(55) Rezistența la compresiune monoaxială a elementelor sau structurilor de pământ – ciment trebuie determinată în conformitate cu prevederile standardului SR EN 1997-3:2025 12.5.4.

(56) Coloanele de pământ – ciment pot fi armate cu bare, tuburi sau profile instalate în timpul execuției sau după aceasta.

(57) În cazul în care elementele sau structurile rezultate după injecția cu presiune înaltă trebuie să răspundă unor criterii de impermeabilizare, principalul parametru de dimensionare este coeficientul de permeabilitate, k . Valorile care pot fi obținute variază între 10^{-8} și 10^{-9} m/s. Pentru calculul debitului este prudentă adoptarea unei valori de 10^{-7} m/s.

(58) Proiectul trebuie să țină cont de eforturile care vor fi preluate de elementele și structurile de pământ – ciment, precum și de efectul variabilității terenului asupra rezistenței acestora.

(59) În funcție de aplicație, proiectarea structurii respective (structură de sprijin, subzidiri ale fundațiilor etc.) se realizează în conformitate cu prevederile specifice ale reglementărilor tehnice aplicabile, ținând cont de caracteristicile îmbunătățite ale terenului.

D.3. Injecții solide

(60) Proiectul trebuie să determine parametrii legați de rețeaua de puncte de injecție, presiunea de injecție, debitul de injecție și raportul de încorporare.

(61) Rețeaua de puncte de injecție poate fi triunghiulară sau pătrată și se stabilește în funcție de tipul de îmbunătățire (localizat sau în masă) și de raza de influență (distanța față de axa forajului la care se obține o îmbunătățire semnificativă a gradului de îndesare).

(62) În Tabelul 7 sunt prezentate valori orientative ale razei de influență pentru diferite tipuri de pământuri.

Tabelul 7. Valori orientative ale razei de influență pentru injecția solidă în diferite tipuri de pământuri (Briancon et al., 2018)

Tip de pământ	Rază de influență [m]
Argile	0,2 – 0,3
Prafuri	0,5 – 1,0
Nisipuri sau pietrișuri	1,0 – 1,5

(63) Suprafața ochiurilor rețelei de puncte de injecție variază de la un proiect la altul, în funcție de teren și de structură și trebuie determinată pentru fiecare proiect în parte. Orientativ sunt prezentate câteva exemple în Tabelul 8.

Tabelul 8. Exemple de suprafețe ale ochiurilor rețelei de puncte de injecție și de valori ale raportului de încorporare (Briancon et al., 2018)

Tip de teren	Tip de lucrare	Suprafața ochiurilor rețelei [m ²]		Raport de încorporare [%]	
		Plajă de valori	Valoare medie	Plajă de valori	Valoare medie
Zone carstice, subsidențe	Tuneluri	4 - 9	6,75	4 - 14	8,5
	Clădiri, poduri	4 – 6,25	4,65	6 - 12	
Nisipuri sau umpluturi nisipoase	Diverse	4 - 9	-	3,8 – 6,3	4
	Îmbunătățire sub clădiri	6 - 9	-	2,4 – 4,4	
	Clădiri	4 - 6	-	1,4 - 8	4,3

Umpluturi marnoase sau diverse	Tuneluri, drumuri etc.	6 - 9	-	1,9 – 8,1	5,5
Prafuri nisipoase sau umpluturi prăfoase	Clădiri	4 – 9	-	5,1 – 7,5	6
	Îmbunătățire globală a terenului	12 - 20	-	3,7 – 6,7	4,8
	Altele	3,5 - 9	-	4,3-4,8	-
Umpluturi din cretă	Drumuri, autostrăzi	6 – 9	-	3,2 – 8,8	5,5
Terenuri marnoase sau argiloase	Umplerea golurilor	4 - 9	-	1,3 – 3,9	2,3

(64) În ochiurile rețelei se dispun foraje în una, două sau trei etape de execuție (primare, secundare, terțiare).

(65) Presiunea de injecție depinde de adâncimea de injecție și de regulă este mărită cu cca 0.1 MPa pentru fiecare metru.

(66) Debitul de injecție poate fi:

- scăzut - 1 - 2 m³/h (pentru adâncime redusă sau dacă există structuri în vecinătate);
- mediu - 2 - 3 m³/h;
- ridicat - 3 - 4 m³/h.

(67) Raportul de încorporare, T_{inc} este definit ca raportul dintre volumul de mortar încorporat, V_i și volumul de pământ tratat, V_t :

$$T_{inc} = \frac{V_i}{V_t} \quad (17)$$

(68) Raportul de încorporare poate fi exprimat și în funcție de indicele porilor terenului înainte de îmbunătățire (e_0) și după aceasta (e_f):

$$e_f = \frac{V_{v0} - V_i}{V_s + V_i} \quad (18)$$

unde:

V_{v0} este volumul de goluri inițial al terenului,

V_s este volumul scheletului solid al terenului,

V_i este volumul mortarului injectat.

$$T_{inc} = \frac{V_i}{V_s + V_{v0}} = \frac{e_0 - e_f}{(1 + e_0)(1 + e_f)} \quad (19)$$

(69) Valori orientative pentru raportul de încorporare pe baza unor exemple de lucrări sunt prezentate în Tabelul 7 de mai sus.

E. Specificații tehnice

(70) Pentru lucrările de injecții proiectul tehnic trebuie să includă parametrii de injecție necesari pentru obținerea obiectivelor stabilite.

4.3.6. Malaxare de adâncime

(1) Acest paragraf tratează metodele de malaxare în adâncime, cele de suprafață fiind tratate în Partea a II-a a prezentei reglementări tehnice.

A. Generalități

(2) Principiu: Malaxarea terenului din loc în adâncime (adâncime minimă 2 m) cu lianți hidraulici pentru a forma un nou material. Această tehnică permite realizarea de incluziuni semi-

rigide, de ecrane cu permeabilitate redusă, de ziduri sau pereți de sprijin sau de coloane, precum și stabilizarea unei mase de pământ.

(i) Încorporarea lianților se poate face pe cale uscată (lianți sub formă de pudră) sau pe cale umedă (lianți sub formă de fluid).

(ii) Malaxarea poate fi mecanică sau hidraulică sau mecanică și hidraulică.

Notă: Malaxarea pe cale hidraulică (injectarea cu presiune înaltă) este tratată în paragraful 4.3.5.

(iii) Injecția de liant se poate face la extremitatea utilajului de malaxare sau de-a lungul acestuia.

(iv) Utilajul de malaxare poate avea pale rotative pe un singur ax vertical sau pe mai multe sau pe un ax orizontal, poate malaxa într-o tranșee sau poate utiliza cuțite rotative. Utilajele cu axe rotative verticale permit crearea de coloane de teren malaxat cu lianți. Utilajele care sunt asistate de un jet hidraulic permit mărirea diametrului coloanei rezultate. Utilajele cu ax orizontal permit realizarea de panouri. Pentru realizarea de zone liniare de îmbunătățire sunt aplicabile tehnologiile în tranșee. În Anexa A a standardului SR EN 14679 se poate consulta o clasificare generală a echipamentelor utilizate pentru malaxarea în adâncime.

(v) Malaxarea pe cale uscată se realizează prin utilizarea unui echipament de malaxare atașat unei tije, care este introdus în teren pentru a forfecă pământul și a-l pregăti pentru malaxare. Când este atinsă adâncimea dorită, tija se retrage și, în același timp, liantul sub formă granulară sau pulverulentă este introdus pe cale pneumatică la baza utilajului de malaxare. Palele utilajului se rotesc în plan orizontal și amestecă liantul cu pământul (Figura 33).

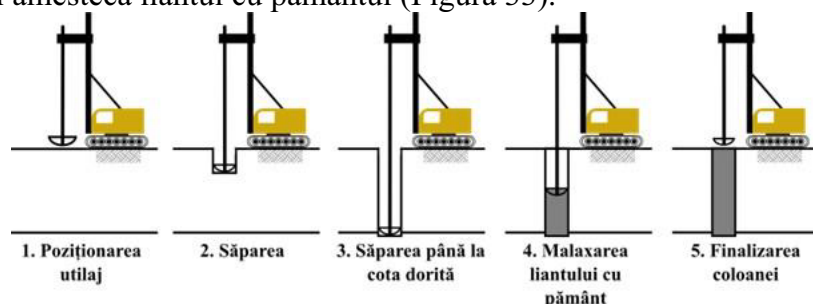


Figura 33. Etapele de execuție a coloanelor malaxate în adâncime pe cale uscată (Briancon et al., 2018)

(vi) O variantă a malaxării pe cale uscată este stabilizarea în masă, care presupune malaxarea pământului din loc (argilă, turbă, măr, sedimente dragate sau pământ contaminat) cu liant hidraulic în stare pulverulentă cu ajutorul unui echipament de malaxare atașat unui excavator (Figura 34). Se obține o masă de pământ malaxat pe o suprafață mare.



Figura 34. Tehnica de stabilizare în masă pe cale uscată (Briancon et al., 2018)

(vii) Malaxarea pe cale umedă se realizează urmând aceleași etape ca la (ii), dar după atingerea adâncimii dorite se introduce liantul sub formă de suspensie (Figura 35). Suspensia este preparată pe amplasament și este pompată până la utilajul de malaxare, care poate avea una sau mai multe duze de injecție. În funcție de tipul de pământ și de suspensia utilizată, se creează un amestec asemănător mortarului, care se întărește în timpul procesului de hidratare. În Europa, execuția coloanelor prin metoda umedă de malaxare în adâncime se realizează cu ajutorul burghiului/burghiurilor elicoidale (continue sau din secțiuni, simple sau multiple), sau cu ajutorul unor lame/cuțite.

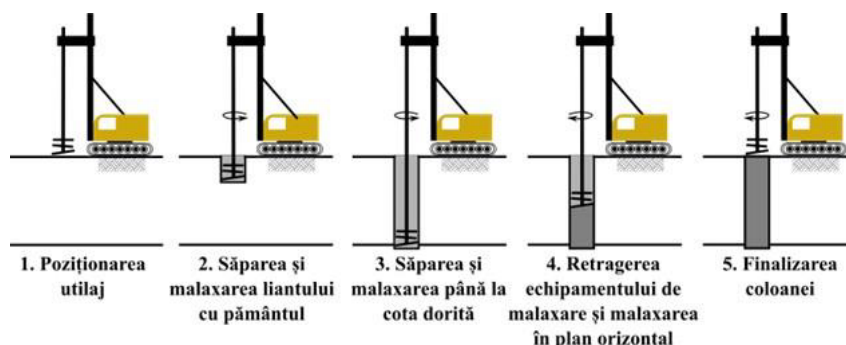


Figura 35. Etapele de execuție a coloanelor malaxate în adâncime pe cale umedă (Briancon et al., 2018)

(viii) Există și alte tehnici care utilizează proceduri asemănătoare malaxării în adâncime. Aceste metode, denumite metode hibride, sunt într-o continuă dezvoltare pentru a aborda condiții geotehnice complexe. Ele combină malaxarea hidraulică cu jet și cea mecanică (a se vedea Anexa A SR EN 14679).

(ix) În urma aplicării malaxării în adâncime rezultă geometrii variate: coloane dispuse tangent într-un șir, coloane dispuse în nodurile unei rețele triunghiulare sau pătrate, coloane secante care formează diferite forme geometrice, panouri, barete, rețele tridimensionale, forme inelare etc. (a se vedea Anexa A a standardului SR EN 14679).

(3) Scop: Crearea unui noi material format prin amestecul pământului din loc cu lianți hidraulici, pentru a spori caracteristicile mecanice și a modifica permeabilitatea terenului.

(4) Domeniu de aplicare:

(i) Îmbunătățirea prin malaxarea de adâncime poate fi utilizată pentru o varietate de aplicații:

- fundații pentru rambleuri și diguri, clădiri, rezervoare, culei de pod etc.
- ziduri de sprijin;
- ecrane de etanșare pentru baraje și diguri;
- zonele de intrare și ieșire ale tunelurilor;
- radieră injectate din coloane sau barete secante;
- subzidiri;
- susținerea excavațiilor;
- stabilizarea pantelor;
- reducerea potențialului de lichefiere;
- tratarea in situ a terenurilor contaminate;
- izolarea terenurilor contaminate;
- tratarea deșeurilor;
- îmbunătățirea terenurilor de fundare ale structurilor marine, off-shore.

(ii) Structurile rezultate în urma aplicării malaxării în adâncime pot avea rol temporar sau permanent. În Figura 36 este prezentată o schemă a domeniilor de aplicare cu rol temporar sau permanent.

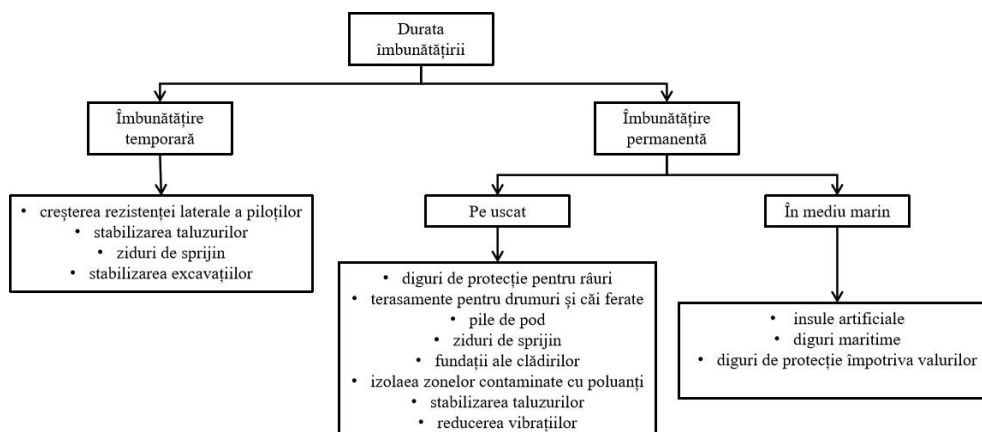


Figura 36. Domenii de aplicare a tehnologiei de malaxare în adâncime (adaptare după SR EN 14679)

(iii) Tehnica de malaxare în adâncime se aplică tuturor tipurilor de pământuri, granulare, coezive, organice, poluate.

(iv) Tehnica de malaxare în adâncime nu produce detritus sau cantitățile produse pe cale umedă sunt relativ reduse (cresc cu impermeabilitatea terenului), de aceea poate fi adaptată acolo unde este necesară limitarea impactului asupra mediului.

(v) Tehnica de malaxare în adâncime nu produce vibrații, de aceea este adaptată și mediului urban construit.

(5) Limite:

(i) pământul care urmează a fi îmbunătățit nu trebuie să fie foarte compact sau îndesat și nici să aibă elemente de dimensiunea blocurilor;

(ii) tehnica este dificil de aplicat dacă stratul de pământ de îmbunătățit este afânat sau moale și este dispus între straturi bune care nu necesită îmbunătățire;

(iii) pentru execuția acestui procedeu este necesară o platformă de lucru cu portanță suficientă pentru a suporta utilajele;

(iv) pentru pământuri impermeabile tehnica malaxării pe cale umedă produce cantități mai importante de detritus, deși mai mici ca pentru alte tehnici de îmbunătățire;

(v) procedeul nu permite execuția în contact cu o structură existentă;

(vi) materialul rezultat după malaxare nu este foarte omogen, prezentând noduli de material nemalaxat, al căror procent depinde nu doar de tehnica de malaxare, ci și de tipul de pământ (procentul este mult mai mare în argile decât în prafuri sau nisipuri, pentru care acesta e cel mai scăzut);

(vii) adâncimea maximă depinde mult de procedeu și de utilaj:

- în cazul malaxării în masă adâncimea maximă este de cca 8 m;
- pentru coloanele malaxate în adâncime adâncimea maximă este de 40 m;
- tehnicile de malaxare în tranșee pot ajunge la adâncimi maxime de 80 m.

(viii) Limitele diferitelor tehnici, procedee și utilaje sunt prezentate în Anexa A a standardului SR EN 14679.

B. Materiale utilizate

(6) Malaxarea în adâncime presupune adăugarea mecanică a unui liant în teren și, în cazul în care este necesar, a unuia sau mai multora dintre următoarele componente:

- aditivi - materiale care produc reacții chimice, precum: var, ciment, gips, cenușă de furnal etc.;
- apă;
- filere - care nu produc reacții chimice, precum: nisip, praf de calcar, etc;
- armătură structurală – se pot introduce bare de oțel, carcase metalice sau profile metalice în coloanele sau elementele realizate proaspăt, pe loc, prin vibrație.

(7) Lianții hidraulici utilizați sunt: var, ciment, zgură de furnal, cenuși zburătoare, lianți puzzolanici, gips etc.

(8) Tipul de liant utilizat trebuie determinat în funcție de condițiile din amplasament, de tipul de teren, de aplicație.

(9) Lianții utilizați trebuie să prezinte caracteristici suficiente de rezistență față de agresiunea chimică din zona de execuție.

(10) Toate materialele utilizate pentru malaxarea în adâncime trebuie să respecte prevederile SR EN 14679, ale standardelor de material corespunzătoare, precum și specificațiile din proiect. De asemenea, trebuie să respecte reglementările în materie de protecția mediului aplicabile.

(11) Materiale utilizate pentru malaxarea pe cale umedă:

(i) cele mai frecvente suspensii de lianți sunt amestecuri de ciment Portland și apă;

(ii) bentonita poate fi utilizată în suspensii în cantități de sub 10% bentonită (din masa totală de liant adăugat) pentru obținerea unor suspensii stabile și reducerea permeabilității pământului îmbunătățit;

(iii) raportul apă/lianți pentru suspensiile de ciment Portland variază între 0,5 și 2,5, cele mai frecvente rapoarte fiind între 0,8 și 1,8;

(iv) suspensiile concentrate (raport apă/liant scăzut) sunt utilizate în terenuri argiloase cu consistență redusă (cu umiditate naturală ridicată);

(v) suspensiile diluate (raport apă/liant mare) sunt utilizate în pământuri necoezive amplasate deasupra nivelului freatic și în pământuri argiloase tari;

(vi) rezistențele pământurilor îmbunătățite sunt mai mari atunci când se utilizează suspensii cu raport apă/liant mai redus;

(vii) alegerea amestecului trebuie să țină cont de tipul pământului și de umiditatea naturală din amplasament;

(viii) cantitatea de apă și suspensie se stabilește astfel încât să fie asigurată condiția de hidratare a liantului, cât și necesarul de reducere/creștere a umidității terenului din amplasament;

(ix) În Tabelul 9 sunt prezentați, cu caracter orientativ, lianții utilizați pentru malaxarea pe cale umedă:

Tabelul 9. Lianți utilizați pentru metoda de malaxare pe cale umedă (Briancon et al., 2018)

Tip de pământ	Tip de liant
Pietriș curat	Ciment Ciment + zgură
Pietriș cu praf sau argilă	Ciment Ciment + zgură
Nisip curat	Ciment Ciment + zgură
Nisip prăfos sau argilos	Ciment Ciment + zgură
Praf neorganic	Ciment Ciment + zgură Ciment + cenușă
Argilă neorganică	Ciment Ciment + zgură Ciment + cenușă
Pământ fin moderat organic	Ciment + zgură
Pământ foarte organic	Ciment + zgură
Turbă	Ciment + zgură
Cretă moale sau foarte alterată	Ciment + zgură Ciment + cenușă

(12) Materiale pentru malaxarea pe cale uscată:

(i) pentru malaxarea în uscat se folosesc în general ciment și var, sau combinații ale acestora;

(ii) adăugarea lianților în stare uscată (pulbere) creează amestecuri pământ-ciment cu un raport apă/ciment redus, asigurând astfel cea mai mare rezistență și cea mai redusă permeabilitate pentru amestecul rezultat.

(iii) În Tabelul 10 sunt prezentați, cu caracter orientativ, lianții utilizați pentru malaxarea pe cale uscată:

Tabelul 10. Lianți utilizați pentru metoda de malaxare pe cale uscată (Briancon et al., 2018)

Tip de pământ	Tip de liant
Praf neorganic	Var + ciment Ciment + zgură
Argilă neorganică	Var Var + ciment Ciment + zgură
Pământ fin moderat organic	Ciment + zgură
Pământ foarte organic	Ciment + zgură
Turbă	Ciment + zgură

(13) Cimenturi:

(i) Cimenturile utilizate trebuie să fie conforme cu prevederile standardului SR EN 197-1 și 2.

(ii) Cimenturile utilizate în mod uzual sunt cimentul Portland tip I și II. Cimentul din zgură granulară de furnal poate înlocui o parte din cimentul Portland, fiind eficient atunci când metoda de îmbunătățire se utilizează în pământurile care conțin apă sărată sau atunci când pământul are conținut ridicat de materii organice.

(iii) Cenușa puzzolanică este utilizată ocazional ca material suplimentar în amestecurile pe bază de ciment Portland, de obicei în procent de sub 25% din cantitatea totală de liant.

(14) Var:

(i) Varul utilizat trebuie să fie conform cu prevederile standardului SR EN 459-1 și 2,

(ii) În contactul cu pământul umed varul nestins absoarbe umiditate și devine var stins,

(15) Alți lianți:

(i) zgură de furnal: se poate utiliza pentru a reduce reacția exotermă din timpul prizei și aduce mai puțină rezistență pe termen scurt față de clincher; când este utilizat singur necesită un activator de priză;

(ii) cenușă zburătoare și puzzolanică: se poate utiliza, în general, pentru a reacționa cu varul în prezența apei, astfel încât să rezulte un material cu proprietăți asemănătoare cu ale cimenturilor; sunt utilizate cenușile de Clasă C și Clasă F, acestea trebuie să fie conforme cu prevederile standardului SR EN 451-1 și 2.

C. Studii și încercări necesare pentru proiectare

(16) Pentru terenul de fundare al viitoarei structuri este necesară elaborarea unui studiu geotehnic în conformitate cu reglementarea tehnică NP 074-2022.

(17) Informațiile și parametrii geotehnici specifici necesari a fi furnizați prin studiul geotehnic pentru terenul de fundare pentru îmbunătățirea terenului prin malaxare în adâncime sunt cel puțin următoarele (următorii):

- restricțiile din amplasament (acces, restricții de mediu, climatice etc.);
- caracterizarea stratului de suprafață (de deasupra stratului de îmbunătățit) – extindere, compoziție granulometrică, grosime, prezența rădăcinilor, a umpluturilor etc.;
- prezența elementelor grosiere, a pământurilor cu umflări și contracții mari;
- prezența cavitațiilor, golurilor sau fisurilor;
- caracteristici hidrogeologice, inclusiv compoziția chimică a apei subterane;
- caracteristicile fizice și de stare ale pământului de îmbunătățit;
- conținutul de materii organice;
- pH-ul terenului;
- caracteristicile mecanice ale pământului de îmbunătățit (deformabilitate, rigiditate și rezistență la forfecare);
- caracteristicile hidraulice ale pământului de îmbunătățit (conductivitatea hidraulică);
- dacă este cazul, date privind contaminarea existentă.

(18) Pentru lucrările de malaxare în adâncime este recomandată realizarea de poligoane experimentale și de încercări de laborator pentru stabilirea caracteristicilor posibil a fi obținute prin aplicarea tehnicii de malaxare alese/disponibile/adecvate. Încercările prealabile sunt necesare mai ales dacă nu există experiență comparabilă.

(19) În cadrul studiilor preliminare trebuie determinate următoarele caracteristici ale materialului rezultat din malaxare, în funcție și de relevanța lor pentru proiect:

- rezistența la compresiune monoaxială;
- rezistența la tracțiune;
- modulul de deformare și coeficientul Poisson;
- parametrii rezistenței la forfecare (prin încercări de compresiune triaxială): coeziunea nedrenată, c_u , parametrii efectivi, ϕ' și c' ;
- coeficient de permeabilitate (conductivitate hidraulică);
- caracteristici de durabilitate.

(20) Determinarea parametrilor menționați la (19) se face în conformitate cu standardele corespunzătoare de încercare.

D. Proiectare

(21) Lucrările de îmbunătățire a terenului prin malaxare de adâncime fac parte din clasele AI sau AII, în conformitate cu standardului SR EN 1997-3:2025, în funcție de rezistența la compresiune obținută. De regulă coloanele realizate prin malaxare de adâncime pe cale uscată pot face parte din clasa AII dacă liantul utilizat și dozajul permit obținerea de rezistențe la compresiune semnificative. Coloanele realizate prin malaxare de adâncime pe cale uscată cu dozaje mai mici de lianți sau cele realizate pe cale umedă sau malaxarea în masă sunt clasificate în clasa AI.

(22) Proiectarea lucrărilor de îmbunătățire a terenului prin malaxare de adâncime trebuie să respecte prevederile standardelor SR EN 1997-1:2024 și SR EN 1997-3:2025.

(23) Pentru proiectare trebuie definite clar următoarele:

- obiectivele îmbunătățirii;
- criteriile aplicabile îmbunătățirii;
- metodele de control;
- criteriile de recepție;
- modul de gestionare al impactului asupra mediului.

(24) În cazul lucrărilor de îmbunătățire a terenului prin malaxare de adâncime proiectarea se referă la două aspecte:

- proiectarea funcțională, care abordează modul de interacțiune dintre terenul îmbunătățit și cel neîmbunătățit pentru a asigura comportamentul dorit;
- proiectarea procesului, care descrie mijloacele prin care sunt obținute caracteristicile de performanță solicitate pentru terenul îmbunătățit.

(25) Proiectarea structurilor fundate pe terenul îmbunătățit se realizează în conformitate cu prevederile reglementărilor tehnice aplicabile.

(26) Proiectul structurilor ce urmează a fi fundate pe terenul îmbunătățit stabilește, de regulă, anumite valori țintă ale parametrilor geotehnici ce trebuie atinși după îmbunătățire care sunt relevanți, după caz:

- rezistența la compresiune monoaxială, R_c ;
- modul de deformație, E' ;
- coeziune nedrenată, c_u ;
- parametri efectivi ai rezistenței la forfecare, ϕ' , c' ;
- coeficient de permeabilitate, k .

(27) Proiectul structurilor ce urmează a fi fundate pe terenul îmbunătățit stabilește, de regulă, valorile limită ale tasărilor și deplasărilor și/sau valori minime ale capacității portante sau alte cerințe referitoare la stările limită aplicabile.

(28) Etapele de parcurs pentru proiectarea lucrărilor de malaxare în adâncime sunt prezentate în Figura 37.

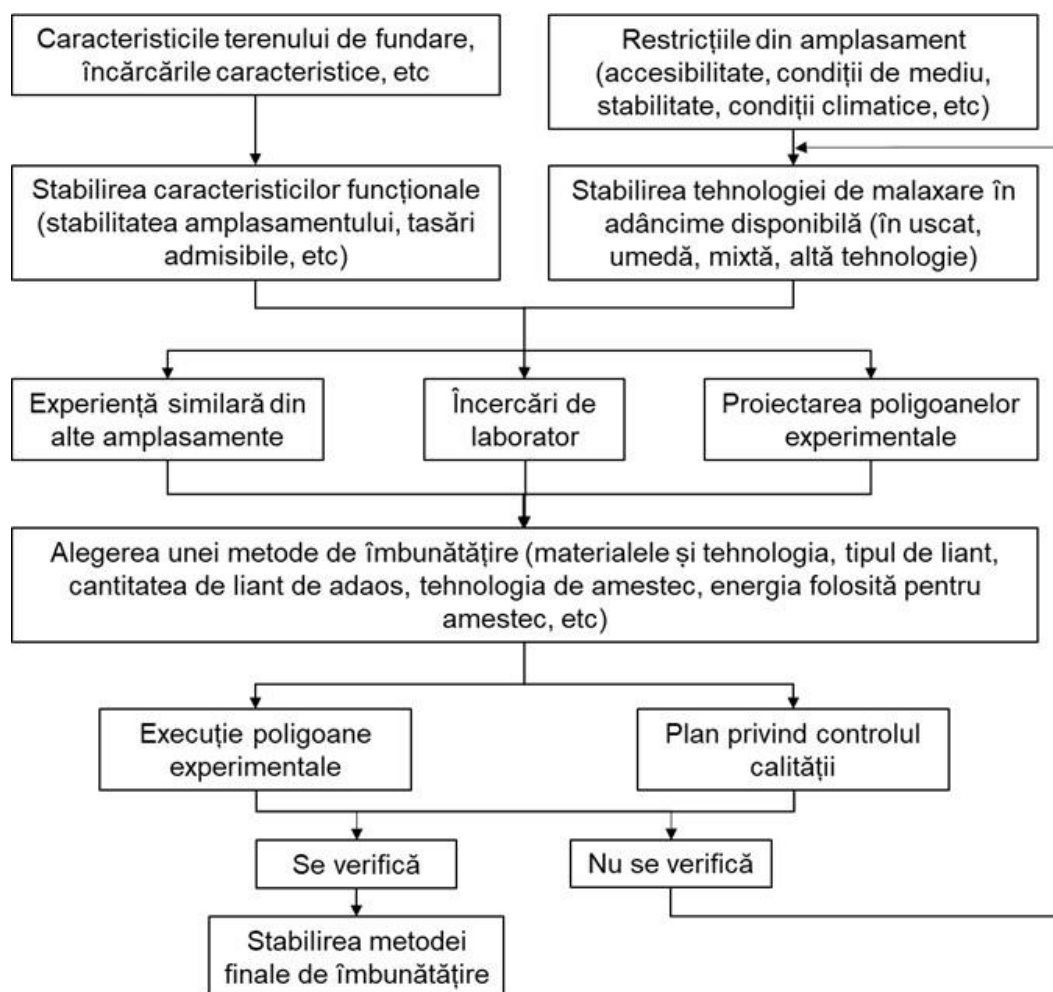


Figura 37. Etapele necesare proiectării metodei de malaxare în adâncime (adaptare după SR EN 14679)

(29) Pentru lucrările de malaxare în adâncime proiectarea este, de regulă de tip iterativ și se bazează pe încercări asupra terenului îmbunătățit și/sau a structurilor rezultate.

(30) În funcție de scopul îmbunătățirii (consolidarea unei pante, consolidarea terenului unui rambleu, reducerea tasărilor unei construcții, realizarea unui ecran etanș, izolarea unui teren contaminat etc.) se alege forma geometrică a structurii de pământ îmbunătățit, parametrii relevanți sau metodele de calcul sau verificare adecvate.

(31) Pentru caracterizarea materialului rezultat după malaxare se utilizează următorii parametri, pe baza cărora se poate evalua eficacitatea diferitelor metode și procedee sau lianți:

(i) dozajul de liant, $\alpha = \frac{m_l}{V_p}$, unde m_l este masa de liant uscat, iar V_p este volumul de pământ de îmbunătățit;

(ii) procentul de liant, $a = \frac{m_l}{m_s}$, unde m_l este masa de liant uscat, iar m_s masa de particule solide a pământului de îmbunătățit;

(iii) raportul apă totală/liant, $\frac{w_t}{l} = \frac{m_{wmix}}{m_l}$, unde w_t este umiditatea totală, l este proporția de liant, m_{wmix} este masa apei din amestecul rezultat, iar m_l este masa de liant;

(iv) pentru malaxarea pe cale umedă: raportul apă din fluid/liant, $\frac{w_c}{l} = \frac{m_{wc}}{m_l}$, unde w_c este umiditatea fluidului, l este proporția de liant, m_{wc} este masa de apă din fluid, iar m_l este masa liantului;

(v) pentru malaxarea pe cale umedă: raportul dintre volumul de fluid injectat și volumul de pământ de îmbunătățit;

(vi) pentru a cuantifica energia de malaxare, atunci când este utilizat un echipament de malaxare rotativ cu ax vertical se poate utiliza indicele de malaxare, T , definit astfel:

$$T = \sum M \times \left(\frac{R_p}{V_p} \times \frac{W_p}{W} + \frac{R_w}{V_w} \right) \quad (20)$$

unde:

$\sum M$ este numărul de pale,

R_p, R_w este viteza de rotație a utilajului în direcție descendentă, respectiv ascendentă [tr/min],

V_p, V_w este viteza de avansare în direcție descendentă, respectiv ascendentă [m/min],

W_p este cantitatea de liant injectată în timpul coborârii [kg/m³],

W este cantitatea totală de liant injectată [kg/m³]

Notă: În Anexa E sunt date relații de calcul suplimentare pentru determinarea parametrilor fizici pentru materialul rezultat după malaxare.

(32) Încercările care se execută pentru a stabili performanțele terenului îmbunătățit pot fi realizate:

- în laborator, pe probe pregătite în laborator – în general pentru studierea rețetelor optime;
- în laborator, pe probe prelevate din coloane sau elemente realizate prin malaxare (fie după întărire, fie înainte și apoi sunt păstrate în laborator) – în general pentru determinarea parametrilor de interes, mecanici sau hidraulici;
- pe teren:
 - pe poligoane experimentale (de regulă pentru determinarea uniformității îmbunătățirii aplicate);
 - prin determinare directă a caracteristicilor mecanice (încercări presiometrice, încercări cu placa etc.);
 - prin determinare indirectă a caracteristicilor mecanice: încercări de penetrare statică cu conul CPT (pentru evaluarea continuității și determinarea parametrilor de rezistență), de penetrare dinamică;
 - încercări de determinare a conductivității hidraulice.

(33) Pentru încercările realizate în laborator pe probe pregătite în laborator se va acorda atenție modului de păstrare a probelor și vârstei la care încercările sunt efectuate.

(34) Pentru determinarea rezistenței reprezentative la compresiune monoaxială a terenului îmbunătățit trebuie respectate prevederile standardului SR EN 1997-3:2025 12.5.4.

(35) Rezistența la compresiune a pământurilor malaxate cu ciment are o variabilitate destul de mare (conform unor valori din literatură 0.34 – 0.79 - Guidelines for Soil Mixing (2016) Deep Foundation Institute, Soil Mixing Committee), iar distribuția adecvată este cea log-normală.

(36) Pentru evaluarea durabilității pământului îmbunătățit trebuie analizate situații care sunt relevante pentru durata de viață proiectată a structurii (de exemplu, dacă îmbunătățirea a avut loc la o adâncime ce o depășește pe cea de îngheț, durabilitatea la cicluri repetate de îngheț – dezgheț nu este relevantă; în schimb elementele utilizate cu rol de susținere pot fi expuse ciclurilor de îngheț – dezgheț).

(37) Proiectul trebuie să cuprindă un plan de asigurarea calității lucrărilor, care să precizeze metodele pentru verificarea calității lucrărilor și frecvența aplicării lor, precum și procedura pentru neconformități. Se vor respecta prevederile standardului SR EN 1997-3:2025 Articolul 12, precum și prevederile standardului SR EN 14679.

(38) Proiectul trebuie să stabilească modalitățile de încercare a pământurilor îmbunătățite pentru a verifica dimensiunile geometrice ale elementelor executate (diametru, lungime, dispunere, suprapunerea coloanelor etc.), caracteristicile de rezistență și compresibilitate, omogenitatea, permeabilitatea, analize chimice etc. după cum este relevant, care să fie adecvate metodelor aplicate, terenului etc.

(39) Proiectul trebuie să stabilească criteriile de acceptare a lucrărilor prin care să se verifice că a fost atins un nivel acceptabil de performanță.

(40) Proiectul trebuie să cuprindă și planul de monitorizare.

5. LUCRĂRI DIN PĂMÂNT

5.1. Generalități

(1) Lucrările din pământ reprezintă procese de inginerie civilă din care rezultă structuri geotehnice din pământ, modificând geometria suprafeței terenului (rambleuri sau umpluturi de exemplu).

(2) Prezenta document se aplică pentru proiectarea lucrărilor din pământ, respectiv pentru stabilirea procesului de construcție (a metodei de execuție, a materialelor utilizate), a specificațiilor tehnice pentru materiale și pentru produsul obținut, precum și pentru determinarea dimensiunilor și verificările structurii geotehnice rezultate.

(3) Acest document se aplică și pentru lucrările care utilizează subproduse industriale sau materiale reciclate asemănătoare pământurilor.

(4) În procesul de proiectare a lucrărilor din pământ trebuie parcurse următoarele etape:

- (i) Investigația geotehnică a amplasamentului și identificarea, clasificarea și caracterizarea materialelor pământoase din amplasament sau de aport necesare;
- (ii) Proiectarea structurilor geotehnice, inclusiv stabilirea caracteristicilor necesare ale materialelor pământoase ce vor fi utilizate la lucrările din pământ;
- (iii) Evaluarea compatibilității materialelor identificate pe amplasament sau a celor de aport cu structura geotehnică care trebuie executată;
- (iv) Elaborarea specificațiilor tehnice ale lucrărilor din pământ, inclusiv pentru materialele utilizate și privitoare la procedeul de execuție ce trebuie aplicat, monitorizare, control, poligoane experimentale etc.

Notă: În Anexa F sunt prezentate etapele de parcurs pentru o lucrare din pământ.

(5) Lucrările din pământ sunt realizate în diverse scopuri, precum:

- excavații pentru căi de comunicații;
- înlocuirea terenului de fundare al construcțiilor;
- rambleuri pentru căi de comunicație, diguri, baraje din materiale locale, depozite de deșeuri, bariere fonice;
- umpluturi pentru diferite aplicații etc.

5.2. Principii și reguli generale pentru proiectarea lucrărilor din pământ

(1) Principiile și regulile generale pentru planificarea, proiectarea și specificarea lucrărilor din pământ fac obiectul standardului SR EN 16907 (toate părțile).

(2) Se face distincție între: proiectarea lucrărilor din pământ și proiectarea structurilor geotehnice rezultate din lucrările din pământ.

(3) Pentru proiectarea lucrărilor din pământ se aplică prevederile prezentei reglementări tehnice, precum și prevederi ale standardului SR EN 16907 (toate părțile).

(4) Pentru proiectarea structurilor geotehnice rezultate din lucrările din pământ (taluzuri, rambleuri, excavații) se aplică prevederile reglementărilor tehnice corespunzătoare. În cazul anumitor tipuri de aplicații (de exemplu, lucrări din pământ pentru drumuri, căi ferate etc.) trebuie respectate și prevederile altor standarde și reglementări tehnice aplicabile, după caz.

(5) Cerințele rezultate din proiectul structurilor geotehnice sunt aplicabile pentru lucrările din pământ, a căror proiectare și execuție trebuie să asigure stabilitatea, rezistența, durabilitatea, robustețea structurii finale.

(6) Pentru lucrările din pământ proiectul geotehnic reprezintă definirea procesului de transformare a materialelor selecționate (pământ, rocă, subproduse etc.) în structura geotehnică finală, proces care cuprinde:

- alegerea materialelor pământoase potrivite, pe baza unor criterii geotehnice;
- balanța de terasamente;
- alegerea echipamentelor adecvate;
- stabilirea procedeeleor de compactare optime;
- stabilirea modului de control al calității lucrărilor executate;
- măsuri pentru protecția mediului.

(7) Proiectarea lucrărilor din pământ se face pe baza elementelor rezultate din cele două etape ale proiectării geotehnice a structurii finale - investigația geotehnică și proiectul geotehnic, respectiv:

- caracteristicile terenului de fundare;
- tipul și caracteristicile structurii geotehnice din pământ;
- categoria geotehnică și clasa de consecințe pentru structura geotehnică;
- caracteristicile necesare ale structurii geotehnice din pământ;
- natura și starea materialelor din care va fi construită structura geotehnică din pământ;
- necesitatea de a îmbunătăți materialele disponibile;
- echipamentele disponibile;
- specificațiile tehnice ale structurii geotehnice din pământ.

(8) Lucrările din pământ trebuie proiectate astfel încât să respecte cerințele fundamentale de rezistență, stabilitate, durabilitate, robustețe, protecția mediului și sustenabilitate.

(9) În ceea ce privește sustenabilitatea, se vor avea în vedere prevederile generale cuprinse în standardul SR EN 1990:2023 4.7, precum și cele specifice pentru structurile geotehnice cuprinse în standardul SR EN 1997-3:2025 4.1.7.

(10) Se recomandă ca soluțiile lucrărilor din pământ să:

- reducă consumul de materiale,
- conserve pe cât posibil resursele naturale,
- reducă amprenta de carbon a lucrărilor,
- diminueze consumul de energie,
- reducă zgomotul, vibrațiile, praful provocate de lucrări,
- reducă poluarea aerului, apei și solului,
- protejeze biodiversitatea.

(11) Proiectarea lucrărilor din pământ trebuie bazată pe:

- Modelul Terenului, ca rezultat al etapei de investigație geotehnică a terenului, elaborat în conformitate cu prevederile reglementării tehnice NP 074-2022;
- Modelul Geotehnic de Proiectare, dezvoltat în cadrul proiectului geotehnic al structurii geotehnice, în conformitate cu prevederile reglementării tehnice NP 074-2022.

(12) Pentru proiectarea lucrărilor din pământ trebuie avută în vedere zona de influență a structurii geotehnice rezultată în urma lucrărilor din pământ, definită în conformitate cu prevederile de la 4.1.2.1 și 4.2.5. ale standardului SR EN 1997-1:2024.

(13) Atunci când pentru execuția lucrărilor din pământ este necesară aplicarea de soluții de îmbunătățire sau stabilizare a materialelor puse în operă zona de influență trebuie să ia în considerare și impactul pe care aplicarea acestor tehnici îl are.

(14) Cerințele de investigare, proiectare, validare, inspecție, monitorizare, precum și managementul calității proiectării lucrărilor din pământ trebuie fundamentate pe baza Categoriei Geotehnice a structurii geotehnice, determinată în conformitate cu reglementarea tehnică NP 074-2022.

(15) Pentru investigarea terenului de fundare al lucrărilor din pământ trebuie respectate prevederile reglementării tehnice NP 074-2022 și standardului SR EN 1997-2:2024 și se recomandă luarea în considerare și a recomandărilor specifice lucrărilor din pământ cuprinse în standardul SR EN 16907-1 5.2.

(16) Numărul minim de foraje și puncte de investigare, numărul minim de încercări și frecvența lor trebuie să fie cele specificate în reglementarea tehnică NP 074-2022 pentru structura geotehnică din pământ.

(17) În mod specific, pentru terenul de fundare al lucrărilor din pământ, dacă acesta urmează a fi compactat sau dacă urmează a fi utilizat ca material pentru lucrările din pământ, trebuie determinate caracteristicile de compactare, precum și, cel puțin, caracteristicile de compresibilitate și de rezistență la forfecare în stare compactată, iar acolo unde este relevant, coeficientul de permeabilitate.

(18) Investigațiile specifice pentru materialele ce urmează a fi utilizate pentru lucrările din pământ sunt tratate la paragraful 5.3.

(19) În cadrul proiectului geotehnic al lucrărilor din pământ trebuie prevăzute măsuri de gestiune a riscului, în conformitate cu prevederile standardului SR EN 16907-1 4.6.

(20) Proiectul geotehnic al lucrărilor din pământ trebuie să cuprindă proiectul de monitorizare și planul de control. Acestea au ca obiective:

- controlul avansării lucrărilor;
- validarea ipotezelor considerate în proiectul lucrărilor din pământ;
- colectarea de informații pentru a demonstra performanța structurii.

(21) Pentru proiectul de monitorizare trebuie respectate prevederile reglementării tehnice NP 074-2022, precum și cele ale standardului SR EN 16907-1 13.

(22) Pentru controlul și verificarea performanței structurilor din pământ trebuie respectate prevederile standardului SR EN 16907-1 13.2 și 13.3, precum și cele ale standardului SR EN 16907-5.

5.3. Materiale utilizate pentru lucrări din pământ

(1) Pentru realizarea lucrărilor din pământ se pot utiliza materialele din loc (pământuri, roci, umpluturi existente) sau se pot utiliza materiale de aport, din cariere.

(2) Pentru lucrările din pământ se pot utiliza materiale pământoase de diferite tipuri, roci, precum și subproduse industriale sau materiale reciclate.

(3) Materialele utilizate pentru lucrările din pământ trebuie investigate pentru a putea furniza o descriere, identificare și caracterizare completă, pentru a putea stabili natura, starea și comportamentul fiecărui tip de material.

(4) Investigația geotehnică asupra materialelor potențial a fi utilizate la lucrările din pământ trebuie realizată în conformitate cu prevederile reglementării tehnice NP 074-2022, standardului SR EN 1997-2:2024 și standardului SR EN 16907-1.

(5) Gradul de detaliere al investigației geotehnice a materialelor potențial a fi utilizate la lucrările din pământ trebuie definit pe baza categoriei geotehnice a structurii geotehnice:

- pentru categoria geotehnică 1 identificarea naturii și stării materialelor (din teren sau de aport) este suficientă pentru aplicarea unor tehnici comune pentru lucrările din pământ;
- pentru categoria geotehnică 2 și 3 este necesară în plus clasificarea materialelor în conformitate cu clasele de materiale aplicabile structurilor proiectate și stabilirea comportamentului fizic și mecanic al acestora pe parcursul etapelor de excavare, transport, punere în operă, compactare și în serviciu.

(6) Este necesară o investigație în 2 etape: o etapă preliminară pentru identificarea materialelor și selectarea celor care corespund criteriilor de identificare și o etapă finală de investigare asupra materialelor selectate pentru definirea completă.

(7) Reglementările tehnice și standardele specifice structurilor geotehnice rezultate din lucrările din pământ (terasamente pentru drumuri – SR 2914:2024, de exemplu) utilizează, de regulă, clasificări ale materialelor utilizate pentru a formula prevederi comune pentru grupe de materiale. Clasificările prevăzute în aceste reglementări specifice trebuie respectate pentru fiecare structură geotehnică în parte. Dacă nu există astfel de clasificări specifice, se poate utiliza clasificarea materialelor pentru lucrări din pământ prezentată în standardul SR EN 16907-2.

(8) Etapele descrierii și clasificării materialelor sunt cele din standardul SR EN 16907-2 Tabelul 1.

(9) Pentru clasificarea pământurilor în funcție de fracțiunile granulare se aplică prevederile standardului SR EN ISO 14688-1.

(10) Pentru clasificarea rocilor în funcție de rezistența lor se pot utiliza grupele de roci definite în Tabelele 6 și 7 din standardul SR EN 16907-2.

(11) Pentru caracterizarea din punct de vedere al comportamentului la punerea în operă și în serviciu, pentru materialele propuse pentru lucrările din pământ trebuie realizate încercări de compactare, precum și încercări de determinare a caracteristicilor mecanice (eventual, și hidraulice) în stare compactată.

(12) Caracteristicile specifice de determinat pentru materialele utilizate la lucrările de pământ, în relație cu etapele de execuție (excavare, încărcare și transport, manipulare și stocare, punere în operă etc.) sunt cele din standardul SR EN 16907-2 Tabelul 12.

(13) Caracteristicile specifice de determinat pentru materialele utilizate pentru diferite părți ale lucrării (rambleurilor, terasamentelor pentru drumuri etc.) trebuie să fie cele stabilite prin reglementările tehnice specifice, precum și cele prevăzute prin standardul SR EN 16907-2 Tabelul 13.

(14) În cazul utilizării subproduselor industriale și materialelor reciclabile trebuie respectată legislația specifică de mediu și referitoare la gestionarea deșeurilor.

(15) Pentru caracterizarea subproduselor industriale și a materialelor reciclate se pot utiliza metode geotehnice sau metode proprii materialelor din care acestea provin, după cum este adecvat.

(16) Pentru subprodusele industriale și materialele reciclate utilizate în cadrul lucrărilor de pământ trebuie stabilită durabilitatea acestora în condițiile de utilizare, compatibilitatea chimică cu celelalte materiale utilizate și cu mediul.

5.4. Proiectarea lucrărilor din pământ

5.4.1. Compactare de suprafață

(1) În acest capitol este tratată metoda de compactare de suprafață, atât ca metodă de îmbunătățire a terenului aflat la adâncimi mici, cât și ca metodă de punere în operă a umpluturilor prin metoda "strat cu strat".

A. Generalități

(2) Principiu:

(i) Compactarea de suprafață este un proces tehnologic prin care se urmărește creșterea densității unui material granular sau coeziv prin reducerea volumului de goluri dintre particule. Aceasta se realizează prin aplicarea unor forțe mecanice (vibrații, presiune statică, impact, forfecare) la suprafața stratului de material, fără a pătrunde în profunzime. Eficiența procesului se bazează pe mobilizarea particulelor și reorganizarea acestora într-o structură mai densă, cu un raport optim între umiditate și energie aplicată.

(ii) Metoda de compactare de suprafață utilizează diferite echipamente de compactare (cilindri sau maiuri) care transmit terenului încărcări statice, vibrații, impact sau de tip frământare, pentru a scădea volumul golurilor din pământ, astfel obținând o îndesare și o creștere a performanțelor mecanice.

(iii) Compactarea statică se referă la compactarea realizată doar prin aplicarea unor încărcări statice, fără vibrații, impact etc. Aceasta se realizează cu ajutorul cilindrilor compactori netezi, a greutatea aplicată pe teren, a rezervoarelor umplute cu apă sau prin consolidare,

(iv) Compactarea dinamică se referă la compactarea realizată prin batere cu maiuri,

(v) Compactarea de tip frământare se obține prin compactarea cu cilindri compactori cu came (picior de oaie) care permit distrugerea prin eforturi de forfecare a structurii existente a pământului și rearanjarea particulelor într-o structură mai îndesată.

(3) Scop:

- îmbunătățirea capacității portante a terenurilor de fundare sau a straturilor rutiere.
- reducerea tasărilor ulterioare, prin eliminarea golurilor și prevenirea consolidării lente.
- reducerea permeabilității în scopul prevenirii infiltrațiilor de apă sau substanțe poluante.
- creșterea stabilității lucrărilor de infrastructură (drumuri, platforme, fundații etc.).

(4) Compactarea de suprafață poate fi utilizată pentru îndesarea și îmbunătățirea caracteristicilor pământurilor în loc sau pentru punerea în operă a umpluturilor pentru lucrări din pământ (rambleuri, umpluturi diverse).

(5) Domeniu de aplicare: Aplicațiile compactării de suprafață sunt foarte diverse, fiind aplicată la practic toate construcțiile. În legătură cu lucrările din pământ este modalitatea de punere în operă a pământurilor și rocilor utilizate pentru crearea de rambleuri pentru drumuri, căi ferate, aeroporturi etc.

(6) Limite:

(i) Influența compactării de suprafață este limitată la 0,20 – 0,40 m adâncime.

(ii) Eficiența compactării depinde de umiditatea materialului compactat, scade pentru material prea uscat sau prea umed.

(iii) Nu toate materialele se compactează la fel de bine, compactarea este inefficientă pentru pământuri foarte coezive (argile, argile grase) sau pentru pământurile nisipoase saturate, foarte uniforme sau cele cu conținut mare de materii organice.

(iv) Echipamentele de compactare trebuie adaptate tipului de material compactat.

B. Materiale

(7) Materiale utilizate la compactare sunt terenurile din loc sau cele de aport (pământuri, roci, agregate), apă, eventuale materiale de aport pentru tratare (vezi capitolul 5.4.2.).

C. Studii și încercări pentru proiectare

(8) Materialele care urmează a fi compactate trebuie caracterizate din punct de vedere al caracteristicilor fizice și a celor de compactare:

(i) Pentru pământuri se determină următoarele caracteristici fizice și de compactare:

- compoziția granulometrică;
- coeficientul de neuniformitate, în cazul pământurilor necoezive;
- limitele de plasticitate, în cazul pământurilor coezive;
- cantitatea de materii organice;
- conținutul în săruri solubile;
- umflarea liberă;
- caracteristicile de compactare;
- sensibilitatea la apă.

(ii) Pentru agregate se determină următoarele caracteristici (în conformitate cu standardul SR EN 13242):

- compoziție granulometrică și conținut de părți fine;
- coeficient de aplatizare;
- coeficient de formă;
- echivalent de nisip;
- rezistența la sfărâmare (coeficientul Los Angeles);
- coeficient micro -Deval;
- densitatea și coeficientul de absorbție;
- rezistența la îngheț - dezgheț;
- încercarea cu sulfat de magneziu;
- încercarea cu albastru de metilen;
- încercări chimice.

(iii) Pentru roci (piatră naturală) se determină (în conformitate cu standardul SR EN 1467):

- caracteristici geometrice;
- examinare vizuală, conținut de impurități;
- natura petrografică - mineralogică;
- densitatea reală, densitatea aparentă și porozitatea totală și deschisă;
- rezistența la îngheț - dezgheț;
- rezistența la compresiune monoaxială.

(iv) Pentru anrocamente se determină (în conformitate cu standardul SR EN 13383-1):

- clasa de granulozitate: distribuție granulometrică în cazul anrocamentelor grosiere și distribuție masică în cazul anrocamentelor ușoare și grele;
- natura petrografică - mineralogică;
- rezistența la îngheț - dezgheț;
- densitatea particulelor și absorbția de apă;
- încercarea cu sulfat de magneziu;
- rezistența la compresiune monoaxială.

Notă. În Anexa H sunt prezentați diverșii parametri ce trebuie determinați, împreună cu standardele de încercare aplicabile.

D. Proiectare

(9) Proiectul lucrărilor de compactare trebuie să pornească de la cerințele stabilite prin proiectul geotehnic al structurii din pământ (anumite performanțe solicitate pentru materialul compactat), care depind de structura proiectată și de scopul său, de condițiile din amplasament, de prevederile reglementărilor tehnice specifice aplicabile.

(10) Proiectul lucrărilor de compactare trebuie să stabilească criteriile pe care lucrările din pământ trebuie să le îndeplinească pentru a răspunde cerințelor stabilite pentru structura geotehnică rezultată. Aceste criterii pot fi:

- (i) criterii referitoare la umplutura finalizată:
 - valori minime și maxime impuse pentru modulul de deformare;
 - valori minime și maxime ale capacității portante determinată cu o anumită metodă;
 - valoare minimă a parametrilor rezistenței la forfecare;
 - o valoare minimă sau maximă a coeficientului de permeabilitate.
- (ii) criterii referitoare la fazele ulterioare de construcție:
 - capacitatea de a prelua traficul pentru etapele următoare de execuție într-o anumită perioadă de timp;
 - cerințe legate de comportarea post compactare a umpluturii compactate (de exemplu, să nu apară instabilități ale umpluturii compactate, să nu apară un exces de presiune a apei din pori etc.);
 - cerințe legate de lucrabilitatea materialului (de obicei legate de umiditatea materialului).
- (iii) criterii referitoare la durabilitate:
 - asigurarea stabilității pe termen lung a umpluturii compactate;
 - asigurarea unui anumit nivel de rezistență după cicluri repetate de îngheț - dezgheț sau umezire - uscare.

(11) În cadrul proiectului geotehnic al lucrărilor din pământ executate prin compactare trebuie abordate următoarele aspecte:

- (i) materialul utilizat pentru compactare;
- (ii) necesitatea de a trata (îmbunătăți/stabiliza) materialul;
- (iii) calitatea suportului oferit de terenul de dedesubtul umpluturii compactate;
- (iv) metoda de compactare;
- (v) numărul și grosimea straturilor elementare de compactare;
- (vi) umiditatea de compactare;
- (vii) gradul de compactare;
- (viii) echipamentul de compactare;
- (ix) energia de compactare;
- (x) cerințele privind caracteristicile umpluturii/stratului compactat;
- (xi) modul de verificare a calității lucrărilor executate;
- (xii) monitorizarea lucrărilor de compactare.

(12) Material selectat pentru compactare:

(i) Materialul selectat pentru compactare trebuie evaluat pe baza caracteristicilor sale și a obiectivelor de performanță care trebuie atinse, pe baza prevederilor specifice pentru anumite utilizări.

(ii) Este necesară evaluarea aptitudinii de compactare a materialului selectat pe baza caracteristicilor determinate anterior.

(iii) Este necesară evaluarea comportamentului la compactare al materialelor utilizate pe baza caracteristicilor determinate anterior.

(iv) Este necesară stabilirea intervalului de umidități acceptabile pentru a obține gradul de îndesare dorit.

(v) Este necesară evaluarea proprietăților materialelor după compactare: compresibilitate, rezistență la forfecare, modificări posibile de volum în contact cu apa a materialelor compactate la umidități mai mici decât cea optimă, sensibilitate la umezire.

(vi) Este necesară evaluarea durabilității materialelor după compactare la acele solicitări de mediu care sunt aplicabile (îngheț - dezgheț, umezire - uscare, atac chimic etc.).

(vii) Pentru aceste evaluări este necesară efectuarea de încercări de laborator și/sau pe teren, eventual în cadrul unor poligoane experimentale.

(13) Necesitatea de tratare:

(i) În cazul în care materialul selectat nu are caracteristicile necesare pentru a permite compactarea și/sau obținerea performanțelor stabilite proiectul trebuie să evalueze posibilitățile de tratare ale acestuia.

(ii) Pământurile cu umiditate prea mare pot fi uscate prin amestec cu diferite substanțe (var de exemplu) pentru a îmbunătăți lucrabilitatea și comportarea la compactare.

(iii) Pământurile necoezive cu curbă granulometrică improprie compactării pot fi amestecate cu fracțiunile granulare lipsă.

(iv) Pământurile gelive pot fi stabilizate prin malaxare de suprafață cu lianți hidraulici (vezi capitolul 5.4.2)

(v) Pământurile cu rezistență insuficientă pot fi armate.

(14) Calitatea suportului:

(i) Trebuie analizat tipul, starea și rezistența materialului din stratul de sub cel compactat (teren de fundare, alte umpluturi etc.) pentru a decide dacă acesta poate oferi suportul necesar desfășurării procesului de compactare.

(ii) Dacă stratul urmează a fi compactat pe o pantă (de regulă mai abruptă de 1:5) trebuie analizat dacă se poate păstra stabilitatea lucrării din pământ sau dacă trebuie realizate trepte de înfrățire. De regulă, acestea au o lățime de minimum 1,0 m și o înclinarea de 2% spre aval.

(15) Metoda de compactare:

(i) Proiectul lucrării din pământ trebuie să specifice metoda de compactare, în special atunci când se utilizează în proiectare o specificație de metodă.

(ii) Metoda de compactare se alege în funcție de:

- caracteristicile materialului de umplură;
- umiditatea materialelor de compactat, în special pentru cele coezive, sensibile la apă;
- proprietățile impuse pentru stratul compactat;
- caracteristicile utilajelor de compactare;
- vitezele de excavare, încărcare și transport al materialelor;
- metoda de așternere;
- experiența deja acumulată cu metoda de construcție propusă pentru materiale similare.

(16) Straturi elementare de compactare:

(i) Grosimea stratului trebuie definită astfel încât proprietățile impuse a fi atinse după compactare să fie obținute pe întreaga grosime a stratului.

(ii) Stabilirea grosimii stratului trebuie corelată cu procedura de compactare, în funcție de tipul materialului și echipamentul de compactare.

(iii) Grosimea stratului trebuie corelată și cu granulozitatea materialului, respectiv să fie cel puțin egală cu $3/2$ din dimensiunea maximă a particulelor.

(17) Umiditatea de compactare:

(i) Proiectul lucrării din pământ trebuie să definească intervalul acceptat de umidități de compactare în jurul valorii optime determinate prin încercarea Proctor pentru a obține densitatea în stare uscată cerută și, respectiv, gradul minim de compactare impus.

(ii) În funcție de obiectivele urmărite se poate defini o umiditate puțin mai mică (în zona „uscată”) sau mai mare (în zona „umedă”) față de umiditatea optimă de compactare Proctor.

(18) Gradul de compactare:

(i) Proiectul trebuie să definească gradul de compactare minim impus pentru fiecare strat, zonă sau structură rezultată din compactare.

(ii) Gradul de compactare nu poate fi mai mic de 90% și depinde de importanța procesului de compactare pentru comportarea ulterioară a umpluturii compactate și de rolul umpluturii compactate în structura geotehnică finală.

- (iii) În funcție de utilizarea structurii geotehnice din pământ pot fi aplicabile prevederi ale altor reglementări tehnice și/sau standarde în privința gradului minim de compactare.
- (19) Echipamentul de compactare:
- (i) Proiectul de lucrări din pământ trebuie să analizeze echipamentul de compactare de utilizat, în special dacă este utilizată o specificație de metodă.
- (ii) Pentru stabilirea gradului de adecvare al fiecărui tip de utilaj pentru diferite tipuri de materiale se poate consulta Tabelul 2 din standardul SR EN 16907-3.
- (20) Energia de compactare:
- (i) Pentru compactoarele statice energia de compactare este dependentă de masa compactorului, de viteza procesului și de numărul de treceri.
- (ii) Pentru compactoarele vibratoare energia de compactare crește ca urmare a vibrațiilor cilindrului/roților vibratoare.
- (iii) În general, definirea energiei necesare pentru compactare (masa, viteza, numărul de treceri, frecvența de vibrație) se stabilesc în cadrul poligoanelor experimentale și/sau pe baza recomandărilor valabile pentru anumite clase de pământuri.
- (21) Cerințele privind caracteristicile umpluturii/stratului compactat:
- (i) Proiectul de lucrări din pământ trebuie să precizeze cerințele privind caracteristicile umpluturii sau stratului compactat sub forma:
- unui grad de compactare minim;
 - unei valori minime a densității în stare uscată;
 - unui modul de deformare minim;
 - unei valori minime a indicelui CBR;
- (ii) Frecvențele cu care se verifică acești parametri depind de tipul lucrării, extinderea sa etc., precum și de prevederile reglementărilor tehnice specifice aplicabile lucrărilor din pământ pentru anumite aplicații.
- (22) Modul de verificare a calității lucrărilor executate:
- (i) Proiectul lucrărilor din pământ trebuie să specifice modul în care trebuie verificată calitatea lucrărilor executate.
- (ii) Verificarea lucrărilor de compactare include, de regulă, două componente:
- verificarea tehnologiei de compactare;
 - controlul compactării în timpul execuției lucrărilor.
- (iii) Modul de verificare a calității lucrărilor executate depinde și de tipul de specificație adoptată în proiect (de produs finit, de metodă sau de performanță).
- (iv) Extinderea verificării calității lucrărilor de compactare trebuie să țină seama și de categoria geotehnică a structurii geotehnice din pământ.
- (v) Dacă se utilizează o specificație de produs finit, verificarea calității lucrărilor se realizează prin diferite metode, printre care:
- determinarea densității in situ;
 - determinarea caracteristicilor de rigiditate prin încercarea cu placa;
 - controlul continuu al compactării.
- (vi) Dacă se utilizează o specificație de metodă, verificarea calității lucrărilor se realizează prin una sau mai multe din următoarele:
- verificare vizuală a conformității execuției cu specificația de metodă (numărul de treceri, grosimea straturilor, receptia materialului de umplură, tipul și greutatea compactorului, viteza compactorului și frecvența de vibrație, dacă este cazul);
 - verificare a volumului compactat și a suprafeței totale compactate acoperite de compactor pentru compactarea aceluși volum – a se vedea metoda Q/S din anexa B a standardului SR EN 16907-5;
 - verificare a numărului de treceri de compactare, grosimea straturilor și viteza compactorului, dacă se utilizează un compactor echipat cu sistem global de navigație prin satelit GNSS și cu sisteme de înregistrare și documentare (a se vedea standardul SR CEN/TS 17006).

(vii) Dacă se utilizează o specificație de performanță (rar utilizată în Europa, deloc în România), verificarea calității lucrărilor se face prin urmărirea comportării structurii din pământ în timp, deci nu se referă în mod direct la controlul calității lucrărilor de compactare.

(23) Monitorizarea lucrărilor de compactare:

- (i) Proiectul lucrărilor din pământ trebuie să precizeze cum se realizează monitorizarea acestora.
- (ii) Monitorizarea lucrărilor de compactare trebuie realizată de la începutul lucrărilor pentru:
 - controlul avansării lucrărilor;
 - validarea ipotezelor asumate în proiectul structurilor geotehnice din pământ și lucrărilor din pământ corespunzătoare;
 - colectarea de informații pentru a demonstra performanța acceptabilă a structurii din pământ.
- (iii) Extinderea activităților de monitorizare trebuie adaptată la dimensiunea proiectului și la nivelul de risc.

5.4.2. Malaxare de suprafață

A. Generalități

(1) Principiu:

- (i) În cazurile în care proprietățile naturale ale pământurilor nu corespund cerințelor necesare în proiectare sau execuție, se recurge la îmbunătățirea sau stabilizarea lor prin amestec cu alte pământuri, cu lianți hidraulici sau alte materiale.
- (ii) Malaxarea de suprafață se realizează prin amestecul pământului din loc sau a materialului de aport după așternerea sa în strat cu lianți hidraulici sau alte materiale care, prin reacție cu pământul, duc la o modificare a stării și caracteristicilor acestuia.
- (iii) În funcție de natura materialelor de amestec, amestecurile de pământuri se clasifică în conformitate cu Figura 38.

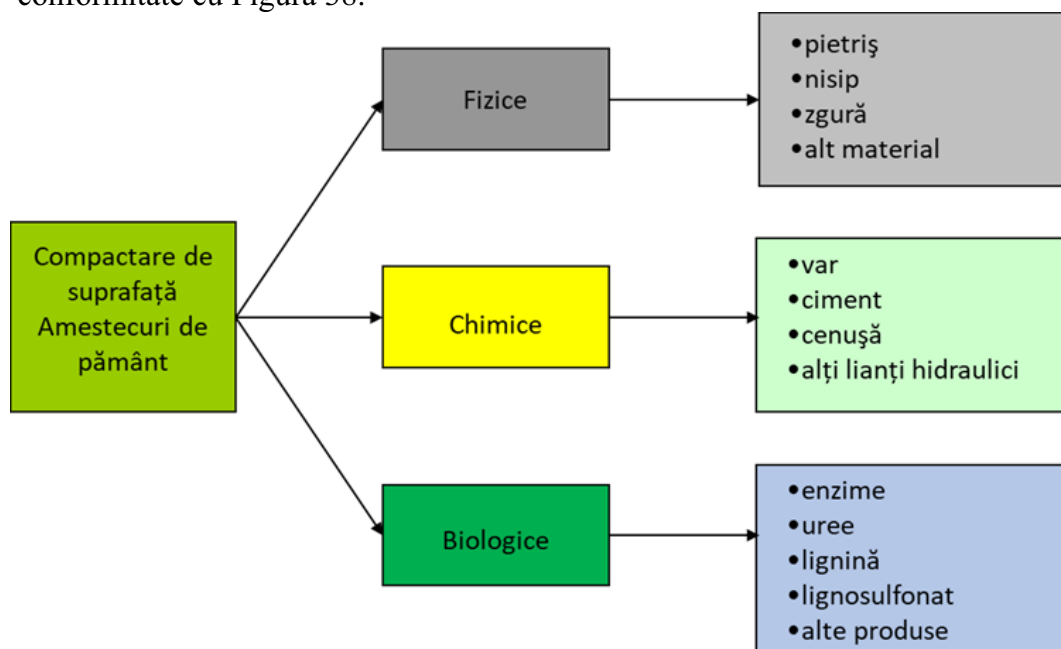


Figura 38. Clasificarea amestecurilor de pământ în funcție de materialele utilizate

(2) Scop: Malaxarea de suprafață a pământului din loc sau de aport cu lianți sau alte substanțe se face în scopul îmbunătățirii sau stabilizării acestuia.

(i) Îmbunătățirea pământului este definită ca operațiunea care modifică proprietățile fizice ale unui material – de exemplu, umiditatea, plasticitatea, sensibilitatea la apă, gelivitatea, capacitatea de compactare sau potențialul de umflare – prin adăugarea unui liant. Cantitatea de liant adăugată poate să nu fie suficientă pentru a induce proprietăți permanente semnificative.

- (ii) Stabilizarea pământului (stabilizare chimică) este definită ca operațiunea care constă în obținerea unui amestec omogen de pământ cu liant (lianți) și, eventual, cu apă care, după compactare adecvată, modifică semnificativ (în general, pe termen mediu sau lung) caracteristicile pământului, astfel încât să îl facă stabil, în mod deosebit în raport cu acțiunea apei sau a înghețului. Stabilizarea pământului îi conferă caracteristici permanente, care pot fi măsurate prin metode tipice pentru materialele solide.
- (iii) Îmbunătățirea proprietăților pământurilor, în funcție de natura pământurilor și de tipul construcțiilor, urmărește:
 - reducerea sau creșterea permeabilității;
 - îmbunătățirea caracteristicilor mecanice: de compresibilitate și de forfecare;
 - reducerea timpului de consolidare (argile subconsolidate);
 - reducerea sensibilității pământurilor în raport cu apa (PSU);
 - diminuarea activității în raport cu apa/reducerea presiunii de umflare (PUCM).

(3) Domeniu de aplicare:

- (i) Malaxarea de suprafață se aplică pentru realizarea unor perne de material compactat, executate prin metoda strat cu strat, în cadrul lucrărilor din pământ pentru:
 - terasamente pentru transporturi: drumuri și autostrăzi, căi ferate, căi navigabile, aeroporturi;
 - platforme pentru clădiri rezidențiale, comerciale sau industriale (obținerea unui teren bun de fundare);
 - lucrări pentru apărarea împotriva inundațiilor și de protecție costieră (baraje, diguri);
 - diguri și rambleuri pentru recuperarea terenurilor;
 - stratul de formă al căilor de comunicații, etc.
- (ii) Îmbunătățirea pământurilor prin malaxare de suprafață se aplică în cazul terenurilor dificile de fundare, definite conform reglementării tehnice NP 074-2022 și/sau a pământurilor sau altor materiale (deșeuri, umpluturi) care nu prezintă caracteristici adecvate pentru utilizarea prevăzută, respectiv:
 - pământuri nisipoase, prăfoase;
 - pământuri fine cu consistență redusă;
 - pământuri sensibile la umezire, definite conform reglementării tehnice NP 125-2010;
 - pământuri cu umflări și contracții mari, definite conform reglementării tehnice NP 126-2010;
 - pământuri cu conținut ridicat de materii organice (peste 5%);
 - deșeuri provenite din activități legate de construcții (beton concasat, agregate reciclate etc.).

(4) Limite:

- (i) dimensiunea maximă a particulelor trebuie să fie compatibilă cu echipamentul utilizat, precum și cu cerințele referitoare la grosimea straturilor după compactare;
- (ii) nu trebuie să existe componente în cantitate semnificativă care să afecteze priza, întărirea, performanța și stabilitatea volumetrică a materialului tratat.

B. Materiale utilizate

(5) Pentru malaxarea de suprafață a pământurilor se pot utiliza materiale de adaos standardizate sau nestandardizate, pentru acestea din urmă fiind necesară agrementarea lor tehnică.

(6) Din categoria produselor standardizate de adaos fac parte: ciment, cenușă zburătoare de termocentrală, zgură granulată de furnal, liant hidraulic rutier și var, generic numite lianți.

(7) Varul trebuie să fie var aerian conform standardului SR EN 459-1, sub formă de var nestins sau var hidratat sau lapte de var.

(8) Cimentul trebuie să fie conform standardului SR EN 197-1.

(9) Liantul rutier este definit ca un liant hidraulic produs în fabrică, furnizat gata de utilizare, ale cărui proprietăți sunt adaptate în mod specific tratării materialelor pentru straturile de bază, sub-bază și straturile de formă, precum și pentru lucrările din pământ la drumuri, căi ferate,

aeroporturi sau alte tipuri de infrastructuri. Liantul hidraulic rutier trebuie să fie conform standardului SR EN 13282-1 (lianți cu întărire rapidă) sau standardului SR EN 13282-2 (lianți cu întărire normală).

(10) Cenușa zburătoare de termocentrală include cenușa zburătoare de termocentrală silicioasă și cenușa zburătoare de termocentrală calcică.

(11) Zgura trebuie să fie, fie zgură granulară de furnal măcinată în conformitate cu standardul SR EN 15167-1, fie zgură granulară de furnal parțial măcinată în conformitate cu standardul SR EN 14227-2. Sunt necesare alte componente pentru a mări reactivitatea hidraulică a zgurii.

(12) Se pot utiliza și amestecuri ale lianților standardizați descriși mai sus, cu condiția ca operația de malaxare să fie efectuată într-o stație de malaxare în conformitate cu o compoziție declarată și să fie controlată prin înregistrări adecvate.

(13) Utilizările tipice ale lianților sunt următoarele:

- varul este utilizat în general pentru a diminua umiditatea materialelor și/sau pentru a îmbunătăți performanța materialelor coezive;
- lianții hidraulici sunt utilizați în principal pentru a crește rapid și semnificativ performanța mecanică a materialelor coezive și necoezive;
- în prezența materialelor coezive și în funcție de aplicație, varul și liantul hidraulic se pot utiliza împreună.

(14) Categoriile de materiale pentru lucrări din pământ care pot fi tratate cu lianți prin malaxare de suprafață sunt:

- pământuri naturale;
- agregate procesate;
- roci cu diferite niveluri de rezistență;
- materiale reciclate (provenite în general de la demolări sau din excavații);
- materiale artificiale (care rezultă din procese industriale care implică modificarea termică sau de altă natură și care nu sunt întotdeauna inerte chimic).

(15) Amestecul dintre material și lianți se poate face în stații de malaxare sau in situ.

(16) Apa eventual utilizată la malaxare nu trebuie să conțină substanțe/elemente care ar afecta negativ priza, întărirea și performanța amestecului.

(17) În amestec se pot utiliza și alte componente (agregatele, gipsul, pământuri, alte materiale sau aditivi, precum agenți de întârziatori de priză), necesare pentru reacția hidraulică sau pentru a o îmbunătăți pe aceasta, pentru îmbunătățirea lucrabilității sau a capacității de a prelua traficul sau a performanței.

(18) Pentru amestecurile fizice se pot utiliza materiale necoezive naturale sau agregate, precum și subproduse industriale.

(19) Pentru amestecurile biologice se pot utiliza enzime, uree sau alte materiale bazate pe produse biologice.

(20) Proporțiile diferitelor componente din amestec sunt stabilite în proiect, în urma studiilor experimentale pentru determinarea rețetelor și se exprimă sub formă de procente de masă în stare uscată din masa totală în stare uscată a amestecului,

C. Studii și încercări necesare pentru proiectare

(21) Pentru procedeul de îmbunătățire prin malaxare de suprafață în scopul executării de lucrări din pământ sunt necesare studii de laborator pentru:

- (i) identificarea și caracterizarea materialelor de tratat;
- (ii) identificarea lianților;
- (iii) analiza fezabilității tratării;
- (iv) determinarea caracteristicilor amestecurilor în laborator;

(22) Studiile de laborator trebuie adaptate obiectivelor urmărite: îmbunătățire sau stabilizare.

(23) Metodologia detaliată de efectuare a studiilor de laborator este prezentată în standardul SR EN 16907-4.

(24) Pentru studiile de stabilizare, standardul SR EN 16907-4 definește trei niveluri posibile:

- (i) studiu de stabilizare de nivel 0 - verificarea fezabilității stabilizării;

- (ii) studiu de stabilizare de nivel 1 - verificarea adecvării unui anumit amestec, selectat în baza experienței anterioare;
- (iii) studiu de stabilizare de nivel 2 - optimizarea conținutului de liant pe baza performanțelor urmărite.

(25) Materialele care urmează să fie tratate sunt identificate în conformitate cu cerințele menționate în prezenta reglementare tehnică, cu cele prevăzute în standardul SR EN 16907-2 pentru identificarea și clasificarea materialelor (dacă se utilizează acea clasificare) și/sau cu prevederile reglementărilor tehnice aplicabile pentru anumite aplicații specifice.

(26) Pentru identificarea și caracterizarea pământurilor de tratat se determină următoarele:

- compoziția granulometrică;
- coeficientul de neuniformitate, în cazul pământurilor necoezive;
- limitele de plasticitate, în cazul pământurilor coezive;
- valoarea de albastru de metilen;
- umiditatea;
- indicele de consistență;
- gradul de îndesare, în cazul pământurilor necoezive;
- rezistența la sfărâmare, pentru elementele grosiere;
- abrazivitate, pentru elementele grosiere;
- cantitatea de materii organice;
- conținutul în săruri solubile;
- umflarea liberă;
- caracteristicile de compactare;
- caracteristicile mecanice:
 - deformabilitate;
 - rezistență la forfecare;
 - rezistență la compresiune monoaxială;
 - indice *CBR*.
- sensibilitatea la apă.

Notă: În Anexa H sunt indicate standardele de încercare de aplicat pentru diverși parametri geotehnici.

(27) Pe baza rezultatelor încercărilor de identificare și caracterizare materialele de tratat se pot încadra în grupele de materiale din clasificarea aplicată, din care rezultă adecvarea materialelor pentru utilizarea prevăzută sau pentru care se pot formula (în alte reglementări tehnice) recomandări adecvate de tratare.

(28) Identificarea lianților:

- (i) pentru lianții acoperiți de un standard armonizat: pe baza Declarației de performanță (DoP);
- (ii) pentru alți lianți: conformitatea liantului cu standardul european relevant al produsului trebuie verificată pe baza fișelor de control al producției și pe baza încercărilor de control, precum și pe baza acordurilor tehnice

(29) Identificarea altor materiale de adaos (materiale necoezive, zgură, enzime etc.) trebuie adaptată fiecărui material în parte.

(30) Analiza fezabilității tratării:

- (i) Fezabilitatea tratării depinde de compoziția granulometrică și de natura componentelor materialului de tratat.
- (ii) Rezultatele încercărilor de identificare și caracterizare și obiectivele de atins în cadrul tratării orientează către utilizarea anumitor lianți care sunt adecvați.
- (iii) Analiza fezabilității tratării trebuie să ia în considerare și lucrabilitatea, precum și aspectele practice de aplicare pe șantier.

(31) Determinarea caracteristicilor amestecurilor în laborator trebuie să vizeze următoarele (prevederi detaliate sunt incluse în standardul SR EN 16907-4):

- (i) caracteristici pentru execuție;
- (ii) caracteristici de performanță.

(32) Caracteristicile pentru execuție sunt cele prevăzute prin proiectul de lucrări din pământ și includ, de regulă:

- gradul de compactare;
- umiditate;
- valoarea de condiție a umidității amestecului;
- indicele de portanță imediată.

(33) Pentru îmbunătățire, standardul SR EN 16907-4 8.2 definește categorii de performanță în funcție de valorile:

- gradului de compactare;
- indicelui de portanță imediată;
- valorii de condiție a umidității.

(34) Pentru stabilizare, standardul SR EN 16907-4 8.3 definește categorii relative la:

- umiditatea necesară a amestecului;
- gradul de fărâmițare (fragmentare) a amestecului;
- indicele de portanță imediată;
- valoarea de condiție a umidității;
- gradului de compactare.

(35) Caracteristicile de performanță includ:

- rezistența la apă;
- indicele de portanță imediată;
- indicele *CBR*;
- rezistență la compresiune monoaxială;
- rezistență la îngheț – dezgheț;
- umflare liberă (liniară sau volumetrică).

(36) Pentru clasificarea performanțelor mecanice, standardul SR EN 16907-4 8.3.2 stabilește categorii de performanță după valorile:

- indicelui *CBR*;
- rezistenței la compresiune monoaxială;
- coroborate ale rezistenței la tracțiune și modulului de deformare;
- rezistenței după imersiune în apă;
- umflării liniare.

(37) Categoriile de performanță pot fi utilizate în proiectare pentru definirea criteriilor aplicabile lucrărilor din pământ realizate prin malaxare de suprafață.

(38) Pe lângă condițiile stabilite de standardul SR EN 16907-4 pot fi aplicabile și alte prevederi specifice anumitor aplicații din reglementările tehnice aplicabile acestora.

D. Proiectare

(39) Proiectarea lucrărilor din pământ realizate prin malaxare de suprafață trebuie să pornească de la cerințele stabilite prin proiectul geotehnic al structurii din pământ (anumite performanțe solicitate pentru materialul tratat), care depind de structura proiectată și de scopul său, de condițiile din amplasament, de prevederile reglementărilor tehnice specifice aplicabile.

(40) Proiectul lucrărilor din pământ realizate prin malaxare de suprafață trebuie să cuprindă, în mod specific:

- rețeta amestecului de aplicat, rezultată în urma studiilor de laborator;
- definirea materialelor de utilizat;
- definirea procesului de execuție care trebuie aplicat;
- definirea criteriilor de performanță finale, precum și pentru fiecare etapă, precum și a încercărilor care trebuie realizate pentru dovedirea conformității.

(41) Întrucât lucrările din pământ care implică malaxare de suprafață sunt puse în operă prin compactare de suprafață, se aplică în mare parte principiile de proiectare de la 5.4.1.

(42) Încercări de conformitate:

- (i) Pentru îmbunătățire se fac verificări ale conformității prin determinarea uneia sau mai multe dintre caracteristicile următoare:

- umiditatea;
 - valoarea de condiție a umidității;
 - densitatea;
 - indicele portant imediat;
 - alte încercări adecvate.
- (ii) Pentru stabilizare se fac verificări ale conformității în două etape:
- în prima etapă se verifică parametrii de tratare, prin determinarea uneia sau mai multor caracteristici dintre următoarele:
 - umiditatea și omogenitatea materialului înainte de malaxare;
 - cantitatea de liant distribuit pe metru pătrat (malaxare în situ) sau verificat în stația de malaxare (malaxare în stație);
 - umiditatea amestecului înainte de compactare;
 - gradul de fărâmițare;
 - grosimea stratului tratat;
 - condițiile de compactare (tipul compactatorului, viteza, frecvența și intervalul vibrațiilor, numărul de treceri);
 - valoarea de condiție a umidității;
 - indicele de portanță imediat;
 - densitatea.
 - în a doua etapă se verifică dacă au fost obținute proprietățile mecanice specificate (fie imediat după tratare, fie la un anumit timp după), dintre următoarele, după caz:
 - densitatea în teren;
 - capacitatea portantă prin încercarea cu placa;
 - încercarea de deflecție;
 - rezistența la compresiune monoaxială;
 - încercarea la tracțiune și determinarea modulului de elasticitate;
 - încercare *CBR*;
 - umflare liberă;
 - orice alte încercări care sunt adecvate.

5.4.3. *Rambleuri și debleuri*

(1) Lucrările din pământ permit realizarea de structuri geotehnice din pământ, care pot fi umpluturi sau rambleuri, respectiv excavații sau debleuri.

(2) Acest capitol al reglementării tehnice abordează proiectarea lucrărilor din pământ pentru realizarea de umpluturi/rambleuri sau de excavații/debleuri. Proiectarea structurilor geotehnice rezultate (rambleuri, diguri, excavații) se realizează în conformitate cu prevederile reglementările tehnice aplicabile.

A. Generalități

(3) Umpluturile reprezintă un termen general utilizat pentru toate structurilor din pământ formate prin punerea în operă a unui material de umplură în mod controlat, în scopuri ingineresti și include rambleuri, umpluturi, umpluturi nestructurale, platforme etc.

(4) Rambleurile sunt structuri înălțate realizate din materiale pământoase, de regulă compactate, care formează o structură din pământ autoportantă (diguri, rambleuri pentru căi de comunicație, depozite de deșeuri, de exemplu).

(5) Umpluturile pot fi puse în operă și prin hidromecanizare.

(6) Debleurile implică înlăturarea materialului din teren pentru a coborî cota acestuia (debleuri pentru căi de comunicație, fundații etc.).

(7) În funcție de aplicație, rambleurile și debleurile pot avea diferite secțiuni transversale sau reguli de conformare.

(8) În Figura 39 sunt prezentate, cu titlu de exemplu, trei dintre cele mai uzuale secțiuni pentru rambleuri și debleuri: a) în umplură, b) în săpături și c) semi-debleu/semi-rambleu.

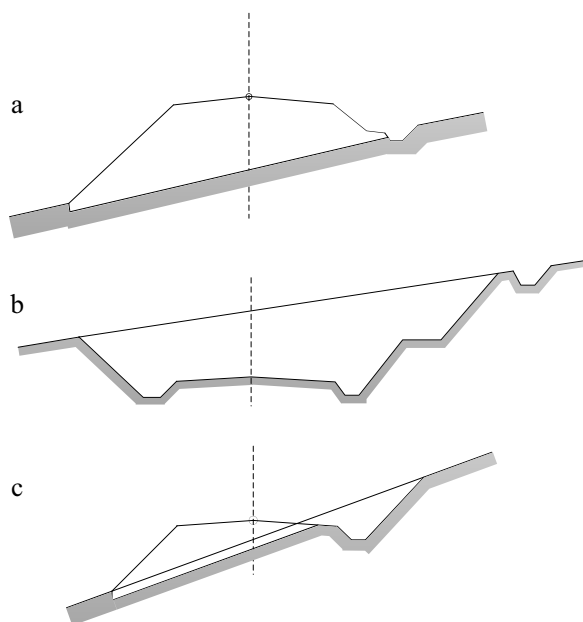


Figura 39. Tipuri generale de rambleuri și debleuri (Smolczyk, 2002)

(9) În Figura 40 sunt prezentate două secțiuni generale ale a) rambleurilor și b) debleurilor pentru terasamentele drumurilor.

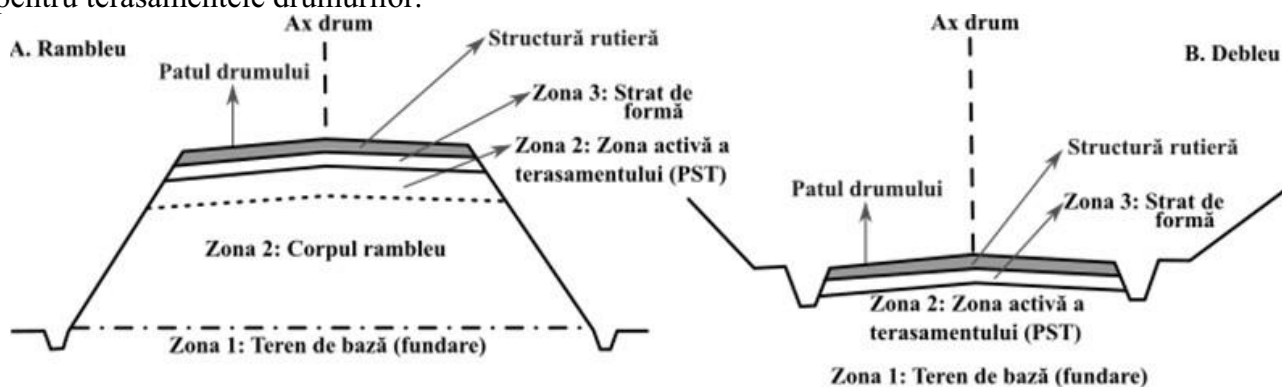


Figura 40. Secțiuni generale ale terasamentelor pentru drumuri (AND 530)

B. Materiale utilizate

(10) Pentru realizarea rambleurilor și umpluturilor pot fi utilizate materialele descrise la 5.3., respectiv cele menționate pentru compactarea de suprafață (5.4.1) sau pentru malaxarea de suprafață (5.4.2).

(11) Pentru realizarea debleurilor și excavațiilor se utilizează materialele existente în teren, eventual după îmbunătățirea lor.

C. Proiectare

(12) Proiectul lucrărilor din pământ pentru umpluturi (rambleuri) și excavații (debleuri) trebuie să definească procedurile de execuție, cum ar fi strategia de excavare, transportul și valorificarea materialului rezultat (pământ sau subproduse), tipurile de echipamente utilizate pentru excavare, transport, așternere în straturi și compactare, precum și procesele specifice fiecărui tip de material de umplură, împreună cu măsurile de control al calității, astfel încât rezultatele obținute să fie conforme cu cerințele sau ipotezele stabilite în proiectul structurilor de pământ.

(13) Proiectul lucrărilor din pământ pentru umpluturi/rambleuri:

- (i) trebuie să respecte regulile de conformare (zonare) ale rambleurilor pentru diferite aplicații specifice, în conformitate cu reglementările tehnice în vigoare aplicabile, precum și cu prevederile proiectului geotehnic al structurii geotehnice din pământ;
- (ii) selecteze materiale de umplură adecvate, ținând cont de scopul final al utilizării, de diferitele zone ale rambleului, de caracteristicile tehnice ale acestuia și de condițiile specifice amplasamentului;

Notă: Există specificații diferite pentru diferitele zone ale unui rambleu (strat de formă sau corp rambleu pentru rambleurile rutiere sau de căi ferate, nucleu, prism amonte, prism aval sau strat de fundație pentru diguri etc. În standardul SR EN 16907-1 pot fi găsite indicații cu caracter general privind aceste aspecte.

- (iii) selecteze o metodă de construcție adaptată tipului de material folosit, destinației rambleului, precum și condițiilor locale ale amplasamentului;

Notă: standardul SR EN 16907-3 prezintă indicații privind metodele de execuție prin compactare a rambleurilor.

- (iv) ia în considerare tasarea rambleului și, potențial și a terenului de fundare, în timpul compactării (în special pentru rambleurile înalte) și să prevadă măsuri pentru compensarea acestora;

Notă: Tasarea din greutate proprie a umpluturilor înalte este cuprinsă, în general, între 0.5% din înălțimea rambleului pentru pământuri granulare grosiere și 1% din înălțimea rambleului pentru pământuri fine cu umiditate mare. Tasarea din greutate proprie poate fi redusă printr-un grad de compactare mai mare sau îmbunătățirea pământului prin malaxare de suprafață cu lianți hidraulici sau var.

- (v) să prevadă măsuri adecvate de drenare, colectare și evacuare a apelor pentru a evita saturarea rambleului, ținând cont și de procedura de punere în operă (pentru punerea în operă prin hidromecanizare, de exemplu trebuie luate măsuri specifice);

Notă: Recomandări cu caracter general pentru drenarea lucrărilor din pământ pot fi găsite în standardul SR EN 16907-1 Articolul 10.

- (vi) să prevadă măsuri adecvate pentru a asigura stabilitatea pantelor finale proiectate ale rambleului și pantelor temporare pe tot parcursul execuției lucrărilor din pământ;

- (vii) pentru punerea în operă prin compactare să respecte prevederile de la 5.4.1;

- (viii) în cazul în care materialele utilizate sunt tratate prin malaxare de suprafață să respecte prevederile de la 5.4.2;

- (ix) să prevadă măsuri adecvate pentru gestiunea materialelor excedentare, ținând cont de originea și natura lor, de posibilitățile lor de utilizare ulterioară în cadrul lucrării și de eventuala lor contaminare;

- (x) să prevadă măsurile adecvate de protecția mediului.

(14) Proiectul lucrărilor din pământ pentru excavații/debleuri (sunt incluse aici și excavațiile din carieră pentru materiale de aport pentru umpluturi):

- (i) să selecteze metode de execuție adaptate în funcție de materialul excavat (pământ, roci, deșeuri etc.);

Notă: În standardul SR EN 16907-3 Articolul 5 sunt date recomandări cu caracter general privind metodele adecvate de excavare în funcție de tipul de material, precum și indicații specifice pentru excavarea în roci.

- (ii) să prevadă măsuri adecvate pentru menținerea stabilității pantelor formate temporar în timpul excavațiilor și a celor finale proiectate în cadrul proiectului geotehnic al structurii rezultate, inclusiv în ceea ce privește eroziunea de suprafață;

Notă: În general, se recomandă ca pantele temporare să nu fie mai abrupte decât cele finale proiectate sau, dacă sunt necesare pante mai abrupte să fie analizată stabilitatea acestora pe durata de expunere corespunzătoare, luând în considerare și întreruperile lucrului.

- (iii) să prevadă măsuri corespunzătoare pentru colectarea și evacuarea apelor de precipitații, precum și pentru evitarea producerii eroziunii de suprafață a taluzurilor excavate;

Notă: Recomandări cu caracter general pentru drenarea lucrărilor din pământ pot fi găsite în standardul SR EN 16907-1 Articolul 10.

- (iv) să planifice atent și sistematic lucrările de excavare pentru a menține calitatea pământului excavat și a rocilor, eventual utilizate ulterior în umpluturi;

- (v) să se asigure că stabilitatea taluzurilor debleurilor nu este afectată în mod negativ de metoda de construcție aleasă și de condițiile reale de teren întâlnite pe amplasament;

- (vi) să planifice lucrările din pământ astfel încât să nu fie deteriorată starea terenului ca rezultat al activităților lucrărilor din pământ;

- (vii) să identifice acele condiții speciale ale terenului din amplasament care prezintă risc ridicat pentru execuția debleurilor (lentile moi, pungi de apă etc.) și să prevadă măsuri adecvate pentru acestea;

- (viii) să cuprindă un plan de monitorizare a stabilității excavațiilor sau structurilor adiacente;

- (ix) să prevadă măsurile adecvate de protecția mediului.

(15) Proiectul lucrărilor din pământ poate fi optimizat în ceea ce privește mișcările de pământuri între excavații, resursele externe și rambleuri, precum și utilizarea echipamentelor de execuție a lucrărilor, în scopul:

- reducerii distanțelor de transport;
- refolosirii optime a materialelor;
- atingerii unei eficiențe maxime a echipamentelor.

Notă. Indicații cu caracter general asupra optimizării proiectelor lucrărilor din pământ pot fi găsite în standardul SR EN 16907-1 Articolul 11.

5.4.4. Poligoane experimentale

(16) Pentru lucrările din pământ poligoanele experimentale sunt executate pentru metoda de punere în operă strat cu strat, prin compactare, precum și pentru malaxarea de suprafață, în scopul de a furniza parametrii de compactare, performanțele obținute etc.

(17) Poligoanele experimentale sunt aplicabile pentru toate metodele de proiectare, construcție și control.

5.4.4.1. Poligoane experimentale pentru compactare

(18) Poligoane experimentale pentru compactare sunt utilizate pentru a obține informațiile care să stea la baza deciziei de selectare a metodei de compactare adecvate unui anumit tip de material (încercări preliminare) sau pentru a verifica dacă metoda de compactare aleasă pentru un material permite obținerea rezultatelor așteptate (încercarea de acceptare).

(19) Pentru încercările preliminare poligonul experimental se efectuează obligatoriu înainte de începerea compactării lucrărilor din pământ din lucrare.

(20) Poligoanele experimentale trebuie planificate pentru a răspunde obiectivului stabilit al acestora, respectiv trebuie precizate următoarele:

- tipul de material compactat;
- parametrii de compactare care vor fi utilizați (grosimea straturilor, echipamentele, energia de compactare, număr de treceri, viteză de compactare etc.);
- modul de evaluare al rezultatelor (metode de măsurare, numărul de puncte de încercare, locația lor etc.);

(21) Rezultatele obținute la încercările preliminare în poligonul experimental se transmit proiectantului care, în urma analizei acestora, stabilește instrucțiunile de compactare.

(22) În general se recomandă ca lățimea poligonului experimental să fie egală cu cea a utilajului de compactare, iar lungimea egală cu 2...5 m pentru fiecare sector pentru care se propune un anumit număr de treceri ale utilajului de compactare.

(23) Dacă se realizează un rambleu de încercare, în conformitate cu standardul SR EN 16907-3, dimensiunile sale minime trebuie să fie: lungime 30 m și o lățime egală cu de trei ori lățimea compactorului, iar măsurările grosimii straturilor se realizează pe zona mediană. Se pun în operă cel puțin patru straturi compactate, iar densitățile in situ se înregistrează în puncte distribuite uniform pe întreaga suprafață de încercare.

(24) Poligonul experimental trebuie să cuprindă prelevare de probe compactate de la diferite adâncimi, pe înălțimea stratului compactat astfel încât, prin comparație cu instrucțiunile din caietele de sarcini, să se stabilească grosimea maximă a stratului compactat și numărul minim de treceri ale utilajului de compactare.

(25) Grosimea stratului compactat se împarte în 3 - 5 sub-straturi din care se prelevează probe pentru determinarea gradului de compactare și/sau a altor parametri de control.

(26) Este utilă reprezentarea gradului de compactare în funcție de numărul de treceri ale utilajului de compactare pentru a determina numărul minim de treceri necesar pentru a fi asigurat gradul de compactare cerut pe grosimea unuia sau mai multor sub-straturi. În Figura 41 este prezentat un exemplu al unui astfel de grafic (recomandat și în standardul SR 2914-2024 pentru terasamente rutiere).

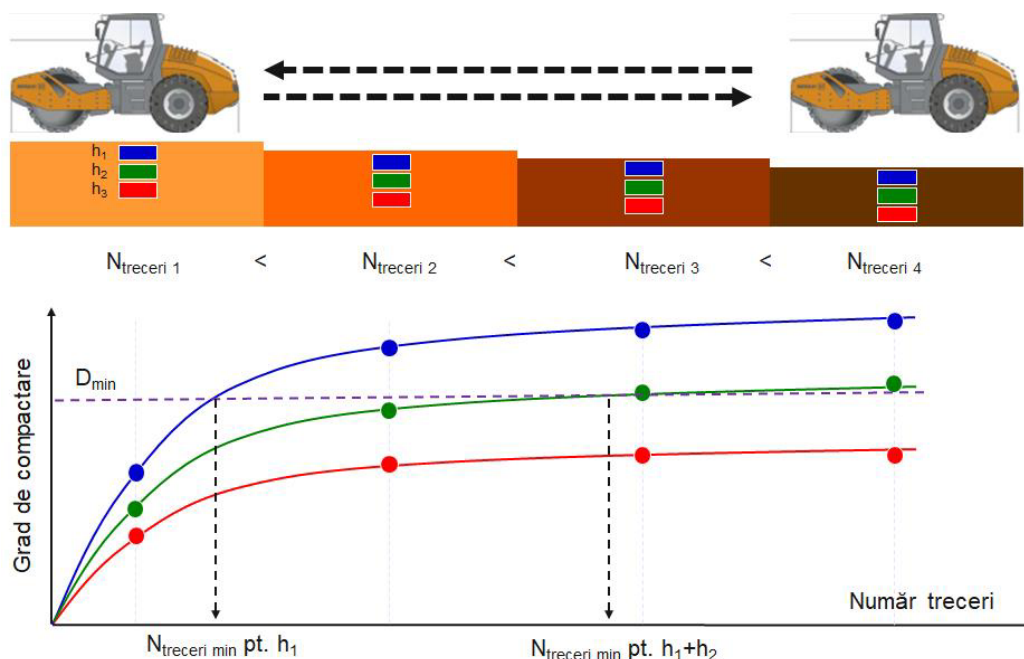


Figura 41. Reprezentarea grafică a rezultatelor poligonului experimental pentru determinarea numărului optim de treceri ale utilajului de compactare și a grosimii maxime a stratului compactat (SR 2914-2024)

(27) Deși, de regulă, obiectivul principal al poligoanelor experimentale este determinarea conformității execuției cu valoarea minimă impusă a gradului de compactare, respectiv al densității în stare uscată, se pot utiliza poligoanele experimentale și pentru determinarea altor parametri de performanță după compactare, precum de exemplu:

- modulul de deformare determinat prin încercări pe teren, de regulă prin încercarea cu placa. În acest caz, grosimea de umplutură compactată de sub placă trebuie să fie suficientă, respectiv de cel puțin două ori diametrul plăcii;
- rezistența la forfecare a pământurilor coezive determinată în laborator pe probe prelevate din straturile compactate sau prin încercări pe teren adecvate;
- gradul de îndesare al pământurilor granulare prin încercări de penetrare;
- valorile indicelui *CBR* pe teren.

5.4.4.2. Poligoane experimentale pentru malaxarea de suprafață

(28) Suplimentar față de scopurile cu care se organizează poligoane experimentale pentru compactare, în cazul malaxării de suprafață acestea sunt realizate, atât pentru încercările preliminare, cât și pentru cele de conformitate, pentru a determina elemente specifice, precum: adâncimea de tratare posibilă pentru un anumit echipament, performanțele atinse de straturile îmbunătățite cu o anumită rețetă etc.

(29) În general se prelevează probe din straturile tratate și compactate și se determină în laborator parametrii solicitați, dar este posibilă și încercarea pe teren a unor parametri, în special pentru stabilizare, pentru care în a doua etapă de încercare a conformității pot fi determinați și alți parametri de performanță: modul de deformare (de exemplu prin încercarea cu placa), încercare cu deflectometrul sau încercare *CBR*.

5.5. Specificații tehnice pentru lucrări din pământ

(1) Proiectul geotehnic al lucrărilor din pământ trebuie să cuprindă specificații tehnice pentru:

- proprietățile materialelor ce pot fi utilizate pentru umpluturi și modul de verificare a acestora;
- metodele utilizate pentru extracția materialului, transportul său, punerea în operă, pentru compactarea acestuia și, dacă este cazul, pentru îmbunătățirea sau stabilizarea acestuia pentru a-i modifica proprietățile;
- procedurile de control al calității, de inspecție și de monitorizare a structurilor geotehnice rezultate;

- amplasarea zonelor de depozitare a materialelor;
- proceduri specifice de lucru în condiții speciale (temperaturi scăzute, precipitații etc.);
- secvența de operații.

(2) Specificațiile tehnice pentru lucrările din pământ trebuie să descrie în mod corespunzător, detaliat și clar cerințele proiectului, să fie aplicabile și să permită aplicarea unei proceduri de asigurarea calității lucrărilor.

(3) Specificațiile tehnice trebuie să includă toate condițiile ce trebuie îndeplinite pe durata execuției lucrărilor din pământ pentru a asigura respectarea cerințelor generale formulate de standardul SR EN 16907-1 12.1, respectiv:

- compatibilitatea chimică a materialelor utilizate cu mediul;
- durabilitatea materialelor utilizate;
- stabilitatea și rezistența suprafețelor rezultate din lucrările din pământ;
- execuția și mentenanța în condiții de siguranță.

(4) Specificațiile tehnice pentru lucrări din pământ trebuie să fie adaptate la natura și starea materialelor ce urmează a fi utilizate.

(5) Pentru lucrările din pământ se utilizează trei posibilități de specificare:

- (i) specificații pentru produsul finit;
- (ii) specificații pentru metoda aplicată;
- (iii) specificații pentru performanță.

(6) Specificațiile pentru produsul finit definesc obiectivele generale care sunt urmărite, fără a defini metodele utilizate pentru atingerea lor. Detalii despre specificațiile pentru produsul finit în cazul lucrărilor din pământ pot fi găsite în standardul SR EN 16907-1 12.2.

(7) Specificațiile pentru metoda aplicată definesc modul în care trebuie efectuată execuția, de exemplu compactarea. În unele cazuri pot fi necesare poligoane experimentale pentru a verifica atingerea obiectivelor generale ale proiectului. De asemenea, în unele cazuri o astfel de specificație poate fi dublată de o specificație pentru produsul finit. Detalii despre specificațiile de metodă în cazul lucrărilor din pământ pot fi găsite în standardul SR EN 16907-1 12.3.

(8) Specificațiile pentru performanță impun ca lucrările din pământ/structurile finale rezultate să atingă anumite criterii de performanță (capacitate portantă, tasări etc.). Detalii despre specificațiile de performanță în cazul lucrărilor din pământ pot fi găsite în standardele SR EN 16907-1 12.4.

(9) În funcție de metoda de specificare aplicată în proiect se definesc și cerințele de verificare a calității și conformității lucrărilor.

(10) Controlul calității lucrărilor din pământ se execută în conformitate cu cerințele stabilite în standardele SR EN 16907-5 și se desfășoară atât pe parcursul execuției, cât și în etapa finală a lucrărilor.

(11) Suplimentar față de (10) se aplică prevederile referitoare la controlul calității lucrărilor din pământ din reglementările tehnice aplicabile pentru anumite aplicații (drumuri – standardul SR 2914-2024, îmbunătățiri funciare STAS 9850 etc.), precum și cele din reglementarea tehnică C56-1985.

(12) Încercările de conformitate se referă la materialul utilizat pentru execuția lucrărilor din pământ, la performanțele lucrărilor din pământ executate sau la calitatea lucrărilor de compactare, după caz.

(13) Detalii legate de încercările de conformitate ale lucrărilor din pământ pot fi găsite în standardul SR EN 16907-5 Articolul 8.

(14) Numărul determinărilor necesare pentru controlul calității lucrărilor de compactare a pământurilor coezive și necoezive este stabilit de către proiectant, în caietul de sarcini, în funcție de tipul și importanța lucrării, cu respectarea prevederilor reglementărilor tehnice în vigoare privind numărul minim necesar de încercări pentru diferite aplicații.

(15) Gradul de compactare al lucrărilor din pământ executate cu materiale coezive se verifică prin prelevarea de probe netulburate din stratul compactat și determinarea densității în stare uscată a acestora, care trebuie comparată cu densitatea în stare uscată maximă stabilită prin încercarea Proctor.

(16) Pentru materialele necoezive puse în operă prin compactare se determină densitatea în situ prin metoda determinării volumului de apă și cu folie de material plastic.

(17) Pentru determinarea densității în situ se pot folosi și alte metode de determinare pe teren, precum: metode geofizice - metode seismice, metode electrometrice, metode radiometrice - sau prin încercări de penetrare statică sau dinamică.

(18) Atunci când sunt stabilite prin specificațiile tehnice anumite criterii tehnice legate de deformabilitatea sau capacitatea portantă obținută după compactare se execută determinările corespunzătoare pe teren care sunt indicate în specificații și care pot fi, de exemplu, încercarea cu placa statică sau dinamică, cu deflectometrul sau încercări de penetrare.

(19) Atunci când se utilizează metode indirecte pe teren pentru determinarea densității în situ și verificarea gradului de compactare, ca de exemplu încercarea cu placa dinamică, este necesară calibrarea valorilor determinate pe teren cu valori măsurate în laborator pe un poligon experimental, pentru fiecare tip de material utilizat. Metodele indirecte de acest tip se pot utiliza doar pentru verificarea internă a calității compactării executate.

(20) Proiectantul va analiza în detaliu toate rapoartele de încercare aferente verificării gradului de compactare, umidității și altor parametri geotehnici relevanți, întocmite de laboratoarele autorizate/acreditate. Analiza va viza verificarea conformității valorilor determinate față de cerințele din proiect, caietul de sarcini, precum și față de reglementările tehnice aplicabile.

(21) În cazul lucrărilor de malaxare de suprafață pentru îmbunătățire sunt specificate ținte pentru:

- valoarea umidității sau
- valoarea indicelui de plasticitate sau
- valoarea de condiție a umidității sau
- valoarea indicelui de portantă imediată sau
- valoarea gradului de compactare.

(22) În cazul lucrărilor de stabilizare, se poate utiliza una din următoarele două opțiuni pentru specificații lucrărilor:

- specificarea naturii și cantității de liant de utilizat și parametrii de execuție (grosimea stratului, umiditatea, metoda de compactare, echipamentul) sau
- specificarea performanței mecanice solicitate pentru materialul tratat (capacitatea portantă sau rezistența sau rigiditatea sau un alt parametru relevant).

ANEXA A

COMPACTARE DINAMICĂ PRIN BATERE

A.1. Estimarea suprafeței și adâncimii îmbunătățite

(1) În cazul compactării terenului de fundare a unei viitoare structuri, zona compactată trebuie să fie extinsă în afara amprenteii construcției cu cel puțin jumătate din grosimea stratului de pământ care urmează să fie îmbunătățit. În mod similar, în cazul unui terasament, mărimea suprafeței ce urmează a fi îmbunătățită include lățimea bazei terasamentului, la care se adaugă o distanță minimă egală cu aproximativ jumătate din grosimea stratului care urmează să fie compactat, de fiecare parte a limitei terasamentului.

(2) Adâncimea pe care stratul de pământ necesită a fi îmbunătățit este determinată în urma realizării studiilor geotehnice. Relația dintre adâncimea efectivă de îmbunătățire și energia de cădere a unui mai este următoarea:

$$D = n \cdot \sqrt{W \cdot H} \quad (\text{A.1})$$

unde:

D – adâncimea efectivă de îmbunătățire (metri);

W - masa maiului (tone);

H - înălțimea de cădere a maiului (metri);

n - coeficient empiric care depinde de tipul pământului, gradul de saturație și viteza de cădere a maiului.

Valoarea coeficientului n variază între $0,3 \div 0,8$. Valori recomandate pentru coeficientul n se găsesc în tabelul A.1. În cazul depozitelor de deșeuri (gropi de gunoi) se utilizează de regulă valoarea 0,4.

Tabelul A.1. Valori recomandate pentru coeficientul n (Han, 2015¹², FHWA/RD-86/133¹³)

Tipul de pământ	Gradul de saturație	n
Pământuri permeabile — straturi de pământ granulare	mare	0,5
	scăzut	$0,5 \div 0,6$
Pământuri semi-permeabile — în principal prafuri cu indicele de plasticitate $I_p < 8$	mare	$0,35 \div 0,4$
	scăzut	$0,4 \div 0,5$
Pământuri semi-permeabile — în principal pământuri argiloase cu indicele de plasticitate $I_p > 8$	mare	Nu este recomandat
	Scăzut ($w < w_p$)	$0,35 \div 0,4$
<i>I_p - indicele de plasticitate, w - umiditatea naturală, w_p = limita inferioară de plasticitate. Pentru o energie $W \cdot H = (1 \div 3) \text{ MJ/m}^2$ și o cădere a maiului utilizând un singur cablu și cu un tambur cu derulare liberă.</i>		

A.2. Adâncimea craterului format în urma compactării

(1) Adâncimea craterului (d_{cd}) format în urma compactării se poate determina direct prin măsurători in situ (FHWA/RD-86/133) sau se pot folosi relații empirice. Adâncimea craterului se limitează în general la înălțimea maiului plus 0,3 m, pentru a asigura siguranța și ușurința operațiunii de compactare.

(2) O relație empirică folosită pentru o estimare grosieră a adâncimii craterului pentru pământuri cu un grad de saturație scăzut este (Han, 2015):

$$d_{cd} = 0,028 \cdot N^{0,55} \cdot \sqrt{W \cdot H} \quad (\text{A.2})$$

unde:

N – numărul de lovituri aplicat în acel punct.

¹² Han J. (2015) Principles and Practices of Ground Improvement, John Wiley & Sons, Inc.

¹³ FHWA/RD-86/133 Dynamic Compaction for Highway Construction, Volume I: Design and Construction Guidelines, Federal Highway Administration, Washington, DC 20590.

A.3. Cerințe privind energia aplicată (AE)

(1) Energia aplicată AE reprezintă cantitatea medie de energie aplicată pe fiecare metru pătrat de amplasament.

$$AE = \frac{(W \cdot H) \cdot N \cdot N_p}{A_e} \quad (A.3)$$

unde:

AE - energia aplicată (t/m^2);

N - numărul de căderi în fiecare punct (între 5 - 10 căderi ale maiului);

A_e - suprafața de influență (echivalentă) a fiecărui punct de impact ($A_e = s^2$ pentru o rețea pătrată sau $A_e = 0,867 \cdot s^2$ pentru o rețea în formă de triunghi echilateral, unde s este latura rețelei);

N_p - numărul de treceri.

Această energie aplicată inițial terenului (AE) este denumită în literatura de specialitate „energie de nivel ridicat”, utilizând un mai greu și o înălțime de cădere mai mare. Aplicarea energiei de nivel ridicat (AE) poate conduce la formarea de cratere de 1 până la 1,5 m adâncime. După nivelarea terenului, acest proces va lăsa un strat superficial afânat, acesta putând fi compactat printr-o trecere de nivelare, folosind un mai de dimensiuni mai mici și o înălțime de cădere mai redusă, energia aplicată în acest caz notându-se cu (AE_{IP}).

(2) Energia totală aplicată (AE_{total}) va fi suma dintre energia de nivel înalt (AE) și cea din timpul trecerii de nivelare (AE_{IP}).

$$AE_{total} = AE + AE_{IP} \quad (A.4)$$

Acolo unde adâncimile craterelor sunt reduse, trecerea de nivelare poate fi omisă, iar compactarea suprafeței se realizează cu echipamente de compactare convenționale.

(3) Energia unitară aplicată (UAE) reprezintă cantitatea totală de energie mecanică transferată unui anumit volum sau unei anumite suprafețe de pământ în scopul compactării acestuia:

$$UAE = \frac{AE + AE_{IP}}{D} \quad (A.5)$$

În tabelul A.2 sunt date valori orientative pentru energia unitară aplicată (UAE) necesară în funcție de tipul de pământ.

Tabelul A.2. Energia Unitară Aplicată Necesară (Han, 2015, FHWA/RD-86/133)

Tipul de pământ	Energie Unitară aplicată UAE (kJ/m ³)	% Energia Proctor Standard
Pământuri granulare (Nisipuri, pietrișuri)	200 - 250	33-41
Pământuri semi-permeabile (Prafuri, argile nisipoase)	250 - 350	41-60
Depozite de deșeuri/Umpluturi	600 - 1100	100-180
<i>Energia Proctor Standard = 600 kJ/m³</i>		

(4) Trecerea de nivelare este utilizată în principal pentru a compacta stratul de pământ afânat de la suprafață, pe adâncimea craterelor. Energia aplicată necesară pentru compactarea de nivelare este estimată după cum urmează:

$$AE_{IP} = UAE \cdot d_{cd} \quad (A.6)$$

(5) Numărul de căderi (N) pentru trecerea de nivelare poate fi determinat utilizând Ecuația (A.3), dacă sunt cunoscute greutatea și înălțimea de cădere a maiului folosit pentru această fază, precum și suprafața de influență a fiecărui punct de impact.

A.4. Gradul de îmbunătățire

(1) Gradul de îmbunătățire depinde de tipul de pământ, conținutul de fracțiuni fine, nivelul pânzei freactice, energia aplicată, configurația punctelor de compactare și timp.

Tabelul A.3 indică valori limită superioare ale rezultatelor încercărilor în situ obținute după compactarea dinamică. Tabelul poate fi utilizat pentru a stabili valori țintă pentru proiectarea preliminară a compactării dinamice. Valorile din tabel reprezintă valorile maxime ale rezultatelor încercărilor în situ realizate pe terenul îmbunătățit pentru adâncimile cuprinse între D/3 și D/2. Deasupra și sub acest interval de adâncime, valorile vor fi mai mici.

Tabelul A.3. Valorile limită maxime ale rezultatelor încercărilor obținute prin încercări în situ după îmbunătățirea terenului prin compactarea dinamică (Han, 2015, FHWA/RD-86/133)

Tipul de pământ	SPT N (lovituri/0,3 m)	CPT q _c (MPa)	PMT p _L (MPa)
Pământuri cu granulație mare, permeabile:			
Nisipuri și pietrișuri	40 - 50	19 - 29	1,9 - 2,4
Pământuri semi-permeabile:			
Nisipuri și pietrișuri	40 - 50	19 - 29	1,9 - 2,4
Prafuri și prafuri argiloase	25 - 35	10 - 13	1,0 - 1,4
Pământuri impermeabile parțial saturate:			
Umpluturi de argilă și steril minier	30 - 40	N/A	1,4 - 1,9
Depozite de deșeuri (gropi de gunoi)	20 - 40	N/A	0,5 - 1,0

A.5. Numărul de lovituri și de treceri

(1) Pe baza valorii UAE necesare din Tabelul A.2 și a AE_{IP} , cu Ecuația (A.6) se poate calcula energia totală aplicată necesară pentru compactarea de înaltă energie (AE) utilizând Ecuația (A.5), iar numărul de lovituri (N) poate fi calculat cu ajutorul Ecuației (A.3), dacă se presupune o singură trecere ($N_p = 1$).

Atunci când numărul de lovituri rezultat în urma calculului pentru un singur punct, pentru o singură trecere, este prea mare (mai mult de 10 lovituri) sau adâncimea craterului este prea mare, operațiunea de compactare ar trebui divizată în două sau mai multe treceri.

Numărul de lovituri poate fi determinat prin încercări de probă (poligoane de încercare) efectuate pe șantier.

(2) Așa cum a fost menționat mai sus, adâncimea craterului se limitează la aproximativ înălțimea maiului plus 0,3 m. Dacă a fost depășită adâncimea maximă a craterului fără a fi fost aplicată întreaga cantitate de energie, fie se umple craterul cu pământ, fie se nivelează terenul și apoi se aplică energia rămasă în timpul unei treceri ulterioare.

(3) În pământurile saturate sunt necesare mai multe treceri în comparație cu pământurile nesaturate. Este recomandat ca la începutul execuției să fie instalat în pământ un dispozitiv de măsurare a presiunii apei în pori, care va măsura creșterea și scăderea acesteia după fiecare lovitură a maiului. Primele câteva lovituri ar putea să nu provoace o creștere semnificativă a presiunii apei în pori, dar loviturile repetate ar putea conduce la creșterea acesteia. În funcție de tipul pământului de îmbunătățit, loviturile vor fi aplicate la un interval de timp mai mare pentru a permite disiparea acestui exces de presiune. Informațiile furnizate de citirile de pe teren pot fi utile în planificarea atât a numărului de lovituri în fiecare punct, cât și a perioadei de așteptare înainte de aplicarea energiei suplimentare (FHWA-SA-95-037¹⁴).

¹⁴ FHWA-SA-95-037 Geotechnical Engineering Circular No. 1 - Dynamic Compaction, Federal Highway Administration, Washington, DC 20590.

A.6. Dimensiunile caroiului (rețelei) de compactare dinamică

(1) La lucrările de compactare dinamică (DC) amplasamentul este organizat sub forma unui caroi, fiind stabilit un punct de batere în fiecare ochi al rețelei. Dimensiunile caroiului trebuie selectate astfel încât să terenul să fie îmbunătățit cât mai uniform.

(2) Distanța dintre amprente (puncte de lovire) poate varia în funcție de tipul de pământ care urmează a fi compactat și de poziția pânzei freatice. În straturile de pământ semi-permeabile unde nivelul pânzei freatice este ridicat, este important ca între amprente să fie păstrată o distanță destul de mare. De obicei, pentru aceste terenuri se utilizează distanțe de ordinul a 10 - 15 m (FHWA/RD-86/133). O regulă empirică aplicată în unele proiecte este utilizarea unei distanțe între amprente egală cu grosimea stratului care urmează să fie îmbunătățit (Bergado et al., 1996¹⁵; FHWA/RD-86/133).

(3) Motivul pentru care se folosește o distanță mare între puncte este de a permite presiunilor în exces ale apei din pori să se disipeze în locația fiecărui crater individual după compactare, în timp ce compactarea are loc într-o zonă aflată la distanță. Această disipare a presiunii din pori are loc mult mai rapid dacă distanța dintre amprente este mare. După ce întreaga zonă este compactată printr-o trecere completă, compactarea dinamică poate fi reluată în puncte intermediare prin treceri succesive, păstrând o distanțare similară a amprentelor (FHWA/RD-86/133).

A.7. Intervalul de timp între treceri

(1) În straturile cu granulație fină, cum este Zona 2 din Figura A.1, presiunea apei din pori dezvoltată în urma compactării dinamice a stratului de pământ poate necesita câteva zile până la câteva săptămâni pentru a se disipa. Ca urmare a creșterii presiunii apei din porii pământului, energia aplicată acestuia în urma căderii maiului nu are ca efect compactarea acestuia. În acest caz, energia de compactare trebuie aplicată în treceri multiple pentru a permite disiparea presiunii excesive a apei în pori între treceri.

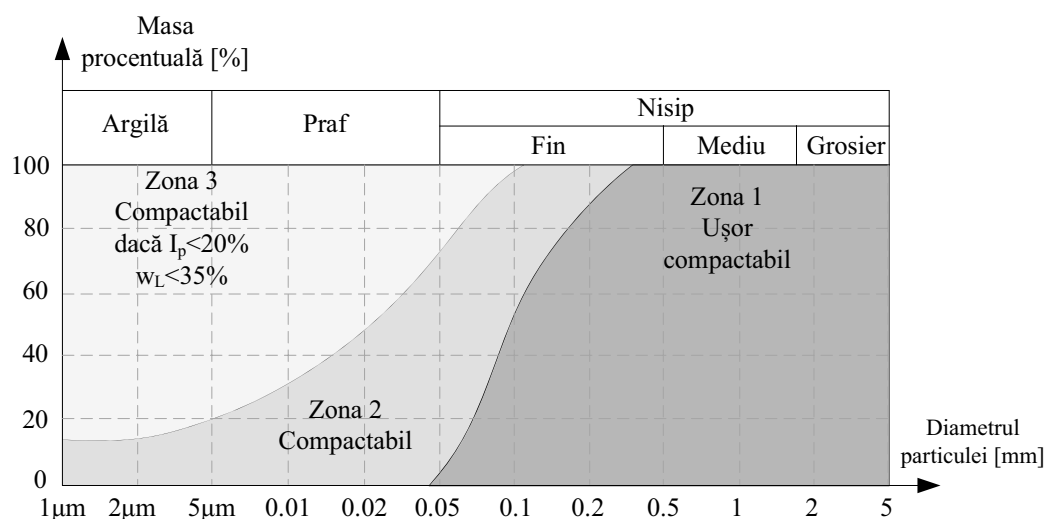


Figura A.1. Criterii de eficiență a compactării dinamice pentru diferite tipuri de pământuri (Van Impe, 1995)

(2) În straturile foarte permeabile (Zona 1), presiunea apei în pori generată ca urmare a compactării se disipează între lovituri, energia putând fi aplicată de regulă într-o singură trecere.

(3) Dacă este necesară mai mult de o trecere pentru a aplica energia, numărul de lovituri pentru fiecare trecere scade proporțional. În Ecuația A.3, produsul dintre numărul de lovituri (N) și numărul de treceri (N_p) trebuie să rămână constant. De exemplu, dacă sunt necesare 12 lovituri în

¹⁵ Bergado D.T.; Anderson L.R.; Balasubramaniam A.S. (1996) Soft ground improvement in lowland and other environments. Amer Society of Civil Engineers.

fiecare punct al rețelei, dar pot fi finalizate doar 6 lovituri înainte ca adâncimea craterului să devină excesivă sau să se dezvolte presiuni excesive ale apei în pori, vor fi necesare două treceri a câte 6 lovituri pe trecere.

(4) Procesul de proiectare a compactării dinamice este rezumat în Tabelul A.4.

Tabelul A.4. Linii directe pentru proiectarea lucrărilor de îmbunătățire prin compactare dinamică (FHWA-SA-95-037)

Parametri de determinat	Procesul de evaluare
Etapa 1: Selectarea maiului și a înălțimii de cădere pentru adâncimea de îmbunătățire necesară	A. Se determină grosimea stratului identificat prin investigațiile geotehnice care necesită a fi îmbunătățit prin compactare pentru a satisface cerințele de proiectare. B. Se utilizează Ecuația A.1 și se selectează valoarea lui n din Tabelul A.1 în funcție de tipul de pământ.
Etapa 2: Determinarea energiei aplicate pentru a atinge adâncimea de îmbunătățire necesară	A. Se utilizează informațiile din Tabelul A.2 pentru a selecta energia unitară corespunzătoare clasificării stratului de pământ. B. Se înmulțește energia unitară cu grosimea stratului de îmbunătățit pentru a obține energia care trebuie aplicată la suprafața terenului (AE).
Etapa 3: Suprafața care trebuie îmbunătățită prin compactare dinamică	A. Pentru amplasamente plane se utilizează o rețea de compactare pe întreaga suprafață ce necesită îmbunătățire, plus o distanță dincolo de ampriza proiectului egală cu adâncimea de îmbunătățire. B. Dacă stabilitatea amplasamentului aflat în pantă reprezintă un pericol, poate fi necesară îmbunătățirea pe o suprafață plană mai extinsă. C. În zonele cu concentrații de încărcări se aplică o energie suplimentară, după cum este necesar.
Etapa 4: Distanța dintre punctele rețelei și numărul de lovituri	A. Se selectează o distanță a rețelei cuprinsă între 1,5 și 2,5 ori diametrul maiului. B. Se introduc valorile W și H de la etapa 1 și energia aplicată de la etapa 2 în ecuația A.3. C. Se utilizează ecuația A.3 pentru a calcula produsul dintre N și N_p. În general, se execută între 7 și 15 lovituri în fiecare punct al rețelei. Dacă calculele indică semnificativ mai mult de 15 sau mai puțin de 7 lovituri se ajustează distanța dintre punctele rețelei.
Etapa 5: Treceri multiple Notă: Evaluarea adâncimii craterelor sau a refulării terenului înainte de compactarea dinamică este dificilă. Se recomandă ca proiectul să prevadă treceri multiple acolo unde sunt prezente terenuri foarte afânate (cum sunt gropile de gunoi) sau unde straturile prăfoase sunt aproape de limita de saturare.	A. Se recomandă ca adâncimea craterelor să fie limitată la înălțimea maiului plus 0,3 m. B. Aplicarea energiei trebuie să înceteze dacă apare refularea terenului. C. Dacă situațiile descrise la punctele A sau B de mai sus apar înainte de aplicarea numărului necesar de lovituri trebuie utilizate treceri multiple pentru a: - permite nivelarea terenului (dacă apare situația de la punctul A) - permite disiparea presiunii apei din pori (dacă apare situația de la punctul B)
Etapa 6: Stratul de stabilizare a suprafeței	A. Nu este necesar pentru pământurile din Zona 1. Poate fi necesar pentru pământurile din Zona 2 dacă sunt aproape saturate. De regulă, este necesar pentru depozitele de deșeuri.

	B. Când se utilizează un strat de stabilizare a suprafeței, grosimea acestuia variază în general între 0,3 și 0,9 m.
--	--

A.8. Considerații privind efectul compactării dinamice asupra vecinătăților

- (1) Energia de impact folosită la compactarea dinamică prin batere generează zgomot și vibrații. Detalii suplimentare cu privire la limitele admisibile de exploatare normală a clădirilor de locuit și social-culturale supuse la acțiunea vibrațiilor produse de echipamentele amplasate în clădiri sau în exteriorul acestora și a vibrațiilor produse de traficul rutier sau de alte surse care acționează asupra clădirilor sau părților din clădiri se pot găsi în standardul SR 12025-2:2020.
- (2) Înainte de începerea operațiunilor de compactare dinamică, pentru a estima influența vibrațiilor induse în teren cauzate de compactare asupra clădirilor învecinate, este necesară estimarea valorii de vârf a vitezei de oscilație a particulelor de pământ (PPV) sub acțiunea undelor de șoc transmise de mai. Măsurătorile efectuate in situ au condus la concluzia că viteza de oscilație a particulelor de pământ (PPV) depinde de factorul de energie scalat (calculat ca valoarea energiei de impact pentru o singura lovitură împărțită la distanța măsurată de la sursă la punctul considerat) și de densitatea stratului de pământ prin care trece unda generată de șoc.
- (3) Pentru predimensionare, în scopul estimării valorii vitezei de oscilație a particulelor de pământ (PPV) poate fi utilizată Figura A.2.

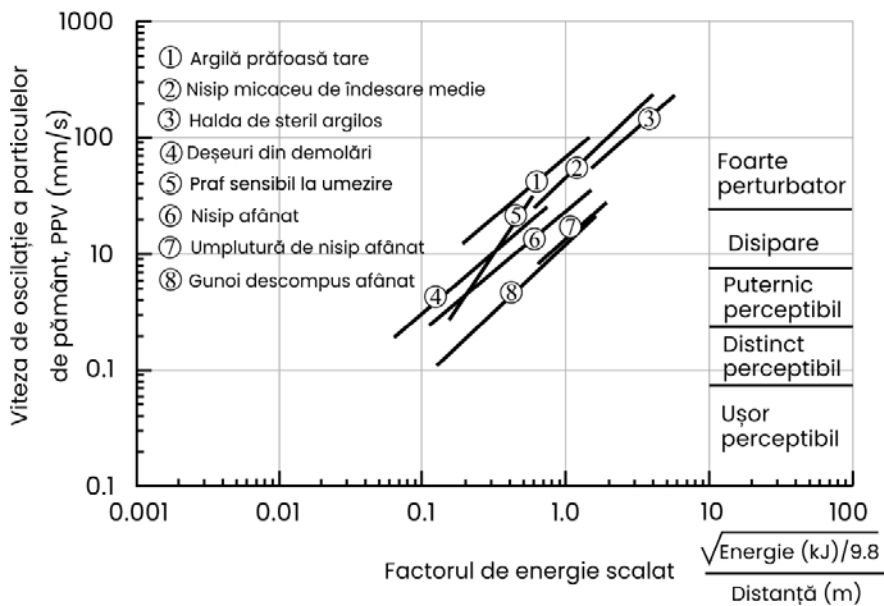


Figura A.2. Factorul energetic scalat în funcție de viteza particulelor (FHWA-NHI-16-027¹⁶; Han, 2015)

- (4) Pentru compactarea dinamică prin batere, valoarea limitei superioare a vitezei de vârf a particulelor (PPV) în funcție de energia aplicată la o singură cădere și distanța față de punctul de impact poate fi determinată cu relația propusă de Mayne et al. (1984)¹⁷:

$$PPV = 70 \cdot \left(\frac{\sqrt{W \cdot H}}{x_{dp}} \right)^{1,4} \tag{A.7}$$

unde:

¹⁶ FHWA-NHI-16-027 Geotechnical Engineering Circular no. 13, Ground Modification Methods - reference manual, volume I and II, National Highway Institute, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, DC 20590.

¹⁷ Mayne, P.W., Jones, Jr., J.S., and Dumas, J.C. (1984) Ground response to dynamic compaction. J. Geotech. Eng., 110(6):757–774.

PPV – valoarea de vârf a vitezei de oscilație a particulelor (mm/s);

W - masa maiului (tone);

H - înălțimea de cădere a maiului (metri);

x_{dp} – distanța de la punctul de impact la punctul de interes (metri).

(5) Valorile orientative pentru valoarea de vârf a vitezei de oscilație a particulelor (PPV), măsurată la nivelul fundației clădirilor aflate în stare structurală bună sunt (Moseley, Kirsch, 2004¹⁸):

- Deteriorare structurală: 40 mm/s;
- Deteriorare arhitecturală minoră (estetică): 10 mm/s;
- Disconfort pentru ocupanți (deranj): 2,5 mm/s.

Trebuie adoptate valori mai mici pentru clădirile aflate în stare precară din punct de vedere structural sau în situații speciale, cum ar fi școlile, spitalele, centrele de date (echipamente de calcul).

(6) Când vibrațiile devin problematice, există trei metode principale de reducere a efectului acestora:

- reducerea înălțimii de cădere a maiului și compensarea prin creșterea numărului de lovituri pe amprentă;
- utilizarea unei mase mai mici a maiului;
- excavarea unei tranșee de izolare la o adâncime suficientă pentru a intercepta unda de suprafață.

(7) În cazul compactării dinamice rapide prin impuls se pot folosi următoarele relații pentru calculul vitezei de vârf a particulelor (Han, 2015):

$$PPV = 188 \cdot \left(\frac{\sqrt{W \cdot H}}{x_{dp}} \right)^{1,53} \quad \text{dacă} \quad \frac{\sqrt{W \cdot H}}{x_{dp}} \geq 0,1 \quad (\text{A.8})$$

$$PPV = 36 \cdot \left(\frac{\sqrt{W \cdot H}}{x_{dp}} \right)^{0,79} \quad \text{dacă} \quad \frac{\sqrt{W \cdot H}}{x_{dp}} < 0,1 \quad (\text{A.9})$$

(8) Valorile orientative ale distanțelor limită admisibile măsurate de la punctul de impact până la structura monitorizată ($x_{dp,min}$) în cazul compactării dinamice prin impuls sunt prezentate în Tabelul A.5.

Tabelul A.5. Distanța minimă admisibilă a punctului de compactare prin impuls față de structuri (Han, 2015)

Tipul structurii	Viteza particulelor (mm/s)	Distanța minimă admisibilă, $x_{dp,min}$ (m)
Pereți din gips-carton	19	14,5
Pereți tencuiți	13	19,0
Toate celelalte	51	7,5

(9) Compactarea dinamică generează frecvențe de la 5 la 12 Hz (FHWA-NHI-16-027). Valorile limită adoptate pentru viteza maximă de oscilație a particulelor în urma compactării dinamice este limitată la valori de aprox. 12,7 mm/s pentru locuințele mai vechi cu pereți tencuiți și la aprox. 19 mm/s pentru construcțiile mai moderne cu pereți din gips-carton.

(10) Depășirea valorilor de vârf a vitezei de oscilație a particulelor indicate în Figura A.3 nu înseamnă neapărat că se vor produce daune. Mai degrabă, aceste valori reprezintă pragul inferior dincolo de care pot apărea fisuri în tencuială sau în gips-carton. Datele generate de U.S. Bureau of Mines indică faptul că daunele minore apar atunci când viteza particulelor depășește aprox. 50 mm/s, iar daunele majore apar când aceasta depășește aproximativ 193 mm/s.

¹⁸ Moseley, M.P., Kirsch, K. (2004) Ground Improvement, Spon Press.

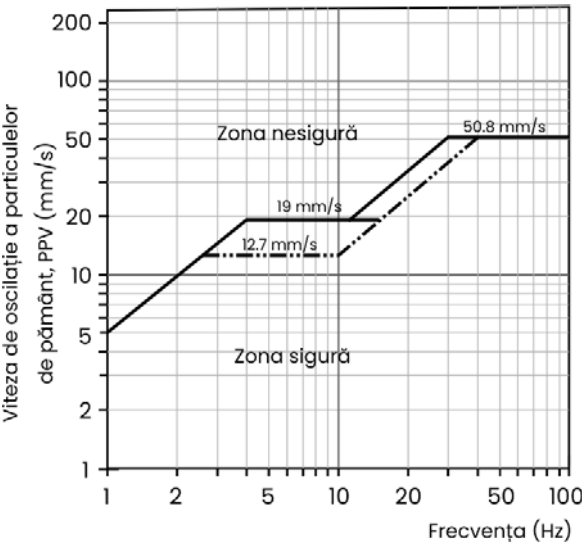


Figura A.3. Niveluri de vibrații pentru compactarea prin impact pentru case, stabilit de U.S. Bureau of Mines (FHWA-NHI-16-027)

(11) Spre deosebire de standardele americane care folosesc adesea valori fixe, DIN 4150-3:2016-12 - Vibration in buildings - Part 3: Effects on structures. stabilește limite variabile în funcție de frecvența vibrațiilor, deoarece frecvențele joase sunt cele mai periculoase pentru rezonanța clădirilor.

Tabelul A.6. Valorile limită ale vibrațiilor structurilor în funcție de viteza de oscilație a particulelor (DIN 4150-3)

Tipul structurii	Viteza limită la nivelul fundațiilor pe cele trei axe (x, y, z) pentru următoarele valori ale frecvențelor		
	1 - 10 Hz	10 - 50 Hz	50 - 100 Hz
Clădiri folosite în scop industrial, comercial și similare	20 mm/s	20 - 40 mm/s	40 - 50 mm/s
Clădiri rezidențiale și clădiri similare	5 mm/s	5 - 15 mm/s	15 - 20 mm/s
Clădiri care, ca urmare a sensibilității lor particulare la vibrații, nu pot fi cuprinse în cele două tipuri de mai sus și care au o valoare intrinsecă mare	3 mm/s	3 - 8 mm/s	8 - 10 mm/s

ANEXA B CONSOLIDARE

B.1. Consolidarea pământurilor fine prin preîncărcare

(1) În cazul pământurilor fine saturate cea mai simplă metodă de a le îmbunătăți, adică de a reduce volumul porilor prin eliminarea apei în exces, accelerând astfel procesul de deformare, constă în aplicarea unei încărcări la suprafața terenului, care este mai mare decât încărcarea finală ce va fi aplicată ulterior (Figura B.1a).

(2) Evoluția tasărilor în timp, precum și gradul de consolidare (de îmbunătățire) a terenului sunt influențate de următorii parametri:

- modulul de deformare liniară, E_s , al stratului de pământ fin saturat;
- permeabilitatea, k_f , a stratului de pământ fin saturat;
- grosimea, H , a stratului de pământ fin saturat, care trebuie îmbunătățit;
- posibilitățile de drenaj ale apei în exces din porii pământului.

Figura B.1b prezintă modul de variație al gradului de consolidare al stratului de pământ pe grosimea acestuia, în timp, pentru situația drenajului pe ambele direcții (la ambele extremități ale stratului).

(3) Viteza de consolidare este influențată de mărimea și timpul de aplicare a încărcării de suprafață suplimentare.

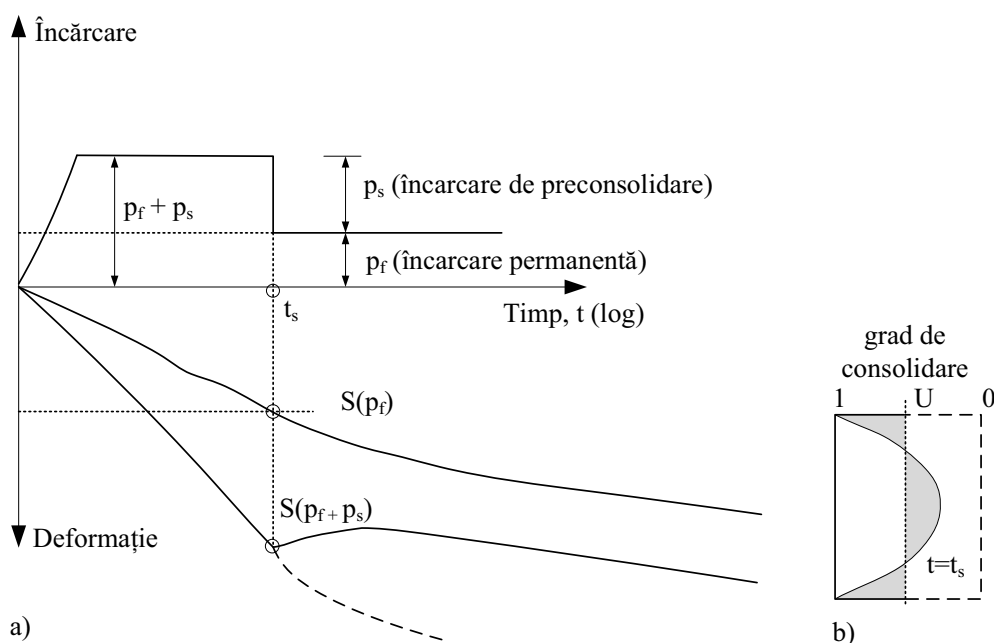


Figura B.1. Efectul preîncărcării terenului în scopuri de îmbunătățire:

a) aplicarea unei preîncărcări, b) evoluția gradului de consolidare, (Smolczyk, 2003)

(4) Gradul de consolidare U este definit ca raportul dintre tasarea la momentul t și tasarea finală.

(5) Tasarea finală a terenului este compusă din tasarea instantanee (sau elastică) și, tasarea din consolidarea primară s_c și tasarea din consolidare secundară s_s (dacă există).

(6) După aplicarea unei preîncărcări mai mari decât sarcina ulterioară, excesul de presiune a apei din pori în stratul de pământ fin provocat de aceasta scade în timp. Când preîncărcarea este îndepărtată la momentul t_s , partea centrală a stratului de pământ fin nu a atins încă gradul de consolidare final U_f , care ar asigura faptul că tasarea prin consolidare sub încărcările ulterioare finale va fi practic nulă. În același timp, regiunile superioare și inferioare ale stratului de teren sunt supraconsolidate, grație drenării excesului de presiune a apei din pori (Figura B.1b). Odată ce preîncărcarea a fost îndepărtată și este păstrată sarcina permanentă, zona centrală a stratului continuă să se taseze, dar cu valori și viteze mai mici, în timp ce zonele superioare și inferioare ale terenului

suferă deformații de tip umflare/ridicare. Deformația totală reprezintă efectul direct al acestor procese.

(7) De regulă, indicele de compresiune C_c este considerabil mai mare decât indicele de umflare C_s , ceea ce înseamnă că, în cadrul încărcărilor ulterioare, tasarea va fi mai mare decât umflarea. Acest efect este descris ca o funcție a preîncărcării care se extinde pe o perioadă lungă de timp și conduce la concluzia că, în cazul unor grosimi de strat H mai mari, este mai utilă aplicarea de incremente mai mici de preîncărcare pe o perioadă mai lungă de timp pentru a minimiza efectele de umflare (Smolczyk, 2003).

(8) Pentru a simplifica procesul de proiectare, se presupune că gradul de consolidare în centrul stratului de teren obținut sub sarcina de preîncărcare ($p_f + p_s$) respectă următoarele ecuații:

$$U_{(f+s)} \cdot s_{c(p_s+p_f)} = s_{c(p_f)} \quad (\text{B.1})$$

unde:

p_f - încărcarea permanentă finală;

p_s - preîncărcarea;

$U_{(f+s)}$ - gradul de consolidare sub încărcarea ($p_s + p_f$);

$s_{c(p_f)}$ - tasarea datorată lui p_f ;

$s_{c(p_s+p_f)}$ - tasarea datorată lui ($p_s + p_f$).

Din ecuațiile teoriei consolidării unidimensionale a lui Terzaghi se obține următoarea formulă pentru un teren normal consolidat:

$$U_{(f+s)} = \frac{\log\left(1 + \frac{p_s}{p_0}\right)}{\log\left[1 + \frac{p_f}{p_0}\left(1 + \frac{p_s}{p_f}\right)\right]} \quad (\text{B.2})$$

unde p_0 este sarcina geologică în mijlocul stratului de pământ compresibil

Variația gradului de consolidare $U = f(p_f/p_0; p_s/p_f)$ este prezentată în Figura B.2.

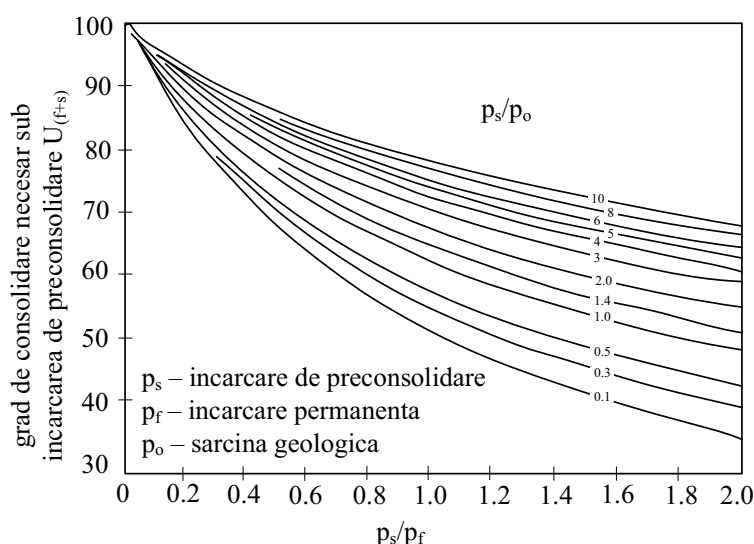


Figura B.2. Diagrame (abace) de proiectare a preîncărcării, (Smolczyk, 2003)

Gradul de consolidare necesar poate fi apoi determinat cu ajutorul parametrilor cunoscuți p_f , p_0 și prin selectarea lui p_s .

Timpul de preîncărcare t și factorul de timp T_v sunt cunoscute din teoria consolidării:

$$T_v = \frac{c_v \cdot t}{d^2} \quad (\text{B.3})$$

unde:

c_v - coeficientul de consolidare determinat de regulă din încercări de laborator de consolidare;

t - timpul de consolidare;

d - lungimea maximă de drenaj (egală cu grosimea stratului pentru drenaj unilateral sau jumătate din grosimea stratului pentru drenajul pe două direcții)

(9) În practică se utilizează relații analitice, tabele sau grafice care exprimă relația între factorul timp, T_v și gradul de consolidare, U , în funcție de distribuția presiunii interstițiale pe înălțimea stratului de pământ și a posibilităților de drenare a apei (pe ambele fețe ale stratului sau numai pe una). Cu ajutorul acestora se poate calcula tasarea pentru o valoare dată (impusă) a gradului de consolidare (de exemplu, calculul tasării unui strat de pământ corespunzătoare unui grad de consolidare de 80%) sau determinarea timpului necesar pentru a atinge o anumită tasare (de exemplu, calculul timpului necesar pentru ca un strat de pământ să atingă 95% din valoarea finală a tasării fin consolidate).

În figura B.3 sunt prezentate principalele tipuri de distribuție a presiunii interstițiale pe grosimea stratului compresibil: rectangulară, triunghiulară, trapezoidală și sinusoidală.

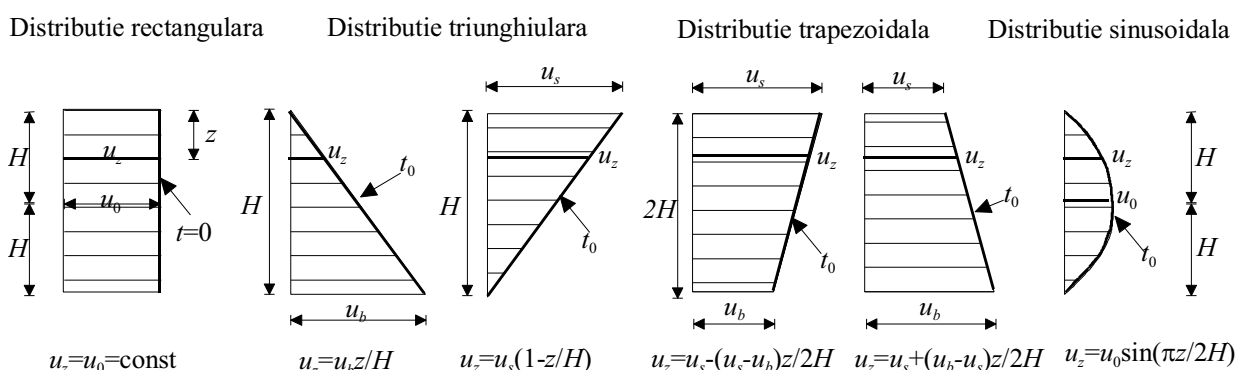


Figura B.3. Diagrame de distribuție a presiunii interstițiale în momentul inițial $t = 0$

În figura B.4 sunt prezentate graficele de variație ale gradului de consolidare U în funcție de factorul timp T pentru câteva situații. Pentru alte cazuri se pot utiliza grafice din literatura de specialitate.

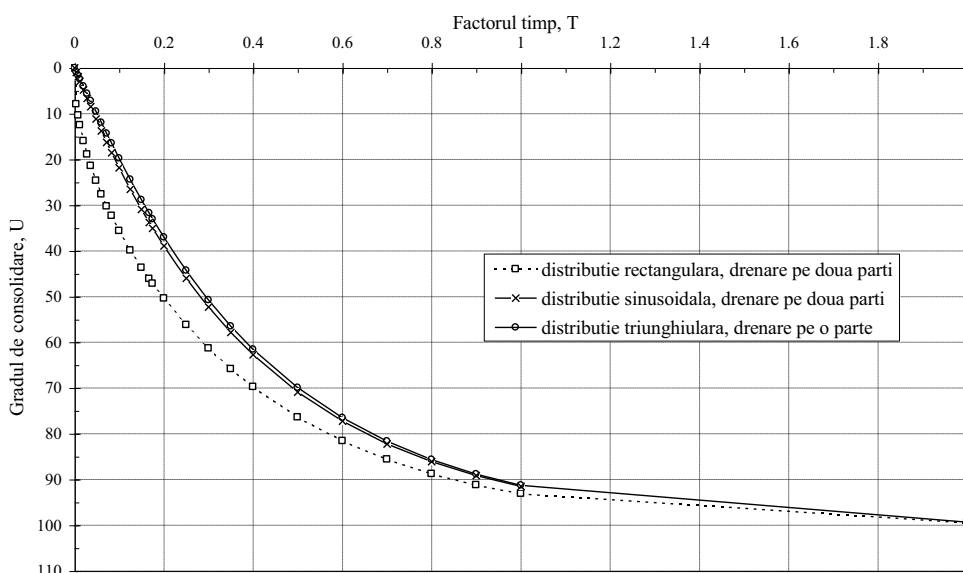


Figura B.4. Graficele de variație între gradul de consolidare și factorul timp $U - T$

(10) Tasarea totală fără consolidare secundară (fluaj), adică tasarea instantanee (elastică) și plus tasarea din consolidare primară s_c se determină cu ajutorul formulelor din teoria elasticității, prin metode precum metoda însumării pe straturi elementare de calcul sau metoda stratului liniar deformabil.

(11) Tasarea din consolidare primară s_c se determină prin metoda edometrică, luând în considerare starea de consolidare a terenului (normal consolidat, supraconsolidat sau subconsolidat).

(12) Tasarea din consolidare secundară (fluaj) s_s se calculează pe baza coeficientului de consolidare secundară, c_α (determinat din încercări de laborator) cu relația următoare:

$$s_s = c_\alpha H \frac{1}{1+e_0} \log \frac{t_2}{t_1} \quad (\text{B.4})$$

unde:

H - grosimea straturilor compresibil (la momentul începerii consolidării secundare),

e_0 - indicele porilor inițial (la momentul începerii consolidării secundare)

t_1, t_2 - momentele de timp între care se produce consolidarea secundară

(13) Pentru etapa de predimensionare a rambleului de preîncărcare, în scopul de a asigura stabilitatea acestuia, înălțimea maximă a rambleului de preîncărcare poate fi estimată la cca $h \approx 3 \dots 4 (c_u/g)$, unde c_u este coeziunea nedrenată, iar g este greutatea volumică a terenului de fundare. Extinderea laterală a rambleului trebuie să fie de cel puțin (2 - 3) ori suma straturilor care urmează să fie consolidate sau înălțimea permanentă a rambleului. Pentru a asigura drenajul eficient al straturilor de pământ, trebuie prevăzut și un strat filtrant (saltea drenantă) corect dimensionat.

(14) Pentru a putea estima timpii de consolidare și evoluția în timp a procesului de consolidare, este esențial ca estimările teoretice să fie însoțite de măsurători ale presiunilor apei din pori și ale tasărilor, pentru a elimina într-un stadiu incipient orice incertitudini în ceea ce privește parametrii geotehnici de consolidare și pentru a identifica orice neomogenități din straturile de teren care trebuie îmbunătățite.

B.2. Preîncărcarea cu accelerarea consolidării cu drenuri verticale

(1) În cazul utilizării drenurilor verticale pentru accelerarea consolidării, se aplică teoria consolidării radiale în jurul drenurilor:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = c_r \left(\frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} \right) + c_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}, \quad (\text{B.5})$$

unde:

u - presiunea interstițială,

c_r - coeficientul de consolidare radială,

c_v - coeficientul de consolidare verticală

(2) Similar cu ecuația de mai sus, se poate separa contribuția consolidării pe verticală și a celei radiale și în privința gradului de consolidare, conform ecuației de mai jos:

$$1 - U_t = (1 - U_v)(1 - U_r) \quad (\text{B.6})$$

unde:

U_t - gradul de consolidare total;

U_v - gradul de consolidare pe verticală;

U_r - gradul de consolidare radială.

În cazul unor deformații uniforme, gradul de consolidare radială se poate calcula cu relația (Briancon et al., 2018):

$$U_r = 1 - e^{-\frac{8T_h}{F(n)}}, \quad (\text{B.7})$$

unde:

T_h este factorul timp pentru consolidarea radială:

$$T_h = \frac{c_r \cdot t}{D^2} \quad (\text{B.8})$$

în care:

c_r - coeficientul de consolidare radială;

t - timpul de consolidare;

D - diametrul zonei de influență a drenului

$n = D/d$, unde d - diametrul drenului

$$F(n) = \frac{n^2}{n^2-1} \cdot \ln(n) - \frac{3n^2-1}{4n^2} \quad (\text{B.9})$$

(3) Pentru calculul gradului de consolidare sau determinarea zonei de influență D pot fi utilizate și grafice de tipul celui din figura B.5 sau din figura B.6.

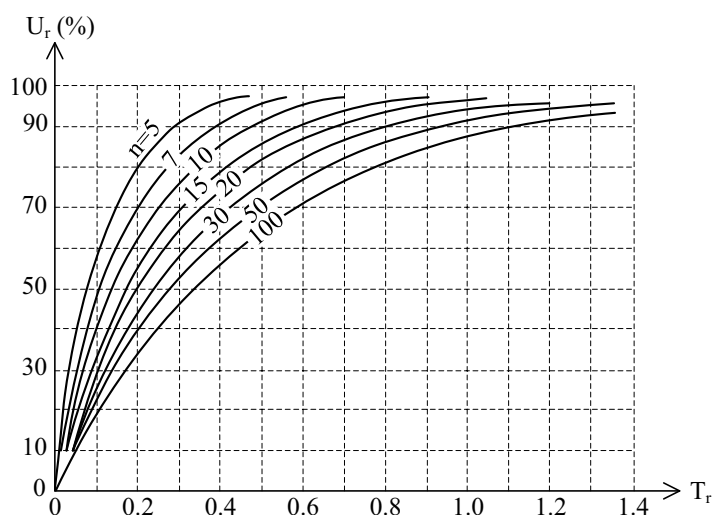


Figura B.5. Gradul de consolidare radial U_r în funcție de factorul timp radial T_r și de n (Briancon et al., 2018)

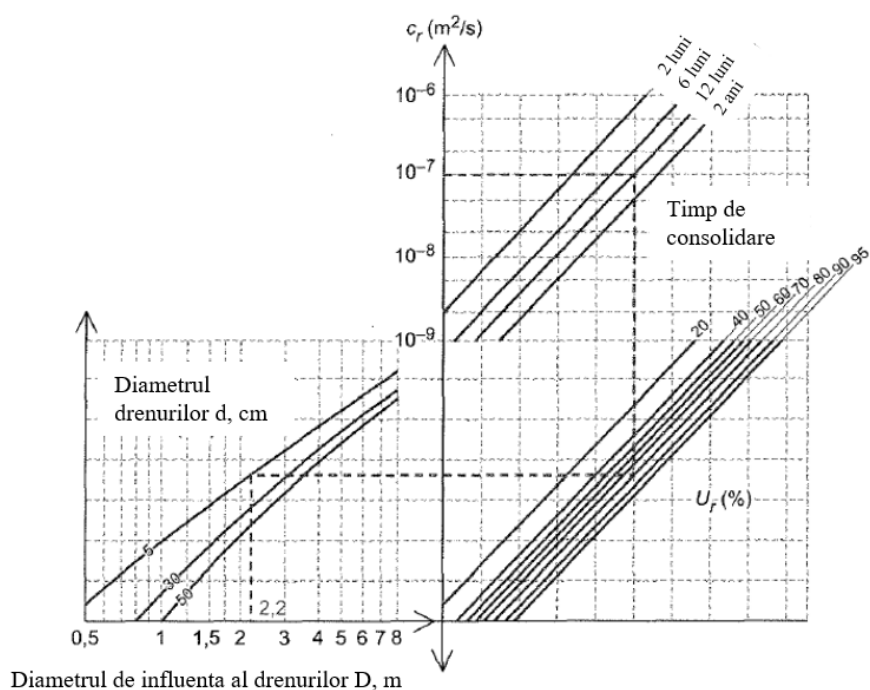


Figura B.6. Determinarea diametrului zonei de influență D (Briancon et al., 2018)

ANEXA C

COLOANE GRANULARE EXECUTATE PRIN VIBRARE SAU SUBSTITUȚIE DINAMICĂ

C.1. Calculul capacității portante a unei coloane din material granular izolate

C.1.1. Cedarea prin expansiune laterală

(1) Deoarece majoritatea coloanelor din material granular au un raport între lungime și diametru cuprins între 4 și 6, acestea cedează în general prin expansiune laterală (figura C.1), indiferent dacă baza coloanei se află într-un teren moale sau se sprijină pe un strat tare. Starea de eforturi la cedare poate fi exprimată făcându-se analogia dintre coloană și o epruvetă din același material granular supusă unei solicitări axiale datorate unei fundații și unei solicitări de confinare egală cu rezistența laterală exercitată de terenul din jur.

În aceste condiții, între efortul vertical maxim, σ_1 , pe care îl poate prelua coloana și efortul orizontal minim, σ_3 , există relația:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_3} = \frac{1 + \sin \phi_{col}}{1 - \sin \phi_{col}} \quad (C.1)$$

unde:

ϕ_{col} – unghiul de frecare interioară al materialului din coloană;

σ_3 – efortul de confinare laterală mobilizat de terenul din jurul coloanei pentru a rezista la deformarea laterală a coloanei;

σ_1/σ_3 - valoarea coeficientului în stare pasivă pentru coloana de material granular (K_p).

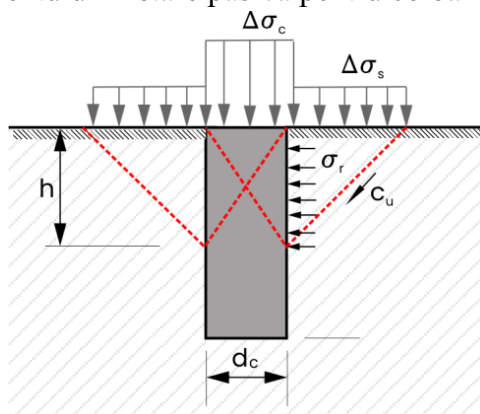


Figura C.1. Modul de cedare prin expansiune laterală a unei coloane din material granular izolate

(2) Relația anterioară se poate rescrie astfel (Figura C.1):

$$\Delta \sigma_c = \sigma_r \cdot K_p \quad (C.2)$$

unde:

$\Delta \sigma_c$ - efortul maxim la rupere al coloanei ($q_{ult,c}$);

σ_r - efortul de confinare laterală mobilizat de terenul din jurul coloanei pentru a rezista la deformarea laterală a coloanei;

K_p - valoarea coeficientului în stare pasivă pentru coloana de material granular:

$$K_p = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \quad (C.3)$$

(3) Efortul radial mobilizat (de confinare) σ_r poate fi determinat pe baza încercărilor de compresiune triaxială în laborator sau pe baza încercărilor pe teren (presiometru, penetrometru static cu con) sau poate fi determinat prin calcul.

- pe baza încercărilor presiometrice:

$$\sigma_r = p_{le}^* \quad (C.4)$$

unde: p_{le}^* este valoarea minimă a presiunii limită din presiometru pentru fiecare strat străbătut de coloană, determinată ca cea mai mică valoare a mediilor geometrice ale valorilor p_l^* - presiunea limită echivalentă.

- pe baza încercărilor de penetrare statică cu con:

$$\sigma_r = \frac{q_{ce}}{3} \quad (C.5)$$

unde: q_{ce} este valoarea minimă a presiunii pe con q_c pentru straturile străbătute de coloană, calculată ca valoare minimă a mediilor valorilor q_c calculate pe o lungime de coloană egală cu de 2 ori diametrul coloanei.

- Efortul de confinare laterală mobilizat de terenul din jurul coloanei poate fi calculat cu relația:

$$\sigma_r = \sigma_3 = \sigma_{r0} + K_l \cdot c_u \quad (C.6)$$

unde:

σ_{r0} - efortul lateral din teren indus de sarcina geologică;

$$\sigma_{r0} = K_0 \cdot \sigma_{v0} \quad (C.7)$$

cu:

K_0 - coeficientul împingerii pământului în stare de repaus (în lipsa unor date experimentale se poate calcula cu relația $K_0 = 1 - \sin \varphi'$, unde φ' este unghiul de frecare interioară efectiv al terenului din jurul coloanei);

σ_{v0} - valoarea medie a efortului vertical efectiv considerând o adâncime a zonei de deformare pe laterală a coloanei egală cu dublul diametrului coloanei:

$$\sigma_{v0} = \gamma \cdot 2 \cdot d_c \quad (C.8)$$

în care:

γ - greutatea volumică a terenului natural;

d_c - diametrul coloanei din material granular

K_l - o constantă empirică (tabelul C.1) ;

c_u - coeziunea în condiții nedrenate a terenului din jurul coloanei.

Astfel, capacitatea portantă a unei coloane poate fi calculată cu relația:

$$q_{ult,c} = (\sigma_{r0} + K_l \cdot c_u) \cdot K_p = K' \cdot K_p \cdot c_u \quad (C.9)$$

Tabelul C.1. Capacitatea portantă ultimă a unei coloane din material granular izolate (Han, 2015)

c_u (kPa)	Tip pământ	K_l	$K' \cdot K_p$	referințe
19,4	argilă	4,0	25,2	Huges and Withers (1974)
19,0	argilă	3,0	15,8÷18,8	Mokashi et al (1976)
-	argilă	6,4	20,8	Brauns (1978)
20,0	argilă	5,0	20,0	Mori (1979)
-	argilă	5,0	25,0	Broms (1979)
15,0 ÷ 40,0	argilă	-	14,0÷24,0	Han (1992)
-	argilă	-	12,2÷15,2	Guo and Qian (1990)

(4) Capacitatea portantă a coloanei izolate se poate determina și simplificat cu relația:

$$q_{ult,c} = 20 \cdot c_u \quad (C.10)$$

(5) Capacitatea portantă a terenului din jurul coloanei, $q_{ult,s}$ poate fi, la rândul ei, aproximată ca fiind egală cu:

$$q_{ult,s} = 5 \cdot c_u \quad (C.11)$$

Astfel, capacitatea portantă a celulei elementare va fi egală cu:

$$q_{ult} = q_{ult,c} \cdot a + q_{ult,s} \cdot (1 - a) \quad (C.12)$$

unde: a este raportul ariilor coloanei și suprafeței zonei de influență (coeficientul de substituție sau de încorporare).

C.1.2. Cedarea prin poansonare

(1) Pentru coloanele flotante de lungime L_c în teren omogen efortul ultim de poansonare se poate calcula cu relația:

$$q_{ult,c} = 9 \cdot c_u + L_c \cdot (2 \cdot c_u / r_c - \gamma_c) \quad (C.13)$$

unde:

γ_c - greutatea volumică a materialului din care este realizată coloana;

c_u - coeziunea în condiții nedrenate a terenului din jurul coloanei și de la baza coloanei;

L_c - lungimea coloanei;

r_c - raza medie a coloanei.

(2) Pentru cazul terenurilor stratificate în relația (C.13) se poate utiliza o valoare medie a coeziunii nedrenate pentru terenul din jurul coloanei.

C.1.3. Cedarea prin forfecare a coloanelor (cedare generală)

(1) Relația de calcul a capacității portante pentru acest mecanism de cedare este (Figura C.2):

$$q_{ult} = 0,5 \cdot \gamma_c \cdot B \cdot N_\gamma + c \cdot N_c + D_f \cdot \gamma_c \cdot N_q \quad (C.14)$$

unde:

N_γ, N_c, N_q – factori de capacitate portantă ce pot fi determinați analitic sau grafic (Figura C.2) în funcție de unghiul de frecare internă al terenului

γ_c - greutatea volumică a materialului din coloană

B - lățimea zonei încărcate la partea superioară a coloanei

c - coeziunea terenului

D_f - adâncimea la care se aplică sarcina pe capul coloanei, față de nivelul terenului

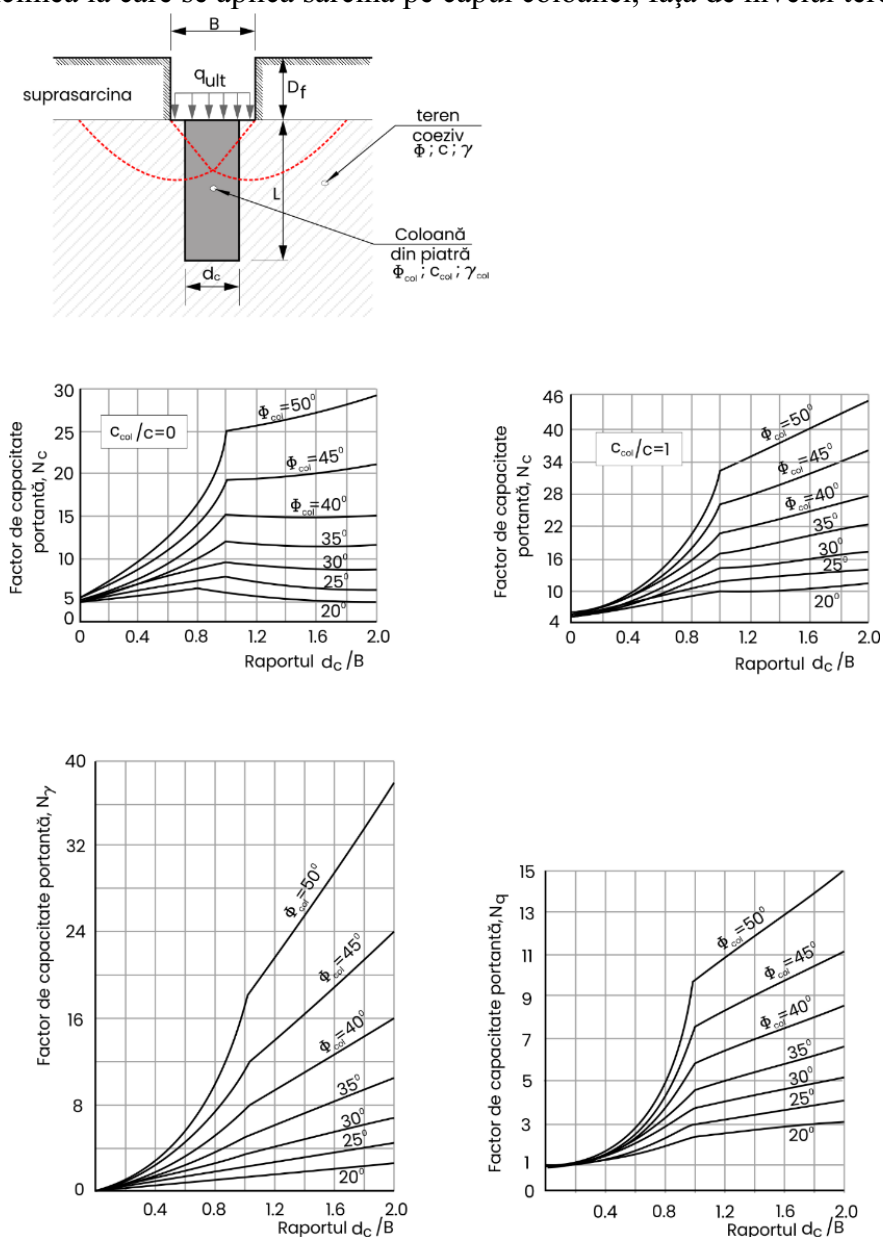


Figura C.2. Grafice pentru determinarea factorilor de capacitate portantă pentru încărcare uniform distribuită (Han, 2015)

C.2. Determinarea factorului de îmbunătățire. Metoda Priebe

(1) Se consideră o celulă unitară cu suprafața A , constând dintr-o singură coloană cu secțiunea transversală A_c și terenul înconjurător atribuit celei. Factorul de îmbunătățire, n_0 , se poate determina cu relația:

$$n_0 = 1 + \frac{A_c}{A} \cdot \left[\frac{\frac{1}{2} + f\left(\mu_s, \frac{A_c}{A}\right)}{K_{ac} \cdot f\left(\mu_s, \frac{A_c}{A}\right)} - 1 \right] \quad (C.15)$$

unde:

μ_s - coeficientul lui Poisson pentru terenul natural;

K_{ac} - coeficient de împingere în stare activă;

$f\left(\mu_s, \frac{A_c}{A}\right)$ - funcție calculată pe baza raportului ariilor și a coeficientului lui Poisson μ_s , funcție care are expresia:

$$f\left(\mu_s, \frac{A_c}{A}\right) = \frac{(1-\mu_s) \cdot \left(1 - \frac{A_c}{A}\right)}{1 - 2 \cdot \mu_s + \frac{A_c}{A}} \quad (C.16)$$

Coeficientului de împingere în stare activă se determină:

$$K_{ac} = \tan^2\left(45^\circ - \frac{\phi_c}{2}\right) \quad (C.17)$$

unde:

ϕ_c - valoarea unghiului de frecare interioară a materialului din care este realizată coloana.

(2) Pentru o valoare a coeficientului lui Poisson $\mu_s = 1/3$ (valoare des întâlnită pentru terenuri), relația de calcul a factorului de îmbunătățire se poate reduce la expresia:

$$n_0 = 1 + \frac{A_c}{A} \cdot \left[\frac{5 - \frac{A_c}{A}}{4 \cdot K_{ac} \cdot \left(1 - \frac{A_c}{A}\right)} - 1 \right] \quad (C.18)$$

Relația dintre factorul de îmbunătățire, n_0 , și raportul ariilor A/A_c pentru diferite valori ale unghiului de frecare interioară a materialului de umplutură, ϕ_c , și pentru un coeficient al lui Poisson $\mu_s = 1/3$, este dată grafic în Figura C.3.

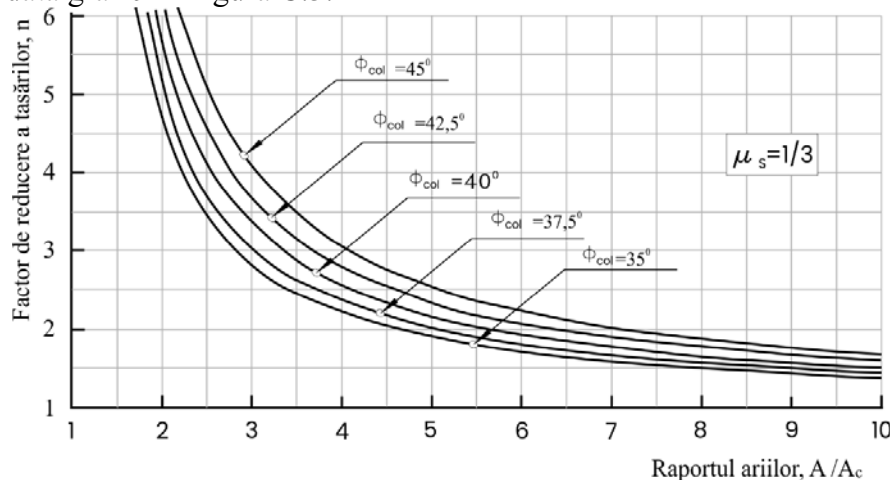


Figura C.3. Graficul de determinare a factorului de îmbunătățire n_0 după Priebe (Priebe, 1995)

C.3. Determinarea tasărilor ținând cont de compresibilitatea proprie a coloanei. Metoda Priebe modificată

(1) Materialul compactat al coloanelor este compresibil. În consecință, în cazul înlocuirii terenului în care raportul $A/A_c = 1$, factorul de îmbunătățire real nu atinge o valoare infinită, așa cum este determinat teoretic pentru materialul necompresibil, ci coincide, în cel mai bun caz, cu raportul dintre modulii materialului coloanei și ai terenului. În acest caz, atât pentru materialul din coloană, cât și pentru teren, sunt necesari modulii de deformație edometrică.

(2) Factorul de îmbunătățire poate fi definit ca:

$$n_{max} = \frac{E_{oed,C}}{E_{oed,S}} \quad (C.19)$$

unde:

$E_{oed,C}$ - modulul de deformație edometric al materialului din care este realizată coloana;

$E_{oed,S}$ - modulul de deformație edometric al terenului natural.

(3) Calculul factorului de îmbunătățire corectat luând în considerare compresibilitatea materialului din coloana, n_1 :

$$n_1 = 1 + \frac{\bar{A}_c}{A} \cdot \left[\frac{\frac{1}{2} + f\left(\mu_s, \frac{\bar{A}_c}{A}\right)}{K_{ac} \cdot f\left(\mu_s, \frac{\bar{A}_c}{A}\right)} - 1 \right] \quad (C.20)$$

$$\frac{\bar{A}_c}{A} = \frac{1}{\frac{A}{A_c} + \Delta\left(\frac{A}{A_c}\right)} \quad (C.21)$$

unde:

$\Delta\left(\frac{A}{A_c}\right)$ - reprezintă corecția raportului de arii. Valoarea acestei corecții se determină din Figura C.4, în funcție de valoarea raportului modurilor cu deformare laterală împiedicată (raportul dintre modulul de deformare edometric al materialului din corpul coloanei și modulul de deformare edometric al pământului înainte de îmbucățire).

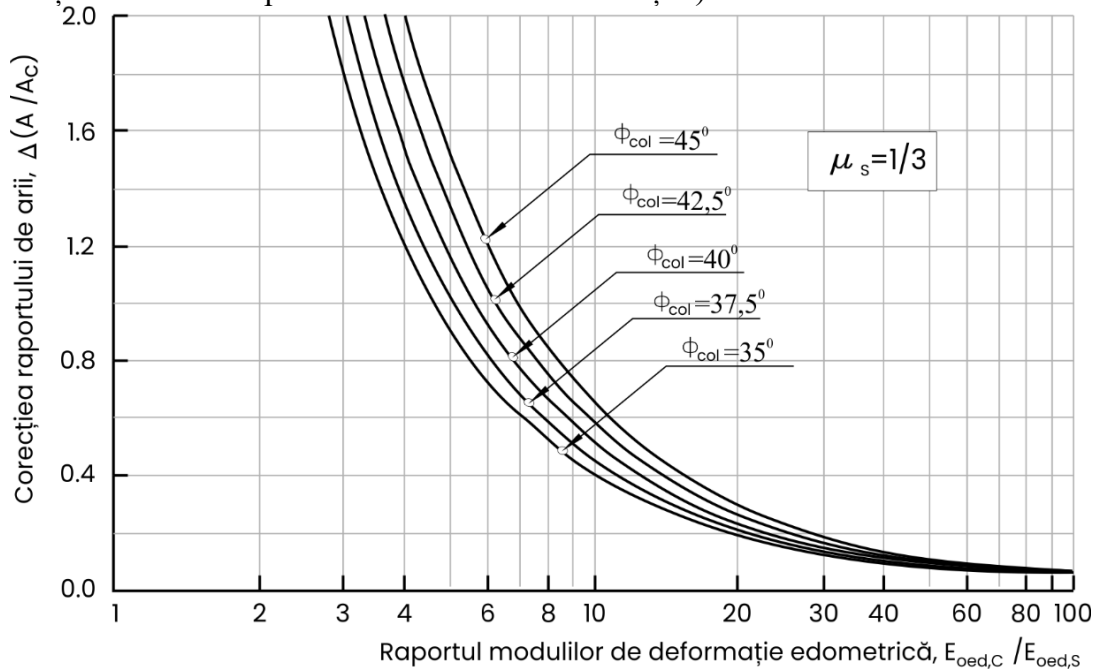


Figura C.4. Graficul de determinare a corecției aplicate raportului de arii (Priebe, 1995)

Considerarea greutateilor proprii ale terenului și ale coloanei

(3) Pentru luarea în considerare a greutateilor proprii ale materialelor și a efectului pe adâncime se introduce un factor de adâncime f_d , care exprimă raportul dintre diferența de presiune inițială și cea în funcție de adâncime, între coloană și teren. Pe baza acestei ipoteze, factorul de îmbunătățire crește de la n_1 la n_2 .

$$n_2 = f_d \cdot n_1 \quad (C.22)$$

unde:

n_2 - factorul de îmbunătățire final luând în considerare și suprasarcina din greutate proprie;

f_d - de adâncime.

Factorul de adâncime poate fi calculat cu relația:

$$f_d = \frac{1}{1 + \frac{K_{0c} - W_s/W_c \cdot W_c}{K_{0c} p_c}} \quad (C.23)$$

unde:

$$p_c = \frac{p}{\frac{\bar{A}_c}{A} + \frac{1 - \bar{A}_c/A}{p_c/p_s}} \quad (C.24)$$

$$\frac{p_c}{p_s} = \frac{\frac{1}{2} + f\left(\mu_s, \frac{\bar{A}_c}{A}\right)}{K_{ac} \cdot f\left(\mu_s, \frac{\bar{A}_c}{A}\right)} \quad (C.25)$$

$$W_c = \sum(\gamma_c \Delta d) \quad (C.26)$$

$$W_s = \sum(\gamma_s \Delta d) \quad (C.27)$$

$K_{0c} = 1 - \sin \phi_c$ - coeficientul presiunii în stare de repaus al coloanei din material granular;

γ_s - greutatea volumică a terenului natural;

γ_c - greutatea volumică a materialului din coloană;

Δd - adâncimea îmbunătățită;

p_c - presiunea preluată de coloană.

Factorul de adâncime f_d se poate determina și cu ajutorul Figurii C.5 considerând aceeași valoare pentru greutatea volumică a materialului din coloană și cel al terenului natural. Pentru siguranță, trebuie luat în calcul valoarea cea mai mică a greutății volumice a materialului din terenul natural (γ_s). Pe baza factorului de influență, y , determinat din Figura C.5, factorul de adâncime se calculează cu relația:

$$f_d = 1/[1 - y \cdot \sum(\gamma_s \cdot \Delta d) / p_c] \quad (C.28)$$

unde:

y – factor de influență dat în Figura C.5.

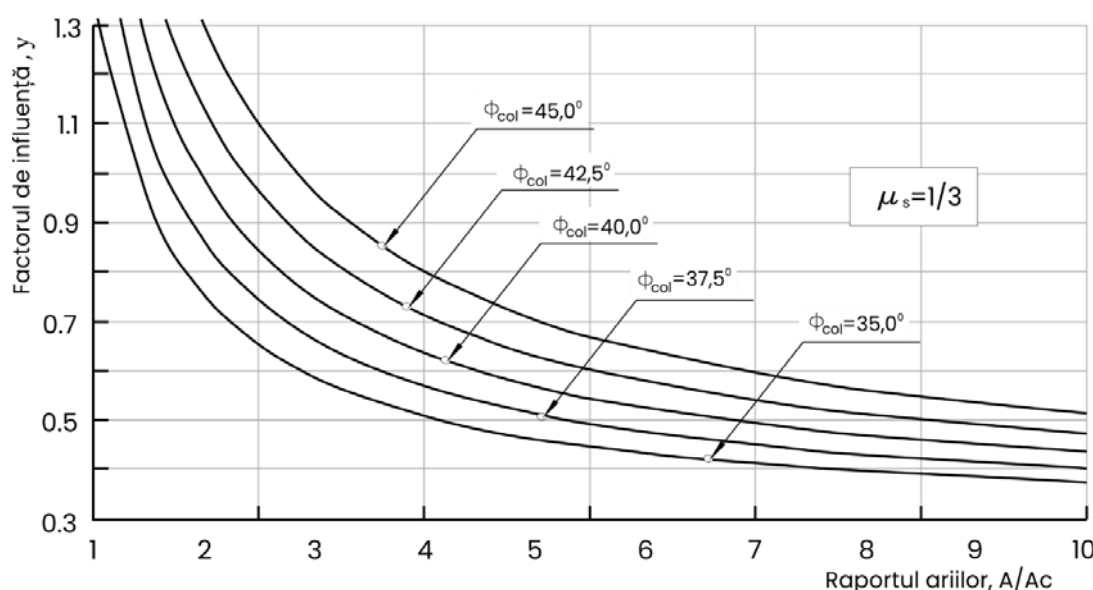


Figura C.5. Determinarea factorului de influență necesar în calculul factorului de adâncime (Priebe, 1995)

(4) La adâncimi mari, susținerea de către teren a coloanelor granulare ajunge la un asemenea nivel încât coloanele nu se mai umflă. Cu toate acestea, chiar și atunci factorul de adâncime nu va crește la infinit, ca urmare a presupunerii unei diferențe de presiune între coloană și teren în scădere liniară. Prin urmare, primul control al compatibilității limitează factorul de adâncime și, prin urmare, sarcina atribuită coloanelor, astfel încât tasarea coloanelor rezultată din compresibilitatea lor inerentă să nu depășească tasarea sistemului compozit. În primul rând, acest control se aplică atunci când terenul existent este considerat destul de rigid.

(5) Astfel, se impune limitarea factorului de adâncime la valoarea:

$$1 \leq f_d \leq \frac{E_{oed,c}/E_{oed,s}}{p_c/p_s} \quad (C.29)$$

unde:

$E_{oed,c}$ - modulul de deformație edometric al materialului din care este realizată coloana;

$E_{oed,s}$ - modulul de deformație edometric al terenului înconjurător;

p_c - încărcarea transmisă de fundație coloanei din material granular;

p_s - încărcarea transmisă de fundație terenului din jurul coloanei.

Ca urmare a compresibilității materialului de umplură, factorul de adâncime atinge o valoare maximă, care poate fi obținută din diagrama prezentată în Figura C.6.

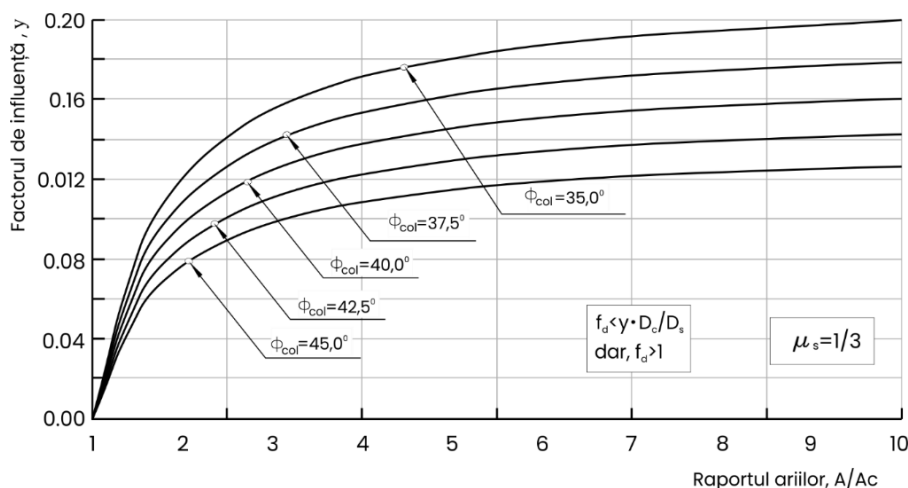


Figura C.6. Valori limită pentru factorul de adâncime (Priebe, 1995)

(6) Un factor de adâncime $f_d < 1$ nu trebuie luat în considerare, chiar dacă rezultă din calcul. În acest caz:

$$n_{max} = 1 + \frac{A_c}{A} \cdot \left(\frac{E_{oed,C}}{E_{oed,S}} - 1 \right) \quad (C.30)$$

unde:

A_c - aria secțiunii transversale a unei coloane;

A - aria celulei unitare;

$E_{oed,C}$ - modulul de deformare edometric al materialului din care este realizată coloana;

$E_{oed,S}$ - modulul de deformare edometric al terenului natural

C.4. Valorile parametrilor rezistenței la forfecare a terenului îmbunătățit

(1) În timp ce sub eforturi de forfecare elementele rigide pot ceda succesiv, coloanele din material granular se deformează până când orice suprasarcină a fost transferată către coloanele vecine. Coloanele primesc o proporție crescută din sarcina totală, m , ceea ce depinde de raportul de arie A_c/A și de factorul de îmbunătățire n .

$$m = (n - 1 + \frac{A_c}{A})/n \quad (C.31)$$

Pentru a nu supraestima rezistența la forfecare a coloanelor atunci când se face o medie pe baza distribuției încărcării pe coloane și pământ, încărcarea proporțională care îi revine coloanei trebuie redusă. Aproximarea următoare poate fi utilizată:

$$m' = (n - 1)/n \quad (C.32)$$

În Figura C.7 se prezintă cu linii continue factorul de proporționalitate aproximativ al coloanelor (m') și cu linii întrerupte factorul de proporționalitate (m).

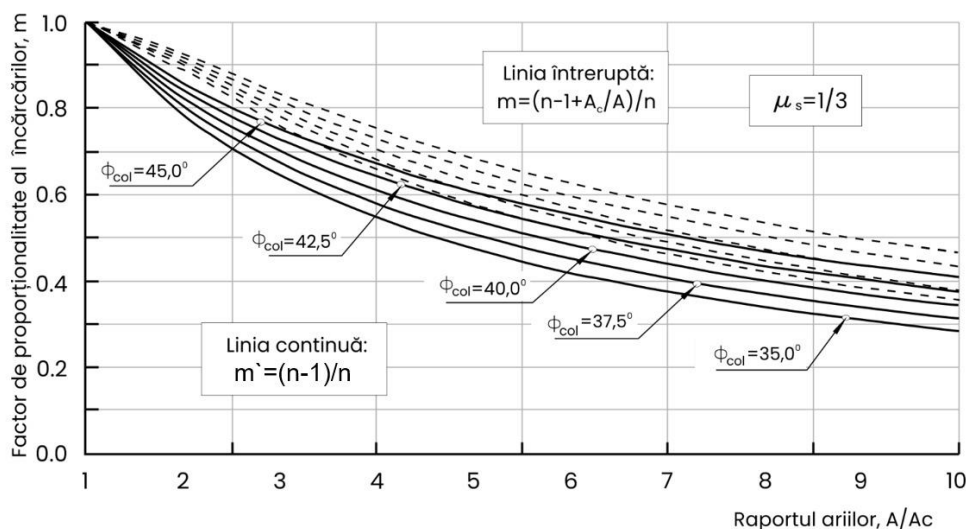


Figura C.7: Factorul de proporționalitate al încărcărilor, m (Priebe, 1995)

(2) Folosind factorul de îmbunătățire n împreună cu factorul de proporționalitate m (m'), se pot determina pentru fiecare strat de pământ îmbunătățit în parte unghiul de frecare internă și coeziunea.

(3) Unghiul de frecare interioară al terenului compozit teren natural-coloană din material granular se poate calcula cu relația:

$$\tan \bar{\varphi}_{comp} = m' \cdot \tan \varphi_c + (1 - m') \cdot \tan \varphi_s \quad (C.33)$$

unde:

φ_c - unghiul de frecare interioară al materialului granular din care este realizată coloana;

φ_s - unghiul de frecare interioară al terenului natural din jurul coloanei înainte de îmbunătățire;

m' - factor de proporționalitate privind încărcarea unei coloane (Figura C.7).

(4) Coeziunea terenului compozit teren natural-coloană din material granular se poate calcula cu relația:

$$c_{comp} = \left(1 - \frac{\bar{A}_c}{A}\right) \cdot c_s \quad (C.34)$$

sau

$$c_{comp} = (1 - m') \cdot c_s \quad (C.35)$$

unde:

c_s - coeziunea terenului natural din jurul coloanei înainte de îmbunătățire.

ANEXA D INCLUZIUNI RIGIDE

D.1. Principii de calcul al incluziunilor rigide

(1) Modelele de calcul pentru o fundație pe teren îmbunătățit cu incluziuni rigide sunt de trei tipuri (ASIRI, 2012):

- modele analitice;
- modele numerice (elemente finite, diferențe finite);
- modele de omogenizare (a căror aplicare este complexă).

Fiecare model poate fi utilizat pentru verificări SLU și SLS, cu condiția să fie capabil să descrie:

- comportamentul unei incluziuni izolate supuse unei încărcări la partea superioară;
- și, în cazul unei structuri, comportamentul acestora în absența incluziunilor, în ceea ce privește tasarea și capacitatea portantă, cu predicții bazate pe metode uzuale de calcul.

Indiferent de metoda utilizată (analitică sau numerică), primul pas este evaluarea comportamentului structurii fără incluziuni, ceea ce va permite determinarea contribuției incluziunilor în ceea ce privește problemele de tasare și de capacitate portantă.

D.1.1. Modele analitice

(2) Modelele analitice au ca scop principal stabilirea tasării medii obținute după îmbunătățire și estimarea încărcării maxime aplicate incluziunilor. Acestea nu sunt metode strict analitice, în sensul că nu permit, în general, exprimarea rezultatelor sub formă de formule analitice explicite. Ele necesită soluții numerice simple, folosind, de exemplu, tabele de calcul. Cu toate acestea, aceste metode sunt potrivite pentru estimarea distribuției forțelor între teren și incluziuni, tasări și deplasări orizontale.

(3) În general, se adoptă legi de mobilizare care sunt funcție de deplasarea relativă locală dintre teren și incluziune.

Diferența dintre deplasarea incluziunii și deplasarea terenului adiacent este dată de relația:

$$w(z) = y_P(z) - y_S(z) \quad (D.1)$$

unde:

$w(z)$ - diferența între deplasarea incluziunii și cea a terenului adiacent, la adâncimea z ;

$y_P(z)$ - deplasarea incluziunii, la adâncimea z ;

$y_S(z)$ - deplasarea terenului, la adâncimea z .

(4) Pentru mobilizarea eforturilor în lungul și la baza incluziunilor se pot adopta relații empirice, cum sunt de exemplu cele propuse de (ASIRI, 2012).

Astfel, în Figura D.1 sunt indicate relații empirice pentru mobilizarea presiunii pe vârful incluziunii rigide, respectiv a frecării pe suprafața laterală a incluziunii.

Pentru calculul valorilor maxime ale presiunilor mobilizate pe vârful incluziunii rigide (q_p), respectiv a frecării pe suprafața laterală (q_s) se pot utiliza metode empirice (ca de exemplu, metoda prescriptivă folosită la calculul capacitaților portante ale piloților de fundare, reglementarea tehnică NP 123-2022).

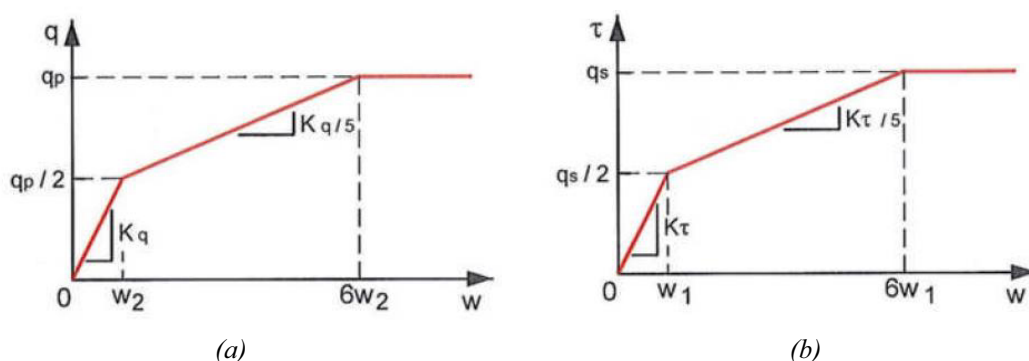


Figura D.1. Relație empirică pentru mobilizarea presiunii pe vârful incluziunii rigide (a), respectiv a frecării pe suprafața laterală a incluziunii (b), (ASIRI, 2012)

De asemenea, pentru calculul rigidităților k_q și k_τ se pot utiliza diverse relații empirice din literatura de specialitate (de exemplu, ASIRI, 2012).

Următoarele relații care depind de parametri elastici ai terenului și de diametrul incluziunii pot fi, de asemenea, utilizate:

$$k_\tau = \frac{1}{c_t} \frac{E_s}{D} \quad (D.2)$$

$$k_q = \frac{1}{c_b} \frac{E_s}{D} \quad (D.3)$$

$$c_t = (1 - \nu) \left(1 + \ln \frac{L}{D} \right) \quad (D.4)$$

$$c_b = \frac{4}{5} (1 - \nu^2) \quad (D.5)$$

unde:

E_s - modulul de deformare liniară al terenului;

ν - coeficientul lui Poisson al terenului;

L - lungimea incluziunii;

D - diametrul incluziunii.

(5) Presiunea preluată de incluziune la nivelul capului se poate determina luând în considerare dezvoltarea frecării negative pe o coloană fictivă care se extinde din capul de incluziune până la talpa fundației (Figura D.2).

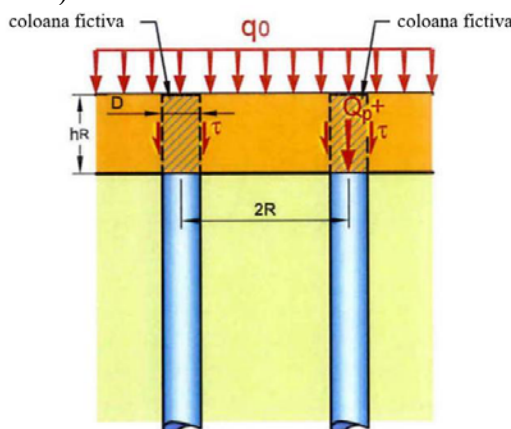


Figura D.2. Calculul presiunii preluate de incluziunea rigidă, (ASIRI, 2012)

(6) Pentru efectuarea calculelor se consideră o celulă unitară situată în centrul rețelei de incluziuni rigide, supusă unor încărcări verticale uniforme. Celula unitară este aproximată ca un cilindru a cărui axă coincide cu cea a incluziunii și a cărui secțiune transversală circulară are o arie egală cu aria unei celule a rețelei de incluziuni.

Rezultă că deformăția laterală și forfecarea sunt nule la periferia cilindrului și că efortul total aplicat de structură se regăsește la fiecare nivel, în fiecare secțiune orizontală, mărit de greutatea terenului și a incluziunii de deasupra nivelului considerat. Se presupune că, la un anumit nivel, tasarea și efortul vertical al terenului sunt uniforme.

Ecuatiile de echilibru exprimă variația eforturilor cu adâncimea în orice secțiune orizontală a modelului, în incluziune (ecuația D.6) și în teren (ecuația D.7):

$$dQ_p(z) = (P\tau + \gamma_p A_p) dz \quad (D.6)$$

$$dQ_s(z) = (-P\tau + \gamma_s A_s) dz \quad (D.7)$$

unde:

τ - efortul de forfecare la interfața incluziune – teren;

γ_s - greutatea volumică a terenului la nivelul considerat;

γ_p - greutatea volumică a incluziunii la nivelul considerat;

P - perimetrul incluziunii;

A_p, A_s - ariile incluziunii și ale terenului (din celula unitară) la nivelul considerat;

z - adâncimea.

Tasarea incluziunii și tasarea medie a terenului satisfac următoarele ecuații complementare:

$$dy_p(z) = \frac{Q_p(z)}{A_p E_p} dz \quad (D.8)$$

$$dy_s(z) = \frac{Q_s(z)}{A_s E_s} dz \quad (D.9)$$

unde:

$E_p(z)$ - modulul de deformare liniară al incluziunii la nivelul considerat;

$E_s(z)$ - modulul de deformare liniară al terenului la nivelul considerat.

Mobilizarea frecării este descrisă la nivelul fiecărui strat printr-o funcție de transfer, care exprimă dependența forfecării de deplasarea relativă $w(z)$ - diferența dintre deplasarea incluziunii și deplasarea terenului (ecuația 1):

$$\tau(z) = f(y_p(z) - y_s(z)) \quad (D.10)$$

(7) Sistemul neliniar definit prin ecuațiile diferențiale (D.6) ... (D.10) necesită definirea unor condiții la limită pentru soluționare. Aceste condiții sunt de tip „rigiditate”, adică valori fixe pentru raporturile încărcare/deplasare în partea superioară și inferioară a celulei unitare. Prin urmare, sistemul poate fi rezolvat doar iterativ. Condițiile la limită din partea superioară a modelului sunt următoarele:

- încărcarea totală aplicată în partea superioară a modelului, Q ;
- fracțiunea din încărcarea Q aplicată în partea superioară a modelului direct deasupra incluziunii $E_{QP} = Q_p / Q$:
 - în cazul unui rambleu supus unei încărcări uniforme la nivelul superior al modelului, factorul E_{QP} este raportul dintre aria capului incluziunii și aria unei celule a rețelei de incluziuni;
 - în cazul unei fundații de suprafață, valoarea factorului E_{QP} se stabilește prin impunerea egalității tasărilor y_p și y_s la nivelul superior al modelului, ceea ce se justifică prin faptul că deformațiile elementului structural sunt neglijabile în comparație cu cele ale terenului.

Calculul necesită actualizarea valorilor de tasare a terenului $y_s(z)$ la fiecare iterație, conform ecuațiilor (D.6) ... (D.10). Acesta oferă distribuția pe adâncimea a tasării incluziunii, a tasării terenului, a frecării mobilizate, a efortului normal în incluziune și a rezultantei eforturilor verticale din teren.

Figura D.3 ilustrează, cu titlu de exemplu, aplicarea metodei pentru cazul unei fundații de suprafață (a), respectiv cazul unui rambleu (b), pentru același teren (ASIRI, 2012). Tasările calculate prin metoda analitică de-a lungul axei incluziunii și în terenul înconjurător sunt comparate cu cele obținute printr-o modelare axi-simetrică în elemente finite. În cazul rambleului, se observă că tasările devin uniforme în partea superioară, dincolo de o anumită grosime a acestui rambleu.

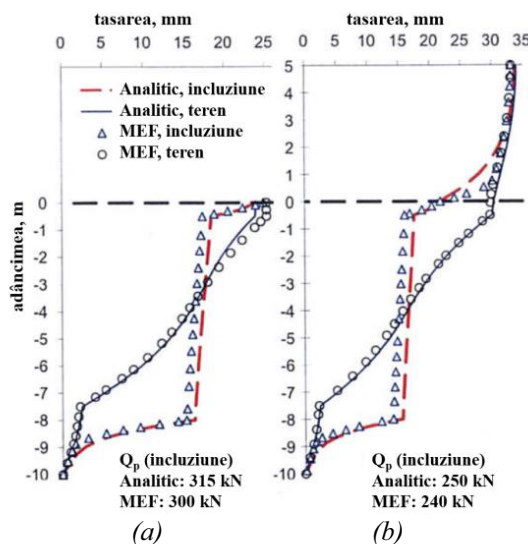


Figura D.3. Tasările calculate pentru cazul unei fundații de suprafață (a), respectiv cazul unui rambleu (b), (ASIRI, 2012)

D.1.2. Modele numerice

(8) Precizia unei simulări numerice depinde de relevanța modelelor constitutive ale terenului utilizate și de discretizarea aleasă pentru masivul studiat. Astfel, modelele numerice permit verificarea capacității portante și a criteriilor de stabilitate ale zonei modelate, precum și calculul deplasărilor, respectiv al deformațiilor.

(9) Rezultatele obținute folosind modelele numerice reprezintă soluții aproximative, iar precizia acestora depinde de:

- legile constitutive ale materialelor și interfețelor;
- discretizarea modelului numeric. În consecință, rețeaua de discretizare trebuie să fie mai fină acolo unde variațiile câmpului de deformații sunt cele mai mari;
- tipul de elemente adoptate (numărul de noduri) și legile de interpolare utilizate pentru fiecare element (liniare sau pătratice);
- utilizarea interfețelor dintre elementele structurale și teren pentru a permite luarea în considerare a fenomenelor de interacțiune teren/structură;
- condițiile la limită impuse modelului numeric.

(10) Comparativ cu metodele simplificate, modelarea numerică ia în considerare întregul masiv de teren îmbunătățit, incluziunile rigide și interfețele dintre incluziuni și teren. Astfel se calculează deplasările, deformațiile și eforturile pentru fiecare element din terenul îmbunătățit. Acest tip de modelare permite, de asemenea, luarea în considerare a cuplajului hidromecanic atunci când apar probleme de consolidare.

Totodată, se pot lua în considerare și etapele tehnologice de execuție a lucrărilor (etapizarea lucrărilor de terasament, instalarea geotextilului în perna de transfer, realizarea fundațiilor și eventual a epuizmentului apelor subterane), iar impactul fiecărei etape de execuție poate fi, prin urmare, evaluat.

Modelarea numerică permite verificarea structurilor în ceea ce privește deplasările (SLS), dar și în ceea ce privește capacitățile portante (SLU).

D.1.3. Modele de omogenizare

(11) Un model de omogenizare aplicabil în cazul în care încărcările sunt strict verticale implică mai întâi studierea comportamentului unei celule elementare care reprezintă o incluziune, împreună cu volumul și stratul de teren asociate. Acest model de celulă elementară este în general considerat a fi un model axisimetric (ASIRI, 2012).

Rezultatele acestui model sunt apoi comparate cu cele obținute într-un al doilea model de aceeași dimensiuni, unde terenul și incluziunea sunt înlocuite cu un singur material, presupus omogen. Caracteristicile acestui material sunt apoi determinate pentru a obține rezultate echivalente cu primul model. Echivalența este în general căutată în termeni de tasare, ceea ce permite definirea modulului de deformație aparent E^* al materialului omogen echivalent, oferind astfel o tasare medie comparabilă în partea superioară a modelului.

Proprietățile astfel obținute pot fi apoi utilizate într-un model continuu complet care acoperă mai multe sau toate celulele elementare ale masivului îmbunătățit. Abordarea aceasta reduce complexitatea modelului necesar pentru a ține cont de comportamentul întregii structuri.

(12) Este necesar de subliniat faptul că modul de calcul al modulului de deformație echivalent pentru un teren îmbunătățit cu incluziuni rigide diferă de cazul unui teren îmbunătățit cu incluziuni semirigide, de tipul coloanelor granulare.

În cazul coloanelor granulare, modulul de deformație echivalent E^* , se poate aproxima cu relația:

$$E^* = (E_p A_p + E_s A_s) / A \quad (D.11)$$

unde:

E_p, A_p – modulul de deformație și aria transversală ale incluziunii;

E_s, A_s – modulul de deformație și aria transversală ale terenului;

A – aria totală a celulei elementare.

În cazul incluziunilor rigide, alunecările la interfața incluziune – teren necesită introducerea unui factor de corecție, β , în relația anterioară:

$$E^* = (E_p A_p / \beta + E_s A_s) / A \quad (D.12)$$

Studiile teoretice au arătat ca factorul β poate să depășească adesea valoarea 10.

D.2. Principii de calcul al platformei de transfer

(1) Verificarea platformei de transfer constă în stabilirea, pentru încărcarea externă aplicată, a valorii limită a efortului în partea superioară a incluziunii, care este compatibil cu caracteristicile materialului platformei de transfer și cu geometria structurii.

(2) Evaluarea efortului maxim pe capul incluziunii rigide se poate determina în funcție de mecanismul de cedare considerat în interiorul platformei de transfer. În general, se consideră două mecanisme: cedare de tip Prandtl și cedare de tip con de forfecare.

(3) Se consideră o îmbunătățire cu incluziuni rigide cu diametrul $D = 2r_p$, dispuse într-o rețea pătrată cu latura s , peste care există o platformă de transfer cu grosimea H , definită de parametrii săi intrinseci (c' , φ' , γ) și supusă unei încărcări q_0 uniform distribuite (Figura D.4).

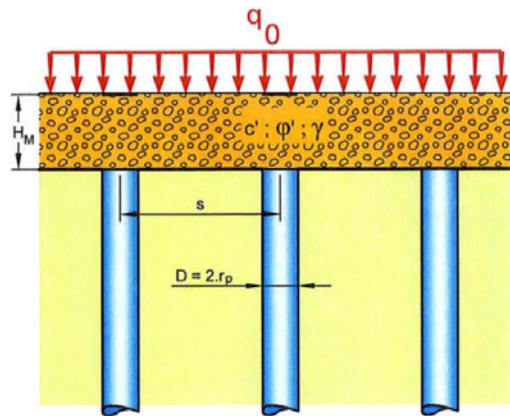


Figura D.4. Configurația sistemului de îmbunătățire cu incluziuni rigide (ASIRI, 2012)

Cedare de tip Prandtl

(4) Mecanismul de cedare de tip Prandtl este prezentat în Figura D.5.

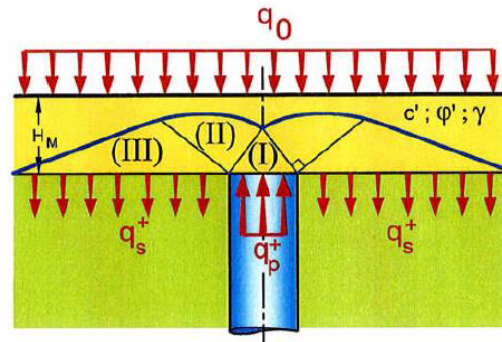


Figura D.5. Mecanismul de cedare de tip Prandtl, (ASIRI, 2012)

Efortul maxim pe capul incluziunii rigide q_p^+ este determinat pe baza efortului aplicat terenului q_s^+ și a parametrilor geotehnici ai platformei de transfer c' , φ' și γ prin următoarea ecuație:

$$q_p^+ = s_q N_q q_s^+ + s_c N_c c' + s_\gamma N_\gamma r_p \gamma \quad (D.13)$$

unde:

s_γ , s_c , s_q – coeficienți de formă a capului incluziunii;

$$N_q = \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi'}{2} \right) * e^{\pi \tan \varphi'};$$

$$N_c = (N_q - 1) * \cot \varphi';$$

$$N_g = 2(N_q - 1) * \tan \varphi';$$

c' - coeziunea efectivă;

φ' - unghiul de frecare efectiv;

γ - greutatea volumică;

r_p - raza incluziunii.

Notă. Pentru platforme de transfer subțiri, greutatea lor și, prin urmare, termenul al treilea din ecuația (D.13) este în general neglijat(ă). Pentru platformele granulare, coeficientul de formă s_q va fi considerat 1, indiferent de forma fundației, în conformitate cu teoria lui Terzaghi.

Cedare de tip con de forfecare

(5) Mecanismul de cedare de tip con de forfecare este prezentat în Figura D.6.

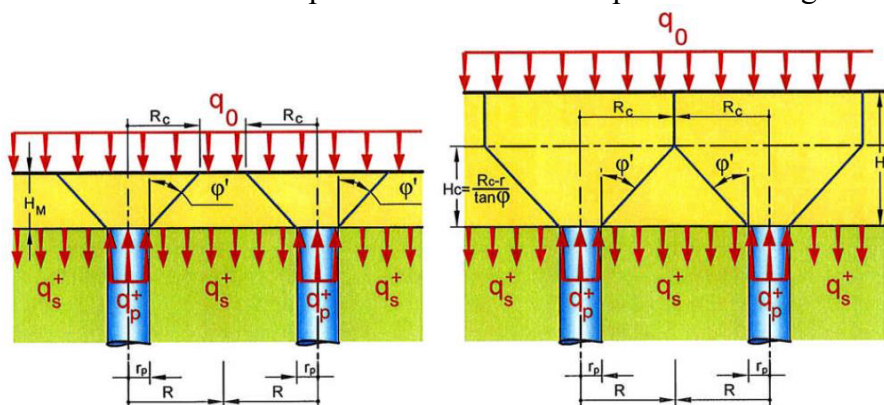


Figura D.6. Mecanismul de cedare de tip con de forfecare (ASIRI, 2012)

Efortul maxim pe capul incluziunii q_p^+ este determinat din presiunea externă aplicată q_0 , grosimea H a platformei de transfer și parametrii săi c' , ϕ' și γ prin următoarele ecuații:

- Dacă $H_M < H_C = \frac{R-r_p}{\tan\phi'}$,

$$q_p^+ = \frac{H_M}{3} \left(\frac{R_C^2}{r_p^2} + 1 + \frac{R_C}{r_p} \right) \gamma + \frac{R_C^2}{r_p^2} q_0 + \frac{1}{\tan\phi'} \left(\frac{R_C^2}{r_p^2} - 1 \right) c' \quad (D.14)$$

unde $R_C = r_p + H_M \tan\phi'$

- Dacă $H_M > H_C = \frac{R-r_p}{\tan\phi'}$,

$$q_p^+ = \left[\frac{H_C}{3} \left(\frac{R^2}{r_p^2} + 1 + \frac{R}{r_p} \right) + (H_M - H_C) \frac{R^2}{r_p^2} \right] \gamma + \frac{R^2}{r_p^2} q_0 + \left[\frac{1}{\tan\phi'} \left(\frac{R^2}{r_p^2} - 1 \right) \right] c' \quad (D.15)$$

unde $R = \frac{s}{\sqrt{\pi}}$

(6) Efortul aplicat terenului q_s^+ este limitat la starea limită ultimă (SLU) de efortul admisibil (calculat pe baza normelor în vigoare).

(7) Efortul preluat de incluziunea rigidă q_p^+ este limitat de capacitatea portantă a incluziunii în relația cu terenul (capacitatea portantă geotehnică) și de cea dată de materialul din care este realizată incluziunea. De notat că capacitatea portantă geotehnică a incluziunii se determină pe baza presiunilor dezvoltată la baza incluziunii și ale frecărilor pe suprafața laterală sub planul neutru (planul în care tasarea incluziunii este egală cu tasarea terenului adiacent).

(8) Pentru un nivel de încărcare dat q , eforturile q_0 , q_s^+ și q_p^+ sunt în echilibru și trebuie să satisfacă în mod necesar ecuația de conservare a încărcării:

$$(q_0 + \gamma H_M) * s^2 = q_s^+ * (s^2 - \pi r_p^2) + q_p^+ * \pi r_p^2 \quad (D.16)$$

(9) În concluzie, perechea de eforturi mobilizate (q_s^+ ; q_p^+) trebuie să satisfacă simultan ecuația de conservare a încărcării (D.16) și trebuie să aparțină domeniului admisibil.

ANEXA E

MALAXARE DE ADÂNCIME

E.1. Caracteristicile fizice ale materialelor rezultate prin metoda de malaxare în adâncime - malaxare în masă

- (1) Amestecarea pământului cu lianți generează un material trifazic.
- (2) Metoda uscată presupune adăugarea liantului uscat în pământuri moi, saturate (Figura E.1.).
- (3) Metoda umedă utilizează o suspensie de liant și apă, fiind aplicabilă oricărui grad de saturație al pământului de bază (Figura E.2.).
- (4) Indiferent de metoda de malaxare aplicată sau de saturația inițială, amestecul rezultat este, în general, saturat.

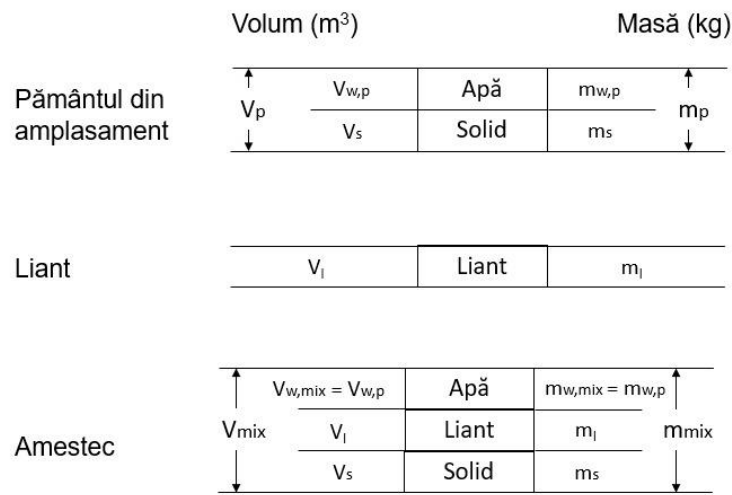


Figura E.1. Componentele amestecului pentru metoda uscată de malaxare în adâncime

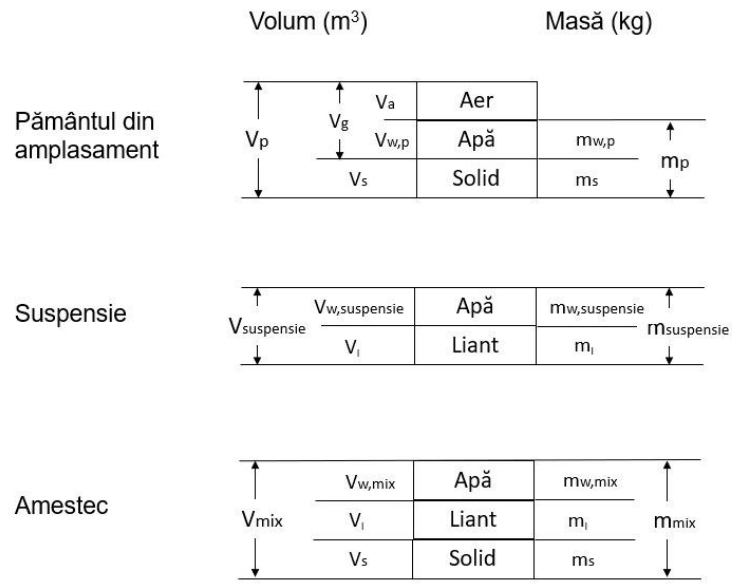


Figura E.2. Componentele amestecului pentru metoda umedă de malaxare în adâncime

- (5) În Figurile E.1. și E.2. sunt utilizate următoarele notații:
- V_p = volumul pământului înainte de amestec;

- $V_{w,p}$ = volumul apei din pământului înainte de amestec;

- V_s = volumul ocupat de particulele solide în pământul înainte de amestec;

- m_p = masa pământului înainte de amestec;

- $m_{w,p}$ = masa apei din pământ înainte de amestec;

- m_s = masa particulele solide în pământul înainte de amestec;
- V_l = volumul liantului;
- m_l = masa liantului;
- V_{mix} = volumul amestecului;
- $V_{w,mix}$ = volumul apei din amestec;
- $m_{w,mix}$ = masa apei din amestec;
- m_{mix} = masa amestecului (metoda uscată);
- V_a = volumul ocupat de aer în pământul înainte de amestec;
- $V_{suspensie}$ = volumul suspensiei (metoda umedă);
- $V_{w,suspensie}$ = volumul apei din suspensie (metoda umedă);
- $m_{suspensie}$ = masa suspensiei (metoda umedă);
- $m_{w,suspensie}$ = masa apei din suspensie (metoda umedă);
- $V_g = V_a + V_{w,p}$ = volumul golurilor din pământului înainte de amestec (metoda umedă);
- $V_p = V_a + V_{w,p} + V_s$ = volumul total al pământului înainte de amestec (metoda umedă);
- $m_p = m_{w,p} + m_s$ = masa pământului înainte de amestec;
- $V_{suspensie} = V_b + V_{w,suspensie}$ = volumul suspensiei;
- $m_{suspensie} = m_b + m_{w,suspensie}$ = masa suspensiei;
- $V_{mix} = V_p + V_b + V_{w,mix}$ = volumul amestecului;
- $m_{mix} = m_p + m_b + m_{w,mix}$ = masa amestecului;

(6) Mărimile definite mai sus sunt utilizate pentru a determina greutatea specifică (relativă) a pământului înainte de amestec (G_p) și greutatea specifică (relativă) a liantului de adaos (G_l), conform relațiilor:

$$G_p = \frac{W_p}{V_p \times \gamma_w} = \frac{\gamma_p}{\gamma_w} \quad (E.1)$$

$$G_l = \frac{W_l}{V_l \times \gamma_w} = \frac{\gamma_l}{\gamma_w} \quad (E.2)$$

unde, în plus față de notațiile anterioare:

G_p este greutatea specifică (relativă) a pământului înainte de amestec,

W_p este greutatea pământului înainte de amestec,

γ_w este greutatea volumică a apei

γ_p este greutatea volumică a pământului înainte de amestec,

G_l este greutatea specifică (relativă) a liantului de adaos,

W_l este greutatea liantului,

γ_l este greutatea volumică a liantului.

(7) Pentru controlul amestecurilor dintre pământ și liant/suspensie, precum și pentru verificarea parametrilor rezultați din laborator și teren, se definesc parametrii pentru malaxarea în adâncime din Tabelul E.1.

Tabelul E.1. Definirea parametrilor necesari în execuție pentru malaxarea în adâncime

Parametru	Aplicabilitate	
	Metoda uscată	Metoda umedă
Dozaj de liant în laborator: $\alpha = \frac{m_l}{V_p} (kg/m^3)$ (E.3.)	DA	DA
Dozaj de liant in-situ: $\alpha_{in-situ} = \frac{m_l}{V_{mix}} (kg/m^3)$ (E.4)	DA	DA
Procent de liant: $a = \frac{m_l}{m_s} (\%)$ (E.5)	DA	DA
Raportul total apă-liant: $w_t: l = \frac{M_{w,mix}}{M_l}$, unde w_t este umiditatea totală (E.6)	DA	DA
Raportul apă-liant pentru suspensie: $w_t: l = \frac{m_{w,suspensie}}{m_l}$ (E.7)	NU	DA

Raportul volumic: $VR = \frac{V_{suspensie}}{V_p}$ (E.8)	NU	DA
---	----	----

(8) În cazul metodei uscate, pentru pământurile saturate, dozajul de liant in-situ se corectează pe baza relației:

$$\alpha_{in-situ} = \frac{\alpha \times \rho_l}{\alpha + \rho_l}, \quad (E.9)$$

unde ρ_l este densitatea liantului.

(9) În cazul metodei umede, în execuție se controlează raportul apă-liant al suspensiei ($w_l:l$) și raportul volumic (VR).

(i) pentru orice valoare a gradului de saturație (S_r), raportul volumic în laborator se determină astfel:

$$VR = \frac{\alpha}{\rho_{d,suspensie}}, \quad (E.10)$$

unde $\rho_{d,suspensie}$ este densitatea în stare uscată a suspensiei.

(ii) pentru $S_r = 1$, raportul volumic in-situ se calculează astfel:

$$VR = \frac{\alpha_{in-situ}}{\rho_{d,suspensie} - \alpha_{in-situ}} \quad (E.11)$$

(iii) pentru orice valoare a gradului de saturație, raportul volumic in-situ se calculează astfel:

$$VR = \frac{S_r(1+w_p \times m_p)}{S_r + w_p \times m_p} \times \frac{\alpha_{in-situ}}{\rho_{d,suspensie} - \alpha_{in-situ}}. \quad (E.12)$$

unde w_p este umiditatea inițială a pământului.
sau

$$VR = \frac{\rho_{d,p}}{\rho_{d,suspensie}} \times \alpha, \quad (E.13)$$

unde $\rho_{d,p}$ este densitatea în stare uscată a pământului.

sau

$$VR = \frac{w_p \times \rho_{d,p}}{(w_l:l - w_p:l) \times \rho_{d,suspensie}} \quad (E.14)$$

(iv) În cazul metodei umede, dozajul de liant în laborator poate fi exprimat cu ajutorul următoarelor corelații:

$$\alpha = \frac{S_r(1+w_p \times G_p)}{S_r + w_p \times G_p} \times \frac{\rho_{d,suspensie} \times \alpha_{in-situ}}{\rho_{d,suspensie} - \alpha_{in-situ}} \quad (E.15)$$

sau

$$\alpha = a \times \rho_{d,p} \quad (E.16)$$

sau

$$\alpha = \frac{w_p \times \rho_{d,p}}{w_l:l - w_p:l} \quad (E.17)$$

iar atunci când $S_r = 1$, se poate exprima astfel:

$$\alpha = \frac{\rho_{d,suspensie} \times \alpha_{in-situ}}{\rho_{d,suspensie} - \alpha_{in-situ}} \quad (E.18)$$

(10) Relațiile de la punctele (8) și (9) s-au stabilit în ipoteza în care apa și liantul nu migrează în terenul din vecinătatea zonei îmbunătățite. În pământurile cu permeabilitate ridicată (nisipuri, pietrișuri), apa din suspensie se poate infiltra în teren sub acțiunea presiunii din timpul injectării, ceea ce reduce raportul apă-liant și crește rezistența volumului de pământ îmbunătățit. Dacă odată cu infiltrarea apei în terenul din jur este antrenat și liantul, procesul combină tehnologia de malaxare cu

injecția, iar relațiile nu mai sunt aplicabile. Aceste relații sunt aplicabile în ipoteza unui amestec uniform.

(11) Densitatea masică a unui pământ saturat îmbunătățit se calculează cu relațiile:

(i) pentru metoda uscată:

$$\rho_{mix} = \frac{\rho_l(\rho_p + \alpha)}{\rho_l + \alpha} \quad (E.19)$$

(ii) pentru metoda umedă:

$$\rho_{mix} = \frac{\rho_p + VR \times \rho_{suspensie}}{1 + VR} \quad (E.20)$$

ANEXA F

ETAPE DE PARCURS PENTRU SOLUȚIILE DE ÎMBUNĂȚĂIRE A TERENULUI

(1) Etapele de parcurs pentru soluțiile de îmbunătățire a terenului de fundare și cele prin lucrări din pământ sunt prezentate în Figura F.1.

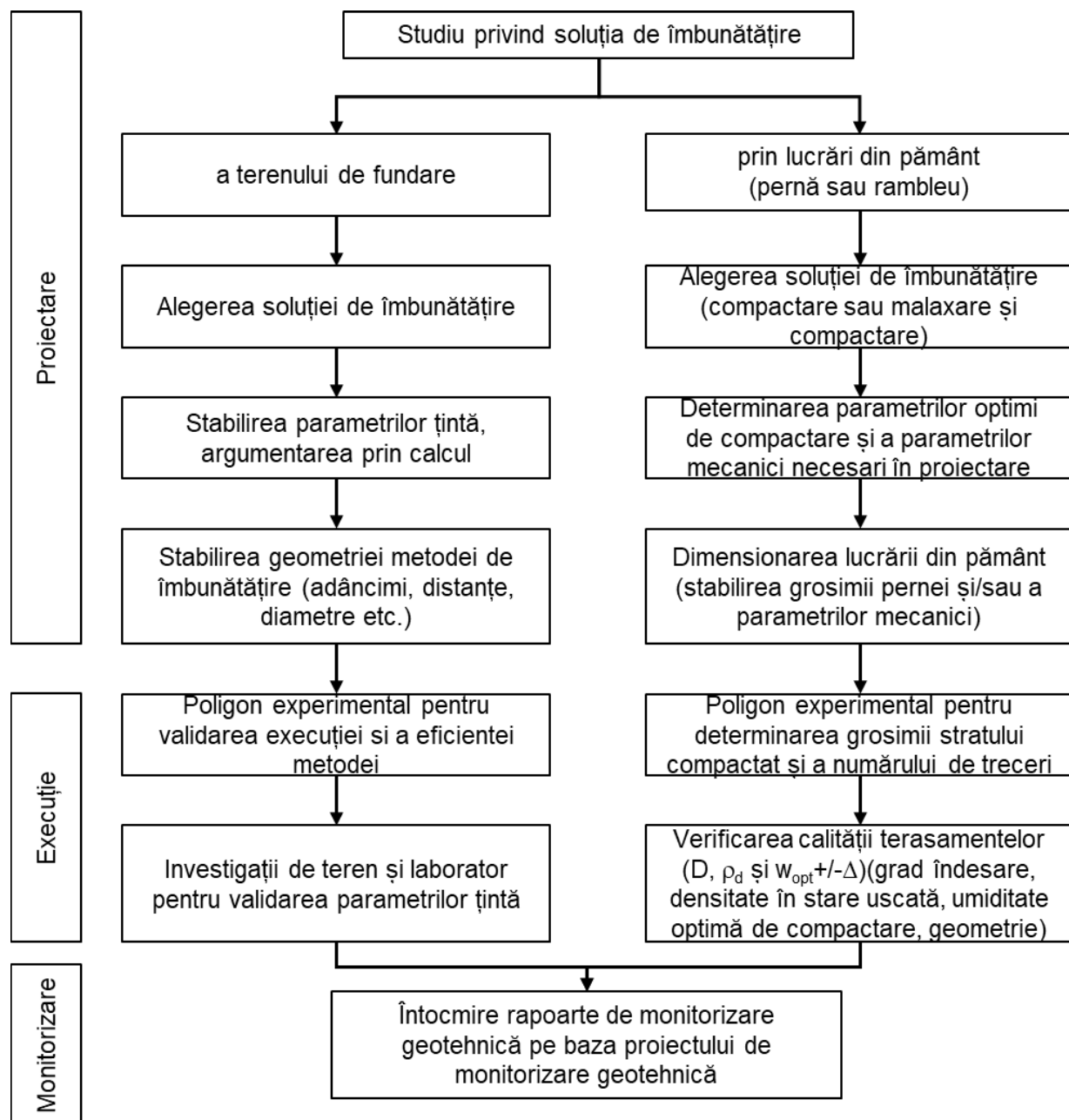


Figura F.1. Etapele de parcurs pentru soluțiile de îmbunătățire a terenului

ANEXA G

SINTEZA METODELOR DE ÎMBUNĂTĂȚIRE A TERENULUI

(1) În Tabelul G.1. este prezentată, cu caracter orientativ, o sinteză a metodelor de îmbunătățire descrise în prezentul document, împreună cu tipurile de pământuri la care acestea se pot aplica.

Tabelul G.1. Sinteza metodelor de îmbunătățire a terenului și aplicabilitatea lor la diferite tipuri de pământuri

Nr. crt.	Tipul de teren / Metoda de imbunatatire	Metode de îmbunătățire a terenurilor de fundare								
		Compactare		Consolidare		Coloane		Incluziuni rigide	Injectii și injecții cu presiune înaltă	Malaxare de adâncime
		Compactare dinamică prin batere	Compactare dinamică prin vibrare	Preîncărcare	Drenuri verticale	Coloane granulare executate prin vibrare sau substituție dinamică, coloane în geotextil	Coloane din pământ (loess)			
Terenuri bune	I.1 Blocuri, bolovănișuri și pietrișuri, conținând mai puțin de 40% nisip și mai puțin de 30% argilă, în condițiile unei stratificații practic uniforme și orizontale (având înclinarea mai mică de 10%)	DA	NU	NU	NU	DA	NU	DA	DA	NU
	I.2 Pământuri nisipoase, inclusiv nisipuri prăfoase, îndesate, în condițiile unei stratificații practic uniforme și orizontale	DA	DA	NU	NU	DA	NU	DA	DA	DA
	I.3 Pământuri fine cu $I_p < 10\%$: nisipuri argiloase, prafuri nisipoase și prafuri, având $e < 0.7$ și $I_c < 0.75$, în condițiile unei stratificații practic uniforme și orizontale	DA	NU	POSIBIL	POSIBIL	DA	POSIBIL	DA	DA	DA
	I.4 Pământuri fine cu $10\% < I_p < 20\%$: nisipuri argiloase, prafuri nisipoase-argiloase, având $e < 1.0$ și $I_c < 0.75$, în condițiile unei stratificații practic uniforme și orizontale	DA	NU	POSIBIL	POSIBIL	DA	POSIBIL	DA	DA	DA
	I.5 Pământuri fine cu $I_p > 20\%$: argile nisipoase, argile prăfoase și argile, având $e < 1.1$ și $I_c < 0.75$, în condițiile unei stratificații practic uniforme și orizontale	NU	NU	POSIBIL	POSIBIL	DA	POSIBIL	DA	DA	DA
	I.6 Rocci stâncoase și semistâncoase în condițiile unei stratificații practic uniforme și orizontale	NU	NU	NU	NU	NU	NU	NU	DA	NU
	I.7 Umpluturi compactate realizate conform unor documentații de execuție (caiete de sarcini) controlate calitativ de unități autorizate	POSIBIL	POSIBIL	POSIBIL	POSIBIL	POSIBIL	POSIBIL	POSIBIL	POSIBIL	POSIBIL
Terenuri medii	II.1 Pământuri nisipoase, inclusiv nisipuri prăfoase, de îndesare medie, în condițiile unei stratificații practic uniforme și orizontale (având înclinarea mai mică de 10%)	DA	DA	POSIBIL	NU	DA	POSIBIL	DA	DA	DA
	II.2 Pământuri fine cu $I_p < 10\%$: nisipuri argiloase, prafuri nisipoase și prafuri, având $e < 0.7$ și $0.5 < I_c < 0.75$, în condițiile unei stratificații practic uniforme și orizontale	DA	NU	POSIBIL	DA	DA	POSIBIL	DA	DA	DA
	II.3 Pământuri fine cu $10\% < I_p < 20\%$: nisipuri argiloase, prafuri nisipoase-argiloase, având $e < 1.0$ și $0.5 < I_c < 0.75$, în condițiile unei stratificații practic uniforme și orizontale	DA	NU	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA
	II.4 Pământuri fine cu $I_p > 20\%$: argile nisipoase, argile prăfoase și argile, având $e < 1.1$ și $0.5 < I_c < 0.75$, în condițiile unei stratificații practic uniforme și orizontale	NU	NU	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA
	II.5 Pământuri argiloase puțin active sau cu activitate medie, definite conform normativului NP 126	NU	NU	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA
	II.6 Umpluturi de proveniență cunoscută realizate organizat și conținând materii organice sub 5 % sau umpluturi necompactate inițial, cu o vechime mai mare de 10-12 ani.	POSIBIL	POSIBIL	POSIBIL	POSIBIL	POSIBIL	POSIBIL	POSIBIL	POSIBIL	POSIBIL
Terenuri dificile	III.1 Pământuri nisipoase, inclusiv nisipuri prăfoase, în stare afânătă	DA	DA	POSIBIL	NU	DA	POSIBIL	DA	DA	DA
	III.2 Pământuri nisipoase saturate susceptibile de lichefiere sub acțiuni seismice	NU	DA	POSIBIL	NU	DA	POSIBIL	DA	DA	DA
	III.3 Pământuri fine având $I_c < 0.5$	NU	NU	DA	DA	DA	POSIBIL	DA	DA	DA
	III.4 Pământuri sensibile la umezire, definite conform normativului NP 125	DA	NU	DA	NU	NU	DA	DA	POSIBIL	DA
	III.5 Pământuri cu umflări și contracții mari, cu activitate mare și foarte mare, definite conform normativului NP 126	NU	NU	NU	NU	NU	NU	DA	NU	DA
	III.6 Pământuri cu conținut ridicat de materii organice (peste 5 %).	NU	NU	NU	NU	NU	NU	NU	NU	NU
	III.7 Terenuri în pantă cu potențial de alunecare	NU	NU	NU	NU	NU	NU	NU	NU	NU
	III.8 Umpluturi din pământ executate necontrolat cu o vechime sub 10 ani	POSIBIL	POSIBIL	POSIBIL	POSIBIL	POSIBIL	POSIBIL	POSIBIL	POSIBIL	POSIBIL
	III.9 Umpluturi din resturi menajere, indiferent de vechime	NU	NU	NU	NU	NU	NU	NU	NU	NU

Legendă:

DA - metoda dă rezultate

NU - este interzisă sau nu dă rezultate aplicarea metodei

POSIBIL - poate da rezultate, în funcție de tipul terenului sau de obiectivele îmbunătățirii

ANEXA H

LISTA STANDARDELOR PENTRU DETERMINAREA PARAMETRILOR GEOTEHNICI

Tabelul H.1. Lista standardelor pentru determinarea parametrilor geotehnici

Nr. crt.	Parametru	Simbol	Metodă	Standard
1	Capacitate de îndesare	C_r	laborator	definiție în STAS 1243 (anulat), determinarea e_{max} și e_{min} cf. STAS 13006 și STAS 13021
2	Caracteristici geometrice roci			SR EN 13373
3	Coeficient de aplatizare pentru agregate	A	laborator	SR EN 933-3
4	Coeficient de compresibilitate volumică	m_v	edometru	SR EN ISO 17892-5
5	Coeficient de consolidare secundară	C_α	edometru	SR EN ISO 17892-5
6	Coeficient de consolidare vertical	c_v	edometru	SR EN ISO 17892-5
7	Coeficient de forma pentru agregate	C_f	laborator	SR EN 933-4
8	Coeficient de neuniformitate	C_U	laborator	SR EN ISO 14688-2
9	Coeficient de permeabilitate	k	permeamtru	SR EN ISO 17892-11
10	Coeficient de permeabilitate	k	încercări în foraj	SR EN ISO 22282-2 și SR EN ISO 22282-4
11	Coeficient micro-Deval pentru agregate		laborator	SR EN 1097-1
12	Coeficient Poisson	ν	compresiune triaxială	SR EN ISO 17892-9
13	Coeziune drenată	c'	compresiune triaxială / forfecare directă	SR EN ISO 17892-9 și SR EN ISO 17892-10
14	Coeziunea nedrenată	c_u	triaxial UU / monoaxial	SR EN ISO 17892-8 și SR EN ISO 17892-9
15	Compoziție granulometrică	—	laborator	SR EN ISO 17892-4, pentru agregate SR EN 933-1, pentru anrocamente SR EN 13383-2
16	Conținut de carbonati	—	laborator	STAS 7107/3
17	Conținut de materii organice	—	laborator	STAS 7107/1
18	Densitate in situ	ρ	pe teren	STAS 1913/5 sau metode geofizice în conformitate cu STAS 1242/7 (metode seismice); STAS 1242/8 (metode electrometrice); STAS 1242/9 (metode radiometrice) sau prin încercări de penetrare statică (SR EN ISO 22476-12) sau dinamică (SR EN ISO 22475-2).
19	Densitate în stare naturală	ρ	laborator	SR EN ISO 17892-2
20	Densitate maximă uscată	$\rho_{d,max}$	laborator Proctor	SR EN 13286-2 pentru agregate, STAS 1913/13 pentru pământuri
21	Densitatea particulelor și absorbția de apă anrocamente		laborator	SR EN 13383-2

Nr. crt.	Parametru	Simbol	Metodă	Standard
22	Densitatea reală, densitatea aparentă și porozitatea totală și deschisă		laborator	SR EN 1936
23	Densitatea și coeficientul de absorbție pentru agregate		laborator	SR EN 1097-6
24	Echivalent de nisip pentru agregate	EN	laborator	SR EN 933-8
25	Grad de compactare	D	în laborator sau pe teren cu nisip sau folie și apă	STAS 9850, STAS 1913-15
26	Încercarea cu sulfat de magneziu pentru agregate și anrocamente (metoda chimică)		laborator	SR EN 1367-2
27	Indice de compresiune	C_c	edometru	SR EN ISO 17892-5
28	Indice de recompresiune	C_r	edometru	SR EN ISO 17892-5
29	Indicele californian de capacitate portantă	CBR	laborator	IM 003-96, SR EN 13286-47 pentru Amestecuri netratate și tratate cu lianți hidraulici
30	Indicele californian de capacitate portantă	CBR	pe teren	AND 530-2012
31	Indicele de portantă imediată	IPi	laborator	EN 13286-47
32	Limite Atterberg	w_L, w_P	laborator	SR EN ISO 17892-12
33	Modul de deformare (laborator)	E	compresiune triaxială	SR EN ISO 17892-9
34	Modul de deformare (teren)	E_{v2}	încercare cu placă	STAS 8942/3 sau Anexa 3 din AND 530-2012
35	Modul edometric	E_{oed}	edometru	SR EN ISO 17892-5
36	Modul presiometric Menard	E_M	presiometru Menard	SR EN ISO 22476-4
37	Natura petrografică – mineralogică pentru roci și anrocamente		laborator	SR EN 12407
38	Nivel apă subterană		piezometru	SR EN ISO 22475-1
39	Presiune de preconsolidare	σ'_p	edometru	SR EN ISO 17892-5
40	Presiunea de fluaj	p_f	presiometru Menard	SR EN ISO 22476-4
41	Presiunea limită Menard	p_{LM}	presiometru Menard	SR EN ISO 22476-4
42	Rezistența la compresiune monoaxială pământuri		laborator	SR EN ISO 17892-7
43	Rezistența la compresiune monoaxială roci și anrocamente	Rc	laborator	SR EN 1926
44	Rezistență la fragmentare	—	Los Angeles	SR EN 1097-2
45	Rezistența la îngheț – dezgheț		laborator	SR EN 1367-1 pentru agregate, SR EN 12371 pentru roci, SR EN 13383-2 pentru anrocamente
46	Rezistență la penetrare	N_{SPT}	SPT	SR EN ISO 22476-3
47	Rezistență la penetrare	N	DP	SR EN ISO 22476-2

Nr. crt.	Parametru	Simbol	Metodă	Standard
48	Rezistență la penetrare pe con	q_c	CPT	SR EN ISO 22476-12
49	Rezistență la uzură	—	micro-Deval	SR EN 1097-1
50	Rezistență nedrenată	s_u	scizometru de teren (vane test)	SR EN ISO 22476-9
51	Sensibilitatea la apa		laborator	STAS 10473/2 pentru Straturi rutiere din agregate naturale sau pământuri stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici.
52	Umflarea liberă	U_L	laborator	STAS 1913/12
53	Umiditate naturală	w	laborator	SR EN ISO 17892-1
54	Umiditate optimă	w_{opt}	laborator Proctor	SR EN 13286-2 pentru agregate, STAS 1913/13 pentru pământuri
55	Unghi de dilatanță	ψ	compresiune triaxială	SR EN ISO 17892-9
56	Unghi de frecare internă	φ'	compresiune triaxială / forfecare directă	SR EN ISO 17892-9 și SR EN ISO 17892-10
57	Valoarea de albastru de metilen	VBS	laborator	SR EN 933-9 pentru agregate, SR EN 17542-3:2022 pentru pământuri
58	Valoarea de condiție a umidității amestecului (parametrul de umiditate)		laborator	SR EN 13286-46

Anexa nr. 2

Instrucțiune tehnică de execuție pentru
soluțiile de îmbunătățire a terenului de
fundare,
indicativ RTC 17-2026

1. SCOP SI DOMENIU DE APLICARE

Prezenta reglementare tehnică „Instrucțiune tehnică de execuție pentru soluțiile de îmbunătățire a terenului de fundare” cuprinde aspecte de execuție ale soluțiilor de îmbunătățire a terenului de fundare al oricăror construcții și structurilor geotehnice.

Pentru construcții și structuri specifice care urmează a fi fondate pe terenul îmbunătățit sau pentru anumite utilizări specifice ale lucrărilor din pământ se aplică prevederile reglementărilor tehnice în vigoare specifice acestora.

Prezenta reglementare tehnică înlocuiește prevederile legate de execuție din următoarele reglementări tehnice:

- Normativ privind îmbunătățirea terenurilor de fundare slabe prin procedee mecanice (caietele I....VI), indicativ C 29-1985, aprobat prin Decizia Institutului Central de Cercetare, Proiectare și Directivare în Construcții nr. 20/11.04.1985, publicat în Buletinul Construcțiilor nr. 8/1985;
- Instrucțiuni tehnice pentru consolidarea pământurilor sensibile la umezire și a nisipurilor prin silicatizare și electrosilicatizare, indicativ C 168-1980, aprobat prin Decizia Institutului Central de Cercetare, Proiectare și Directivare în Construcții nr. 91/17.11.1980, publicat în Buletinul Construcțiilor nr. 12/1980;
- Normativ privind executarea lucrărilor de terasamente pentru realizarea fundațiilor construcțiilor civile și industriale, indicativ C 169-1988, aprobat prin Decizia Institutului Central de Cercetare, Proiectare și Directivare în Construcții nr. 59/30.09.1988, publicat în Buletinul Construcțiilor nr. 5/1988;
- Instrucțiuni tehnice pentru folosirea pământurilor stabilizate la lucrările de fundații, indicativ C 196-1986, aprobat prin Decizia Institutului Central de Cercetare, Proiectare și Directivare în Construcții nr. 30/03.10.1986, publicat în Buletinul Construcțiilor nr. 8/1986;
- Instrucțiuni tehnice pentru proiectarea executarea, recepționarea lucrărilor de îmbunătățire a terenurilor slabe de fundare prin metoda îmbunătățirii cu materiale locale de aport pe cale dinamică, indicativ C 251-1994, aprobat prin Ordinul ministrului lucrărilor publice și amenajării teritoriului nr. 4/N/11.02.1994, publicat în Buletinul Construcțiilor nr. 7/1994;
- Instrucțiuni tehnice departamentale pentru proiectarea și executarea fundațiilor pentru lucrările de drumuri din pământuri stabilizate cu ciment, indicativ CD 29-1979, aprobat prin Ordinul ministrului transporturilor, turismului și construcțiilor nr. 311/17.02.1979, publicat în Buletinul Construcțiilor nr. 11/1979;
- Normativ privind îmbunătățirea terenurilor de fundare slabe, prin procedee mecanice și de compactare cu maiul foarte greu - caiet VIII, indicativ NE 008-1997, aprobat prin Ordinul ministrului lucrărilor publice și amenajării teritoriului nr. 60/N/03.11.1997, publicat în Buletinul Construcțiilor nr. 15/1998.

2. TERMENI SI DEFINITII

2.1. Termeni generali

Se aplică termenii generali legați de proiectarea structurală și geotehnică din standardul SR EN 1990:2023, precum și cei referitori la proiectarea geotehnică din standardele SR EN 1997-1:2024, SR EN 1997-2:2024, SR EN 1997-3:2025, și din reglementarea tehnică Normativ privind documentațiile geotehnice pentru construcții, indicativ NP 074-2022, aprobat prin Ordinul ministrului dezvoltării, lucrărilor publice și administrației nr. 27/10.01.2023, publicat în Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 56 și 56 bis din 20 ianuarie 2023, denumit în continuare NP 074-2022.

Mai jos sunt prezentați câțiva termeni specifici lucrărilor de îmbunătățire a terenului aplicabili acestei reglementări tehnice.

(1) **teren** - pământuri, roci și umpluturi existente pe amplasament înainte de începerea lucrărilor de construcție;

(2) **îmbunătățirea terenului** - modificarea terenului pentru a-i îmbunătăți performanțele față de stările limită ultime și/sau de serviciu;

(3) **îmbunătățire discretă** - îmbunătățire a terenului care cuprinde incluziuni create în teren care au proprietăți diferite de cele ale terenului din jur;

Notă: sursa standardul SR EN 1997-3:2025

(4) **îmbunătățire difuză** - îmbunătățire a terenului în care zona de teren îmbunătățită poate fi modelată cu un singur set de parametri;

Notă: sursa standardul SR EN 1997-3:2025

(5) **Model al Terenului** - Modelul Terenului este o reprezentare a condițiilor topografice, geologice, tectonice, hidrogeologice și geotehnice relevante dintr-un amplasament dat, care se bazează pe rezultatele investigațiilor de teren și alte date relevante;

Notă: sursa reglementarea tehnică NP 074-2022

(6) **Model Geotehnic de Proiectare** - Modelul Geotehnic de Proiectare este o reprezentare a terenului din amplasament derivată din modelul terenului care este utilizată la etapa de proiectare geotehnică pentru verificarea stărilor limită și situațiilor de proiectare;

Notă: sursa reglementarea tehnică NP 074-2022

(7) **zonă de influență** - zonă în care lucrările de construcție sau structura geotehnică poate afecta negativ siguranța, starea de exploatare, robustețea, durabilitatea sau sustenabilitatea structurii geotehnice sau a altor structuri, utilitățile, terenul sau apa subterană;

Notă: sursa standardul SR EN 1997-1:2024

(8) **Categorie Geotehnică** - sistem de clasificare care combină incertitudinea și complexitatea terenului, inclusiv interacțiunea dintre apă subterană și/sau teren cu structura, cu consecințele cedării;

Notă: sursa standardul SR EN 1997-1:2024

(9) **structură geotehnică** - o structură care include pământul sau o parte structurală de construcție care se bazează pe rezistența pământului;

(10) **zonă îmbunătățită** - volum de teren care a fost îmbunătățit și care are proprietăți modificate;

Notă: sursa standardul SR EN 1997-3:2025

(11) **incluziune** - element creat în teren, cu geometrie definită și cu proprietăți semnificativ diferite față de terenul din jur pentru a modifica distribuția încărcărilor, eforturilor și a curgerii apei subterane în terenul îmbunătățit;

Notă: sursa standardul SR EN 1997-3:2025

(12) **incluziune rigidă** - incluziune cu rigiditate și rezistență considerabil mai mare decât cea a terenului din jur;

Notă: sursa standardul SR EN 1997-3:2025

(13) **specificație tehnică** - document sau set de documente care cuprind prevederi scrise, piese desenate, descrieri ale lucrărilor proiectate, cerințe tehnice aferente execuției și materialelor utilizate, prevederi legate de controlul lucrărilor, toleranțe și alte date tehnice și cerințe necesare pentru execuția lucrărilor;

Nota 1: adaptat după standardele SR EN 1997-1:2024 și SR EN 16907-1

Nota 2: mai poartă numele de caiet de sarcini

(14) **caracteristici** - proprietăți ale materialelor care pot fi relevante pentru o anumită utilizare;

(15) **proprietăți** - atribute fizice, mecanice și chimice ale unui material;

(16) **poligon experimental** (de încercare) - un sector sau o zonă special amenajată din amplasament utilizată pentru a testa și a evalua comportamentul diferitelor tehnologii, materiale sau soluții de îmbunătățire;

2.2. Termeni referitori la îmbunătățirea terenului de fundare prin compactare dinamică

(17) **compactare dinamică prin batere** - compactare de adâncime a terenului obținută prin căderea unor maiuri grele sau prin aplicarea unor impulsuri, în mod repetat, pe teren, de regulă în puncte care formează o rețea, care generează unde de vibrații ce se propagă în teren;

(18) **compactare dinamică prin vibrare** (vibro-compactare) - compactare de adâncime prin vibrare a terenului obținută prin crearea de vibrații prin introducerea în teren a unui vibrator sau a unui profil vibrant;

Notă: Pentru compactarea dinamică prin vibrare se aplică termenii și definițiile din standardul SR EN 14731.

2.3. Termeni referitori la îmbunătățirea terenului de fundare prin consolidare

(19) **consolidare** - procesul de reducere a volumului porilor unui pământ sub acțiunea încărcărilor aplicate, concomitent cu expulzarea apei din pori (la pământurile saturate);

(20) **rambleu de preîncărcare** - rambleu executat pe un teren ce urmează a fi îmbunătățit prin consolidare care aduce pe teren o sarcină mai mare decât sarcina finală ce va fi aplicată de structura permanentă ce va fi fundată;

(21) **drenuri verticale** - structură de drenaj verticală creată în teren pentru a înlătura excesul de presiune a apei din pori, accelerând consolidarea terenurilor moi, saturate;

Notă: Pentru îmbunătățirea terenului cu drenuri verticale se aplică termenii și definițiile din standardul SR EN 15237.

2.4. Termeni referitori la îmbunătățirea terenului prin coloane

(22) **coloane din material granular realizate prin vibrare** - metodă de îmbunătățire a terenului prin vibrare de adâncime în care un vibrator de adâncime este folosit pentru a forma coloane continue din material granular de aport (vibro-înlocuire) sau din materialul necoeziv din teren (vibro-compactare);

Notă: Pentru compactarea dinamică prin vibrare se aplică termenii și definițiile din standardul SR EN 14731.

(23) **substituție dinamică** - metodă de îmbunătățire a terenului prin utilizarea compactării dinamice pentru a introduce în teren materiale granulare pentru a forma coloane sau ploturi din material granular;

(24) **coloane în teacă de geotextil** - coloane din material granular sau pământ la care materialul este introdus într-o teacă realizată din geotextil, introdusă în prealabil în teren cu ajutorul unui tubaj, pentru a controla dimensiunea și forma coloanei formate într-un teren foarte moale;

2.5. Termeni referitori la îmbunătățirea terenului prin incluziuni rigide

(25) **platformă de transfer** - strat compactat, de regulă din material granular, deseori armat, amplasat peste capetele incluziunilor rigide, sub fundație, pentru a distribui încărcările între incluziuni și terenul dintre acestea ;

2.6. Termeni referitori la îmbunătățirea terenului prin injecții

(26) **injectare a terenului de fundare** - introducerea unor fluide în teren cu ajutorul presiunii, capabile să modifice proprietățile fizico-mecanice ale materialelor din care acesta este alcătuit

Nota 1: Pentru îmbunătățirea terenurilor prin injecții se aplică termenii și definițiile din standardul SR EN 12715.

Nota 2: Pentru îmbunătățirea pământurilor prin injecții cu presiune înaltă se aplică termenii și definițiile din standardul SR EN 12716.

2.7. Termeni referitori la îmbunătățirea terenurilor prin malaxare de adâncime

(27) **îmbunătățire prin malaxare de adâncime** - tehnică de îmbunătățire care presupune amestecarea mecanică a unui liant cu pământul, *in-situ* sau *ex-situ* pentru a crea un nou material cu proprietăți îmbunătățite;

Notă: Pentru îmbunătățirea pământurilor prin malaxare în adâncime se aplică termenii și definițiile din standardul SR EN 14679:2005.

2.8. Termeni referitori la lucrări din pământ

Pentru lucrările din pământ se aplică termenii și definițiile din standardul SR EN 16907 (toate părțile).

(28) **lucrări din pământ** - proces de inginerie civilă, care modifică geometria suprafeței terenului prin crearea unor structuri din pământ stabile și durabile;

(29) **structură din pământ** - structură de inginerie civilă, realizată din pământuri, roci, subproduse sau materiale reciclate, rezultată din lucrări de lucrări din pământ (debleu, rambleu, umplutură);

Notă: sursă standardul SR EN 16907-1

(30) **proiectarea lucrărilor din pământ** - stabilirea procesului de construcție pentru realizarea unei anumite structuri din pământ;

(31) **stabilizarea pământului** (stabilizare chimică) - operație care constă din obținerea unui amestec omogen de pământ cu liant (lianți) și, eventual, cu apă care, după compactare adecvată, modifică semnificativ (în general, pe termen mediu sau lung) caracteristicile pământului, astfel încât să îl facă stabil, în mod deosebit în raport cu acțiunea apei sau a înghețului

3. REFERINTE

3.1. Standarde române de referință

Nr. crt	Indicativ	Titlu
1.	SR EN 1997-1:2024	Eurocod 7: Proiectare geotehnică. Partea 1: Reguli generale
2.	SR EN 1997-1:2024/NA:2025	Eurocod 7: Proiectare geotehnică. Partea 1: Reguli generale. Anexă Națională
3.	SR EN 1997-2:2024	Eurocod 7: Proiectare geotehnică. Partea 2: Proprietăți ale terenului
4.	SR EN 1997-2:2024/NA:2025	Eurocod 7: Proiectare geotehnică. Partea 2: Proprietăți ale terenului. Anexa Națională
5.	SR EN 1997-3:2025	Eurocod 7: Proiectare geotehnică. Partea 3: Structuri geotehnice
6.	SR EN 1990:2023	Eurocod: Bazele proiectării structurale și geotehnice
7.	SR EN 1990:2023/NA:2025	Eurocod: Bazele proiectării structurale și geotehnice. Anexa Națională
8.	SR EN 1992-1-1:2024	Eurocod 2. Proiectarea structurilor din beton. Partea 1-1: Reguli generale și reguli pentru clădiri, poduri și structuri de inginerie civilă
9.	SR EN 1992-1-1:2024/NA:2025	Eurocod 2. Proiectarea structurilor din beton. Partea 1-1: Reguli generale și reguli pentru clădiri, poduri și structuri de inginerie civilă. Anexa Națională
10.	SR EN 1993-1-1:2023	Eurocod 3: Proiectarea structurilor din oțel. Partea 1-1: Reguli generale și reguli pentru clădiri
11.	SR EN 1993-1-1:2023/NA:2025	Eurocod 3: Proiectarea structurilor din oțel. Partea 1-1: Reguli generale și reguli pentru clădiri. Anexa Națională
12.	SR EN 1995-1-1:2004	Eurocod 5: Proiectarea structurilor de lemn. Partea 1-1: Generalități. Reguli comune și reguli pentru clădiri
13.	SR EN 1995-1-1:2004/NB:2008	Eurocod 5: Proiectarea structurilor de lemn. Partea 1-1: Generalități. Reguli comune și reguli pentru clădiri. Anexă națională
14.	SR EN 16907-1	Lucrări din pământ. Partea 1: Principii și reguli generale
15.	SR EN 16907-2	Lucrări din pământ. Partea 2: Clasificarea materialelor
16.	SR EN 16907-3	Lucrări din pământ. Partea 3: Proceduri de construcție
17.	SR EN 16907-4	Lucrări din pământ. Partea 4: Tratarea pământurilor cu var și/sau lianți hidraulici
18.	SR EN 16907-5	Lucrări din pământ. Partea 5: Controlul calității
19.	SR EN 16907-6	Lucrări din pământ. Partea 6: Lucrări din pământ pentru recuperarea de terenuri din apă utilizând umpluturi din material dragat pus în operă prin hidromecanizare
20.	SR EN 16907-7	Lucrări din pământ. Partea 7: Punerea în operă prin hidromecanizare a deșeurilor miniere

21.	SR EN ISO 14688-1	Investigații și încercări geotehnice. Identificarea și clasificarea pământurilor. Partea 1: Identificare și descriere
22.	SR EN ISO 14688-2	Investigații și încercări geotehnice. Identificarea și clasificarea pământurilor. Partea 2: Principii pentru o clasificare
23.	SR EN 15237	Execuția lucrărilor geotehnice speciale. Drenaj vertical
24.	SR EN 13251	Geotextile și produse înrudite. Caracteristici impuse pentru utilizarea în lucrări de terasamente, fundații și structuri de susținere
25.	SR EN 13252	Geotextile și produse înrudite. Caracteristici impuse pentru utilizarea în sisteme de drenaj
26.	SR EN ISO 12958-1	Geotextile și produse înrudite cu geotextilele. Determinarea capacității de curgere a apei în planul acestora. Partea 1: Încercare de identificare
27.	SR EN ISO 12958-2	Geotextile și produse înrudite cu geotextilele. Determinarea capacității de curgere a apei în planul acestora. Partea 2: Încercare de performanță
28.	SR EN 14731	Execuția lucrărilor geotehnice speciale. Îmbunătățirea pământurilor prin vibrare de adâncime
29.	SR EN 12715	Execuția lucrărilor geotehnice speciale. Injectarea terenurilor
30.	SR EN 12716	Execuția lucrărilor geotehnice speciale. Injectarea cu presiune înaltă a terenurilor (jet grouting)
31.	SR EN 14679	Execuția lucrărilor geotehnice speciale. Stabilizarea în adâncime a pământurilor prin malaxare
32.	SR EN 197-1	Ciment Partea 1: Compoziție, specificații și criterii de conformitate ale cimenturilor uzuale
33.	SR EN 197-2	Ciment. Partea 2: Evaluarea și verificarea constanței performanței
34.	SR EN 459-1	Var pentru construcții. Partea 1: Definiții, specificații și criterii de conformitate
35.	SR EN 459-2	Var pentru construcții. Partea 2: Metode de încercare
36.	SR 2914:2024	Lucrări de drumuri – Terasamente - Condiții tehnice de calitate
37.	SR EN ISO 17892-4	Investigații și încercări geotehnice. Încercări de laborator pe pământuri. Partea 4: Determinarea distribuției granulometrice a particulelor
38.	SR EN ISO 17892-7	Investigații și încercări geotehnice. Încercări de laborator pe pământuri. Partea 7: Încercare la compresiune monoaxială
39.	SR EN ISO 17892-10	Investigații și încercări geotehnice. Încercări de laborator pe pământuri. Partea 10: Încercări de forfecare directă
40.	SR EN ISO 17892-12	Investigații și încercări geotehnice. Încercări de laborator pe pământuri. Partea 12: Determinarea limitelor de lichiditate și plasticitate
41.	STAS 7107/1	Teren de fundare. Determinarea materiilor organice
42.	STAS 10473/1	Lucrări de drumuri. Straturi din agregate naturale sau pământuri stabilizate cu ciment. Condiții tehnice generale de calitate
43.	STAS 10473/2	Lucrări de drumuri. Straturi rutiere din agregate naturale sau pământuri stabilizate cu lianți hidraulici sau puzzolanici. Metode de determinare și încercare
44.	STAS 1913/12	Teren de fundare. Determinarea caracteristicilor fizice și mecanice ale pământurilor cu umflări și contracții mari

45.	STAS 1913/13	Teren de fundare. Determinarea caracteristicilor de compactare. Încercarea Proctor
46.	STAS 1913/15	Teren de fundare. Determinarea greutateii volumice, pe teren
47.	SR EN 13286-2	Amestecuri netratate și tratate cu lianți hidraulici. Partea 2: Metode de încercare pentru determinarea în laborator a masei volumice de referință și a conținutului de apă. Compactare Proctor
48.	SR EN 13286-46	Amestecuri netratate și tratate cu lianți hidraulici. Partea 46: Metode de determinare a valorii parametrului de umiditate
49.	SR EN 13286-47	Amestecuri legate și nelegate hidraulic – Partea 47: Metodă de încercare pentru determinarea indicelui californian de capacitate portantă (CBR), a indicelui de portanță imediată (IPI) și a umflării liniare
50.	SR EN 13242	Agregate din materiale nelegate sau legate hidraulic pentru utilizare în inginerie civilă și în construcții de drumuri
51.	SR EN 933-1	Încercări pentru determinarea caracteristicilor geometrice ale agregatelor. Partea 1: Determinarea granulozității. Analiza granulometrică prin cernere
52.	SR EN 933-3	Încercări pentru determinarea caracteristicilor geometrice ale agregatelor. Partea 3: Determinarea formei granulelor. Coeficient de aplatizare
53.	SR EN 933-4	Încercări pentru determinarea caracteristicilor geometrice ale agregatelor. Partea 4: Determinarea formei particulelor. Coeficient de formă
54.	SR EN 933-8	Încercări pentru determinarea caracteristicilor geometrice ale agregatelor. Partea 8: Evaluarea părților fine. Determinarea echivalentului de nisip
55.	SR EN 1097-1	Încercări pentru determinarea caracteristicilor mecanice și fizice ale agregatelor. Partea 1: Determinarea rezistenței la uzură (micro-Deval)
56.	SR EN 1097-2	Încercări pentru determinarea caracteristicilor mecanice și fizice ale agregatelor. Partea 2: Metode pentru determinarea rezistenței la sfărâmare
57.	SR EN 1097-6	Încercări pentru determinarea caracteristicilor mecanice și fizice ale agregatelor. Partea 6: Determinarea densității și a absorbției de apă a granulelor
58.	SR EN 1097-9	Încercări pentru determinarea caracteristicilor mecanice și fizice ale agregatelor. Partea 9: Metodă pentru determinarea rezistenței la uzură prin abraziune provocată de pneuri cu crampoane. Încercarea scandinavă
59.	SR EN 1367-2	Încercări pentru determinarea caracteristicilor termice și de alterabilitate ale agregatelor. Partea 2: Încercarea cu sulfat de magneziu
60.	SR EN 933-9	Încercări pentru determinarea caracteristicilor geometrice ale agregatelor. Partea 9: Evaluarea părților fine. Încercare cu albastru de metilen
61.	SR EN 1744-1	Încercări pentru determinarea proprietăților chimice ale agregatelor. Partea 1: Analiză chimică
62.	SR EN 1467	Piatră naturală. Blocuri brute. Specificații
63.	SR EN 13373	Metode de încercare a pietrei naturale. Determinarea caracteristicilor geometrice ale elementelor

64.	SR EN 12407	Metode de încercare a pietrei naturale. Examinare petrografică
65.	SR EN 1936	Metode de încercare a pietrei naturale. Determinarea densității reale și densității aparente și a porozității totale și deschise
66.	SR EN 12371	Metode de încercare a pietrei naturale. Determinarea rezistenței la îngheț
67.	SR EN 1926	Metode de încercare a pietrei naturale. Determinarea rezistenței la compresiune uniaxială
68.	SR EN 13383-1	Agregate pentru anrocamente. Partea 1: Specificații
69.	SR EN 13383-2	Anrocamente. Partea 2: Metode de încercare
70.	SR EN 13282-1	Lianți hidraulici rutieri. Partea 1: Lianți hidraulici rutieri cu întărire rapidă. Compoziție, specificații și criterii de conformitate
71.	SR EN 13282-2	Lianți hidraulici rutieri. Partea 2: Lianți hidraulici rutieri cu întărire normală. Compoziție, specificații și criterii de conformitate
72.	SR EN 15167-1	Zgură granulată de furnal măcinată pentru utilizare în beton, mortar și pastă. Partea 1: Definiții, specificații și criterii de conformitate
73.	SR EN 14227-2	Amestecuri tratate cu lianți hidraulici. Specificații. Partea 2: Amestecuri granulare tratate cu zgură
74.	STAS 1242/7	Teren de fundare. Cercetarea geofizică a terenului prin metode seismice
75.	STAS 1242/8	Teren de fundare. Principii de cercetare geofizică a terenului prin metode electrometrice în curent continuu
76.	STAS 1242/9	Teren de fundare. Cercetarea geofizică a terenului prin metode radiometrice
77.	SR EN ISO 22476-2	Investigații și încercări geotehnice. Încercări pe teren. Partea 2: Încercare de penetrare dinamică
78.	SR EN ISO 22476-12	Investigații și încercări geotehnice. Încercări pe teren. Partea 12: Încercare mecanică de penetrare statică cu con (CPTM)
79.	STAS 8942/3	Teren de fundare. Determinarea modului de deformare liniară prin încercări pe teren cu placa
80.	SR EN 1536	Execuția lucrărilor geotehnice speciale. Piloți foraj
81.	SR EN 12699	Execuția lucrărilor geotehnice speciale. Piloți de îndesare
82.	SR EN 14199	Execuția lucrărilor geotehnice speciale. Micropiloți
84.	SR CEN/TS 17006	Terasamente — Control continuu al compactării (CCC)

Notă: Se utilizează cele mai recente ediții ale standardelor române de referință, împreună cu anexele naționale (dacă este cazul), amendamentele și/sau eratele publicate de către organismul național de standardizare, cu excepția standardelor armonizate, la care se utilizează edițiile citate în lista cuprinzând indicativele de referință ale standardelor române care transpun standarde europene armonizate din domeniul produselor pentru construcții, aprobată prin ordin al ministrului ministerului de resort

3.2. Reglementări tehnice de referință

Nr. crt	Reglementare tehnică
1.	Normativ privind documentațiile geotehnice pentru construcții, indicativ NP 074-2022, aprobat prin Ordinul ministrului dezvoltării, lucrărilor publice și administrației nr. 27/10.01.2023, publicat în Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 56 și 56 bis din 20 ianuarie 2023, denumit în continuare NP 074-2022.
2.	Normativ privind determinarea valorilor caracteristice și de calcul ale parametrilor geotehnici, indicativ NP 122-2010, aprobat prin Ordinul ministrului dezvoltării regionale și turismului nr.

	2690/29.12.2010, publicat în Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 158 bis din 04 martie 2011, denumit în continuare NP 122-2010
3.	Normativ privind proiectarea fundațiilor de suprafață, indicativ NP 112-2014, aprobat prin Ordinul ministrului transporturilor, construcțiilor și turismului nr. 2352/24.11.2014, publicat în Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 935 bis din 22 decembrie 2014, denumit în continuare NP 112-2014
4.	Normativ privind proiectarea geotehnică a fundațiilor pe piloți, indicativ NP 123-2022, aprobat prin Ordinul ministrului dezvoltării, lucrărilor publice și administrației nr. 2405/14.09.2022, publicat în Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 924 și 924 bis din 21 septembrie 2022, denumit în continuare NP 123-2022
5.	Normativ privind proiectarea geotehnică a lucrărilor de susținere, indicativ NP 124-2010, aprobat prin Ordinul ministrului dezvoltării regionale și turismului nr. 2689/29.12.2010, publicat în Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 158 bis din 04 martie 2011, denumit în continuare NP 124-2010
6.	Normativ privind fundarea construcțiilor pe pământuri sensibile la umezire, indicativ NP 125-2010, aprobat prin Ordinul ministrului dezvoltării regionale și turismului nr. 2688/29.12.2010, publicat în Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 158 bis din 04 martie 2011, denumit în continuare NP 125-2010
7.	Normativ privind fundarea construcțiilor pe pământuri cu umflări și contracții mari, indicativ NP 126-2010, aprobat prin Ordinul ministrului dezvoltării regionale și turismului nr. 115/31.05.2012, publicat în Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 397 bis din 13 iunie 2012, denumit în continuare NP 126-2010
8.	Ghid privind proiectarea geotehnică, indicativ GP 129-2014, Ordinul ministrului dezvoltării regionale și administrației publice nr. 2597/29.12.2014, publicat în Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 95 bis din 05 februarie 2015, denumit în continuare GP 129-2014
9.	Ghid privind proiectarea structurilor din pământ armat cu materiale geosintetice și metalice, indicativ GP 093-2006, aprobat prin Ordinul ministrului transporturilor, construcțiilor și turismului nr. 1764/21.09.2006, publicat în Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 896 bis din 03 noiembrie 2006, denumit în continuare GP 093-2006
10.	Normativ privind urmărirea comportării în exploatare a construcțiilor, indicativ P 130-2025, aprobat prin Ordinul ministrului dezvoltării, lucrărilor publice și administrației nr. 770/30.05.2025, publicat în Monitorul Oficial al României, Partea I, nr. 568 și 568 bis din 19 iunie 2025, denumit în continuare P 130-2025
11.	Instrucțiunile privind controlul calității terasamentelor, indicativ AND 530-2012, aprobat prin Decizia directorului general al Companiei Naționale de Autostrăzi și Drumuri Naționale din România nr. 786/28.06.2012, publicată în Buletinul Tehnic Rutier nr. 6-7/2012, denumit în continuare AND 530-2012
12.	Normativ pentru verificarea calității și recepția lucrărilor de construcții și instalații aferente, indicativ C 56-1985, aprobat prin Decizia Institutului Central de Cercetare, Proiectare și Directivare în Construcții nr. 61/30.10.1985, publicat în Buletinul Construcțiilor nr. 1-2/1986, denumit în continuare C 56-1985

Notă: Lista reglementărilor tehnice de referință dată în această reglementare tehnică se consultă împreună cu lista documentelor normative aflate în vigoare publicată de către autoritățile de reglementare de resort.

4. IMPLEMENTAREA PROIECTELOR DE IMBUNATĂTIRE A TERENULUI ÎN EXECUȚIE

(1) În conformitate cu standardul SR EN 1997-1:2024 împreună cu Anexa sa Națională, pentru succesul unei lucrări este nevoie de a se asigura că prevederile proiectului tehnic au fost corect implementate în execuție prin măsuri de supervizare, inspecție, monitorizare și mentenanță care trebuie corelate cu categoria geotehnică a lucrării.

(2) Pentru lucrările de îmbunătățire a terenului prevederile aplicabile în acest sens pentru proiectul tehnic sunt cele cuprinse în reglementarea tehnică Normativ de proiectare a soluțiilor de îmbunătățire a terenului de fundare și a lucrărilor din pământ, indicativ RTC 16-2026.

(3) În cadrul supervizării execuției trebuie verificat că metodele de execuție și etapele de construcție utilizate sunt conforme cu specificația de execuție din proiectul tehnic, în conformitate cu planul de supervizare din proiectul tehnic.

(4) În cadrul inspecției trebuie aplicate măsurile specifice în planul de inspecție din proiectul tehnic pentru a se verifica conformitatea cu ipotezele proiectului și cu specificația de execuție, respectiv conformitatea materialelor și produselor utilizate și conformitatea execuției, pe baza criteriilor de acceptare cuprinse în proiect și specificațiile tehnice de execuție.

(5) Inspecția se poate realiza prin observații, măsurători sau încercări, după cum este precizat în planul de inspecție.

(6) Dacă criteriile de acceptare sunt depășite în timpul execuției, proiectul și specificația de execuție trebuie revizuite și modificate (dacă este potrivit) sau trebuie luate măsuri de intervenție pentru a remedia situația,

(7) Monitorizarea în timpul execuției este realizată în conformitate cu specificațiile din proiectul tehnic (sau cu proiectul specific de monitorizare) și are ca scop confirmarea validității proiectului și identificarea necesității unor măsuri de remediere, de revizie a proiectului sau de modificare a etapizării sau metodei de execuție.

(8) Monitorizarea se poate realiza prin observații sau măsurători, după cum este precizat în proiectul de monitorizare.

(9) În cazul aplicării metodei observaționale de proiectare, activitățile de monitorizare trebuie să vizeze valorile prag sau valorile limită definite în cadrul proiectului și adoptarea acelor variante ale proiectului care sunt adecvate rezultatelor monitorizării în timpul execuției.

(10) Specific pentru implementarea în execuție a proiectelor de lucrări de îmbunătățire a terenului se aplică prevederile standardului SR EN 1997-3:2025 12.8 împreună cu Anexa sa Națională.

(11) Execuția lucrărilor de îmbunătățire a terenului trebuie realizată în conformitate cu standardele corespunzătoare de execuție și cu prevederile prezentei reglementări tehnice, iar acolo unde acestea nu există, în conformitate cu specificațiile din proiect.

(12) În cazul unor lucrări de îmbunătățire a terenului realizate în condiții care ar putea împiedica atingerea scopului acestora trebuie realizate încercări în cadrul inspecției pentru a se asigura că proprietățile specificate prin proiect pot fi atinse în urma îmbunătățirii. Aceste încercări trebuie realizate în conformitate cu standardele de execuție specifice, reglementările tehnice aplicabile sau specificațiile din proiect.

(13) În cazul lucrărilor de îmbunătățire a terenului inspecția se bazează de regulă pe încercări, care pot fi realizate în laborator pe probe prelevate din terenul îmbunătățit, pe probe din materialele utilizate (pământ, lianți etc.) sau pot fi încercări pe teren.

(14) Pentru încercările realizate pentru inspecția din timpul execuției lucrărilor de îmbunătățire a terenului se aplică prevederile standardului SR EN 1997-3:2025 12.9 împreună cu Anexa sa Națională.

(15) Suplimentar față de (14) se aplică prevederile privind încercările specifice ce trebuie realizate pentru inspecție cuprinse în standardele relevante de execuție, precum și anumite prevederi din prezenta reglementare tehnică.

(16) În cazul în care nu există standarde specifice de execuție sau nu există prevederi pentru o anumită metodă în acest document care să specifice încercările de realizat pentru inspecție, se aplică prevederile proiectului tehnic.

5. EXECUȚIA SOLUȚILOR DE ÎMBUNĂȚĂȚIRE A TERENULUI DE FUNDARE

5.1. Compactare

(1) În acest capitol sunt tratate metodele de îmbunătățire în adâncime a terenului de fundare existent în amplasament, prin compactare dinamică prin batere și vibrare. Tehnicile de îmbunătățire prin substituție sau înlocuire, care presupun adăugarea de pământ de aport pentru formarea unor coloane sau ploturi sunt tratate la 4.3.3.

5.1.1. Compactare dinamică prin batere

A. Generalități

(2) Principiu: Compactarea prin batere acționează prin transmiterea la suprafața terenului a unor impacturi de mare energie, care generează unde de vibrații ce se propagă în teren (Figura 1). În terenurile nesaturate undele de forfecare generate deplasează particulele de pământ și le rearanjează într-o structură mai îndesată. În terenurile saturate se produce o creștere rapidă a presiunii apei din pori, iar dacă terenul este drenant și nu foarte fin, aceasta se disipează rapid și urmează o rearanjare a particulelor într-o stare mai îndesată. Impactul este produs prin căderea unui mai metallic cu greutate ce variază între 3 - 5 tone (maiuri grele) și 5 - 20 tone (maiuri super grele), de la înălțimi care variază de la câțiva metri (5 - 8 m) până la câțiva zeci de metri (25 - 40 m) (Figura 2), în puncte care sunt definite într-o rețea. Compactarea dinamică prin batere îmbunătățește întâi straturile de pământ din adâncime și apoi, progresiv, prin mai multe etape de batere, și pe cele superioare.

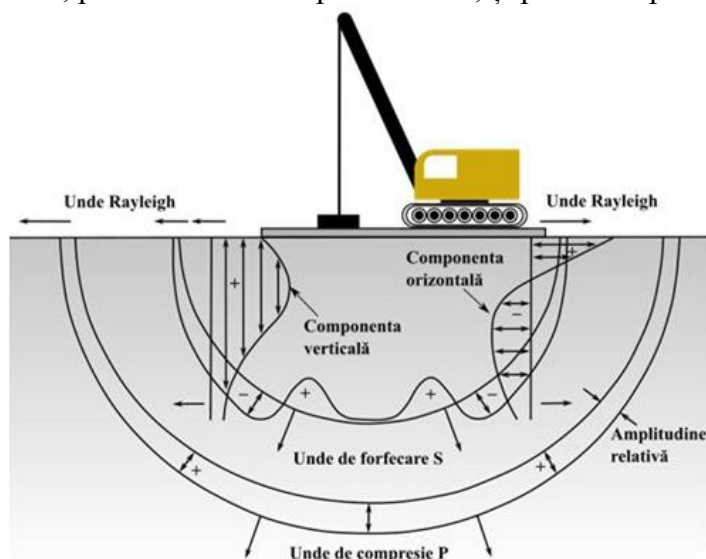


Figura 1. Unde generate în teren de un impact (Briancon et al., 2018¹)

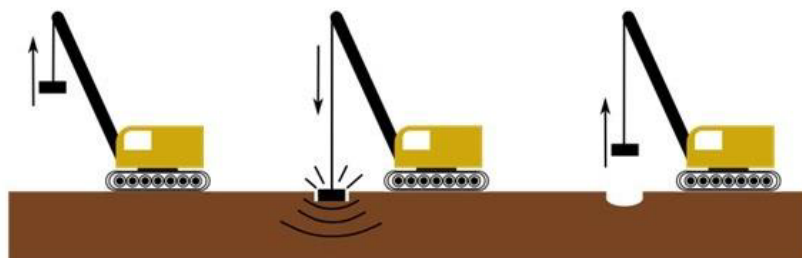


Figura 2. Principiul compactării dinamice (Briancon et al., 2018)

În această categorie sunt incluse și metodele de compactare rapidă prin impuls, care constă în căderea unei mase de 7 - 12 tone de la înălțimi mici, de 1 - 2 m, cu o frecvență de

¹ Briancon L., Liausu P., Plumelle C., Simon B. (2018) Amelioration et renforcement des sols, Groupe Moniteur (Editions du Moniteur), Antony. 2018.

cca 1 lovitură/secundă (Figura 3). Aceste metode creează inițial un strat mai dens la suprafața terenului, și apoi acest „dop” pătrunde progresiv în teren la adâncimi mai mari.

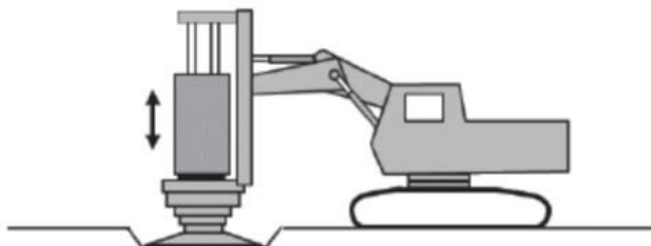


Figura 3. Schemă de principiu pentru compactarea dinamică rapidă prin impuls

(3) Rezultate vizate: Compactarea dinamică prin batere are ca efect reducerea porozității terenului în scopul îmbunătățirii parametrilor mecanici și implicit al creșterii capacității portante a terenului de fundare, reducerea tasărilor și, dacă este cazul, reducerea riscului de lichefiere sau reducerea sensibilității la umezire.

(4) Domeniu de aplicare:

(i) Metoda de îmbunătățire prin compactare dinamică prin batere se aplică în general terenurilor naturale granulare afânate, cu conținut de particule fine mai mic de 20%, umpluturilor neomogene sau pământurilor sensibile la umezire, pentru structuri cu suprafață mare în plan – rambleuri, rezervoare, piste aeroportuare, structuri industriale, platforme portuare etc.

(ii) Metoda de compactare rapidă prin impuls se aplică umpluturilor sau terenurilor naturale granulare afânate care trebuie îmbunătățite pe primii câțiva metri, inclusiv pentru reducerea riscului de lichefiere. Este aplicabilă și în unele zone urbane unde compactarea dinamică prin batere are limitări. De asemenea, poate fi aplicată și pentru reducerea sensibilității la umezire.

(5) Limitări:

(i) Pământurile care pot fi compactate cel mai eficient prin batere sunt cele granulare cu conținut de particule fine < 20%, pentru care energia de compactare rămâne în limite rezonabile.

(ii) Dacă pământurile au conținut mai mare de 20% de particule fine eficiența scade, iar energia necesară pentru compactare crește. În diagrama din Figura 4 sunt indicate criteriile pentru compactarea diverselor tipuri de pământuri.

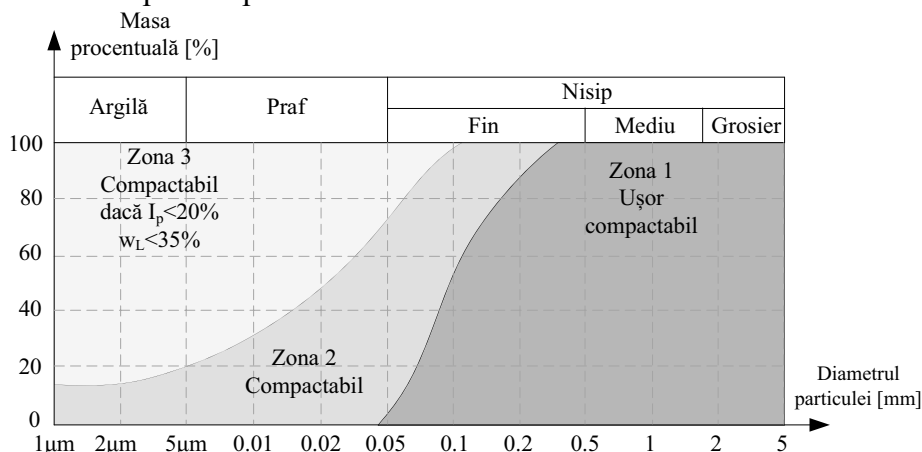


Figura 4. Criterii de eficiență a compactării dinamice pentru diferite tipuri de pământuri (Van Impe, 1995²)

(iii) Adâncimea până la care compactarea dinamică prin batere are efect depinde de energia de compactare și poate varia de la 5 - 6 m (pentru o energie specifică de 200 t·m) până la 11 - 12 m (pentru o energie specifică de 600 t·m).

² Van Impe, W.F., Mahdar, R.H. (1995) Deep dynamic densification of granular deposits. XIX Convegno Nazionale di geotecnica, Pavia.

(iv) Adâncimea până la care compactarea rapidă prin impuls are efect este mai redusă, de ordinul a 3 - 7 m.

(v) Este necesară păstrarea unei distanțe tampon față de structurile vecine sensibile la vibrații, în general de cca. 20 - 30 m pentru compactarea dinamică prin batere și de cca. 8 - 10 m pentru compactarea rapidă prin impuls, dar distanța de siguranță este dependentă de energia de compactare (masa maiului și înălțimea de cădere) și de sensibilitatea construcției.

(vi) Se vor avea în vedere reglementările tehnice în vigoare în ceea ce privește frecvența maximă admisă și vitezele de propagare a undelor maxime admise, precum și nivelul de zgomot.

(vii) Orientativ se pot avea în vedere următoarele valori limită ale vitezei de deplasare a particulelor la nivelul fundației:

- deteriorări structurale 40 mm/s;
- deteriorări minore arhitecturale 15 mm/s;
- disconfort al ocupanților clădirilor 2.5 mm/s;
- monumente istorice și structuri foarte fragile 2 mm/s.

B. Materiale utilizate

(6) Având în vedere că în acest capitol sunt tratate metode fără substituție/înlocuire, craterele formate prin compactarea dinamică pot fi eventual umplute cu același material din terenul de fundare.

C. Studii și încercări necesare pentru execuție

(7) Execuția trebuie să fie precedată de un poligon experimental efectuat în amplasament sau în vecinătatea acestuia, folosind aceleași utilaje și aceeași tehnologie ca pentru execuția propriu-zisă.

(8) Poligonul experimental se va efectua în baza unui proiect tehnic distinct sau pe baza unor prevederi din cadrul proiectului tehnic, care vor cuprinde:

- obiectivele poligonului experimental;
- dimensiunile în plan ale poligonului experimental;
- rețeaua punctelor de compactare și etapele realizării compactării;
- măsurătorile ce trebuie realizate pe perioada execuției poligonului experimental.

(9) Pe perioada execuției poligonului experimental se vor măsura:

- vibrațiile produse, măsurate la diferite distanțe, comparabile cu distanțele clădirilor și obiectivelor din vecinătatea amplasamentului;
- tasarea obținută după fiecare etapă de compactare, eventual refularea terenului (Figura 5);
- în cazul în care terenul este saturat și conține o proporție semnificativă de fracțiune fină este probabilă generarea de unui exces de presiune interstițială a căror disipare poate fi urmărită în cadrul poligonului experimental.

Notă: într-un astfel de caz este recomandată instalarea în prealabil de drenuri verticale pentru disiparea mai rapidă a excesului de presiune interstițială.

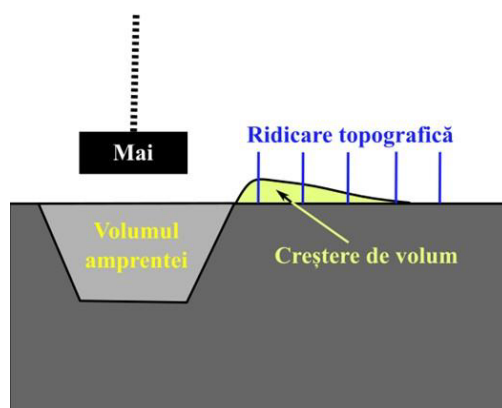


Figura 5. Determinarea tasării și, eventual, a refulării terenului pe poligonul experimental pentru compactarea dinamică prin batere (Briancon et al., 2018)

(10) La finalul poligonului experimental se vor determina prin măsurători pe teren și încercări de laborator, următoarele:

- adâncimea pe care se resimte efectul compactării și nivelul de îmbunătățire a terenului;
- parametrii fizici și mecanici care au fost estimați în etapa de proiectare.

(11) Pe baza rezultatelor poligonului experimental poate fi trasată curba de variație a volumului amprente în funcție de numărul de lovituri, în scopul determinării numărului optim de lovituri (Figura 6).

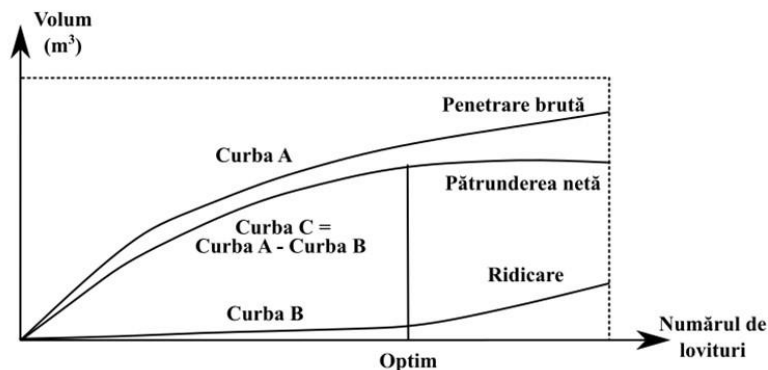


Figura 6. Determinarea numărului optim de lovituri în funcție de amprenta produsă prin compactare dinamică prin batere (Briancon et al., 2018)

(12) Pentru verificarea mărimii amprente se recomandă, în general, a se efectua câte 5-6 determinări pentru o suprafață de 100 m² de teren îmbunătățit.

(13) Pentru determinarea tasărilor se efectuează măsurători de nivelment de precizie a zonei compactate, atât înainte cât și după efectuarea fiecărei faze (inclusiv ultima fază), în vederea determinării nivelului la care a coborât suprafața terenului sub efectul compactării.

(14) Determinarea caracteristicilor geotehnice ale terenului de fundare compactat/îmbunătățit se face în general prin încercări pe teren, de regulă încercări cu placa, SPT, încercări de penetrare etc. Pentru pământurile coezive pot fi prelevate probe din terenul îmbunătățit pentru a fi încercate în laborator.

D. Execuție

(15) Înaintea execuției trebuie identificate toate rețelele și utilitățile subterane și supratere, precum și construcțiile învecinate, care trebuie protejate. Se recomandă o rază de cel puțin 50m în jurul punctelor de îmbunătățire.

(16) Pentru execuția lucrărilor de compactare dinamică prin batere este necesară amenajarea unei platforme de lucru adecvată care să permită asigurarea stabilității în timpul execuției și accesul echipamentelor, precum și distribuția eficientă a energiei de batere în teren.

(17) În cazul în care în teren există o pânză de apă freatică, în general este recomandat ca nivelul superior al platformei de lucru să fie la cel puțin 1.5m deasupra nivelului apei.

(18) Trebuie respectate și cerințele proprii ale antreprenorului de specialitate în ceea ce privește platforma de lucru.

(19) Utilajele care se pot folosi în cadrul acestei tehnologii de lucru ca și utilaj purtător al maiului greu pot fi: macarale pe șenile, dragline etc.

(20) Utilajele purtătoare ale maiurilor grele trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

- să aibă o capacitate de ridicare de până la dublul masei maiului greu;
- să asigure o înălțime de ridicare al maiului de minimum 4 m;
- să permită ridicarea și căderea liberă a maiului printr-un sistem simplu și eficient de cuplare și decuplare;
- sistemul de deplasare să fie pe șenile astfel încât să nu dezvolte presiuni pe teren mai mari de 70 kPa;
- să aibă posibilitatea de rotire cu 360° cât și de efectuare a operației de împănare pentru orice poziție a brațului față de axul longitudinal al utilajului.

(21) Echipamentul de lucru este constituit dintr-un mai greu, conceput în funcție de tipul de teren de îmbunătățit respectiv al materialului de aport.

(22) Maiurile se pot executa din beton armat turnat în cămășuială metalică de 10mm grosime și având la bază o placă din tablă groasă de 20...30mm grosime. Pentru a aduce centrul de greutate cât mai jos la partea inferioară se introduc cupoane de oțel beton sau de șină de cale ferată. Un exemplu de mai greu este prezentat în Figura 7.

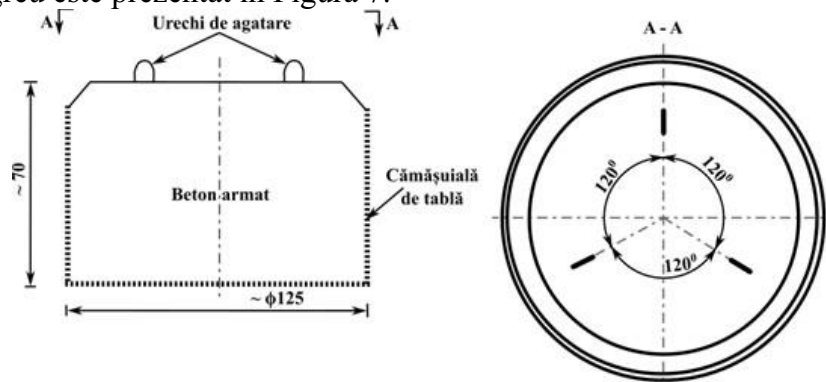


Figura 7. Mai greu realizat din beton în cămășuială metalică

(23) Compactarea dinamică prin batere se realizează în nodurile unei rețele stabilită prin proiectare și pe baza rezultatelor poligonului experimental.

(24) În general, prima fază a îmbunătățirii este realizată cu o rețea cu ochiuri mai mari, cu o distanță între punctele de compactare de cca 4 - 8 m și cu o energie maximă de compactare (pentru a compacta straturile din adâncime). Ulterior, pentru a compacta straturile mai de suprafață, se poate îndeși rețeaua prin intercalare (Figura 8 și Figura 9).

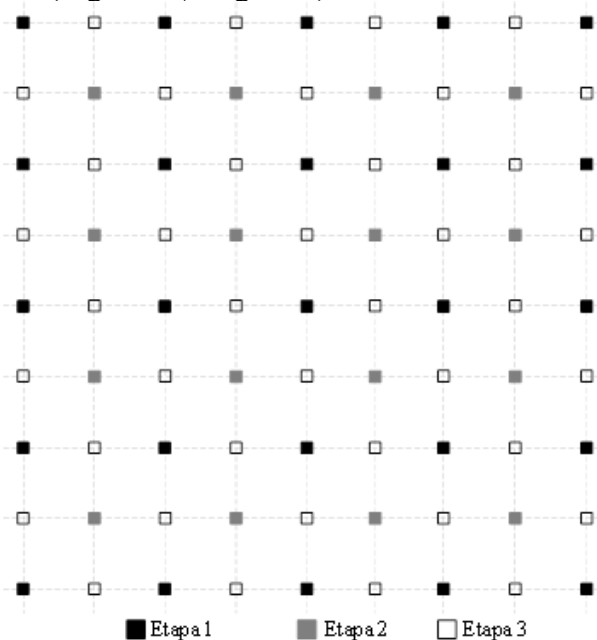


Figura 8. Exemplu de îndeșire a rețelei de puncte de compactare pe etape succesive

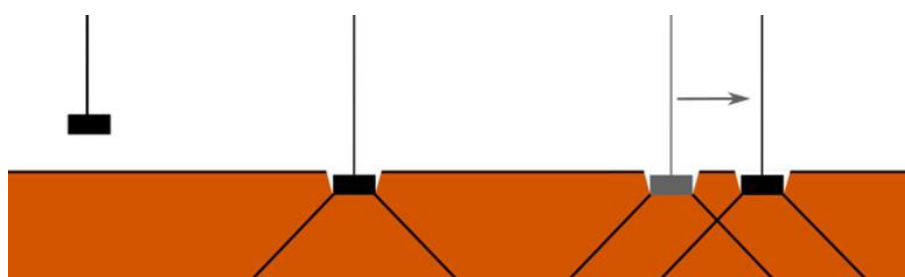


Figura 9. Secvență decalată de compactare dinamică prin batere (Briancon et al., 2018)

(25) După fiecare fază de compactare craterele formate trebuie umplute pentru a continua procedeul de îmbunătățire. Aceasta se poate realiza prin rambleiere cu același material local cu ajutorul utilajelor terasiere prin împingerea materialului în cratere, ceea ce va duce la coborârea nivelului general al platformei.

Notă: craterele se pot umple și cu material de aport, granular de exemplu, prin substituție, procedeu care este tratat la 5.3.1.

(26) Ultima fază se realizează cu energie scăzută, fără a forma cratere, dar lăsând amprente care se suprapun pentru a recompacta stratul de teren superior.

(27) Dacă straturile superioare (ultimii câțiva zeci de centimetri) nu pot fi îmbunătățite prin compactare dinamică prin batere trebuie realizată o compactare de suprafață ulterioară cu cilindri compactori.

(28) Pe parcursul execuției trebuie înregistrat numărul de lovituri din fiecare zonă care a fost îmbunătățită în același mod.

E. Controlul calității lucrărilor executate

(29) Controlul calității lucrărilor se face în timpul execuției, precum și la faza finală a execuției.

(30) Controlul calității lucrărilor de compactare prin batere se face, de regulă, la un interval de timp după finalizarea lucrărilor, pentru a permite refacerea structurii terenului.

(31) Verificările în timpul desfășurării tehnologiei de lucru constau în determinarea amprente pentru un anumit stadiu de îmbunătățire și compararea cu amprenta admisibilă.

(32) Parametrii de control ai execuției lucrărilor de îmbunătățire prin compactare dinamică prin batere sunt de regulă următorii:

- energia de batere pentru fiecare impact;
- controlul asupra răspunsului terenului – prin măsurători de tasare;
- presiunea apei din pori – unde este relevant;
- parametrii mecanici ai terenului îmbunătățit – încercări pe teren;
- vibrații.

(33) Controlul parametrilor mecanici ai terenului îmbunătățit se face, de regulă, prin aceleași metode ca la studiile preliminare de investigare a terenului, pentru a putea urmări evoluția acestora și gradul de îmbunătățire.

(34) Determinarea caracteristicilor geotehnice ale terenului de fundare îmbunătățit se face, cel mai adesea, prin încercări pe teren (încercări cu placa, SPT, penetrare dinamică etc.).

(35) În cazul pământurilor coezive se pot preleva probe din terenul îmbunătățit care să fie încercate în laborator pentru determinarea parametrilor de control stabiliți prin proiect.

(36) Criteriile de acceptare sunt cele definite în proiectul tehnic și pot fi parametri ai terenului îmbunătățit sau o tasare specificată a structurii finale.

(37) Trebuie avută în vedere și uniformitatea îmbunătățirii obținute a terenului.

(38) Rezultatele încercărilor de control se consemnează în conformitate cu prevederile reglementărilor tehnice în vigoare aplicabile.

F. Recepția lucrărilor

(39) Recepția lucrărilor de îmbunătățire a terenurilor prin compactare dinamică prin batere se realizează în conformitate cu prevederile reglementărilor tehnice aplicabile în vigoare.

5.1.2. Compactare dinamică prin vibrație

A. Generalități

(1) În acest capitol este tratată îmbunătățirea terenurilor granulare afânate prin vibro – compactare, fără adaos de material de aport.

(2) Principiu: Compactarea de adâncime a unui teren necoeziv afânat poate fi realizată prin introducerea în teren a unui utilaj vibrator de adâncime (Figura 10) care imprimă o mișcare pulsatorie orizontală sau a unui profil vibrant (Figura 11) de care este atașat un utilaj vibrator care rămâne la suprafață și care oscilează de regulă pe verticală, determinând oscilații ale profilului (de regulă orizontale). Acest procedeu este denumit vibro-compactare sau vibro-flotație. Acest procedeu este similar cu cel care permite formarea de coloane de teren îmbunătățit prin adaos de material (descrie

la capitolul 4.3.3.), dar nu totdeauna se formează coloane în acest caz. Frecvențele de vibrație pot fi adaptate pentru a amplifica vibrațiile terenului, caz în care metoda este cunoscută sub numele de compactare prin rezonanță. În anumite cazuri eficacitatea tratamentului poate fi sporită prin utilizarea unui jet de apă la introducerea vibratorului în teren sau prin asocierea cu drenuri verticale. Punctele în care este introdus utilajul vibrator sunt de regulă amplasate în nodurile unui carioaj. Etapele de execuție sunt prezentate în Figura 12: a) introducerea utilajului vibrator până la adâncimea stabilită sub acțiunea vibrațiilor și a jetului de apă; b) compactare prin ridicarea în pase succesive (0,5 – 1 m) a utilajului vibrator; c) nivelarea sau umplerea craterului cu același material din teren.

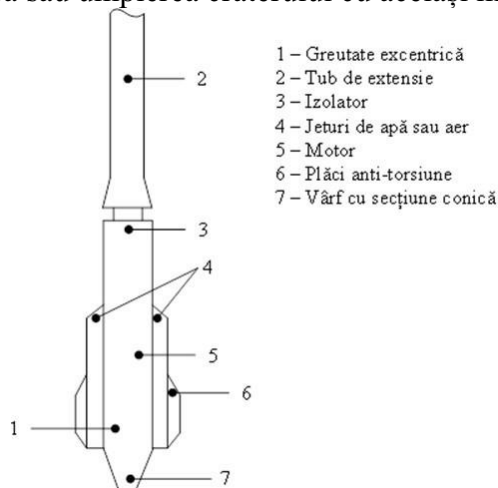


Figura 10. Utilaj vibrator de adâncime (SR EN 14731)

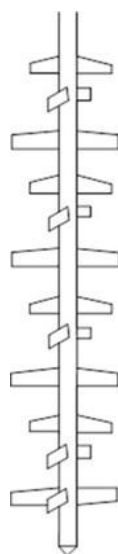


Figura 11. Exemplu de profil vibrat (SR EN 14731)

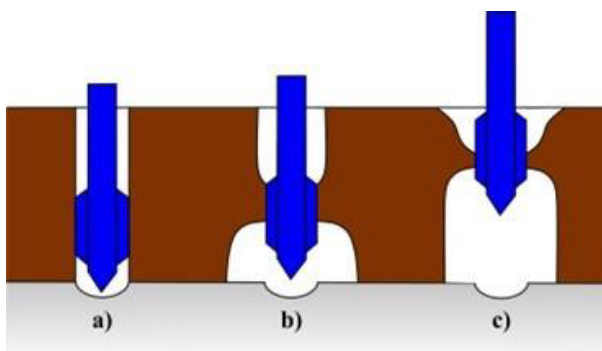


Figura 12. Etapele de execuție ale îmbunătățirii terenului în loc prin vibro-compactare (Briancon et al., 2018)

(3) Rezultate vizate: Compactarea dinamică prin vibrație fără adaos de material are ca efect reducerea porozității terenului în scopul îmbunătățirii parametrilor mecanici și implicit al creșterii capacității portante a terenului de fundare, reducerea tasărilor și creșterea rezistenței la forfecare și, dacă este cazul, reducerea riscului de lichefiere.

(4) Domeniu de aplicare: îmbunătățirea terenurilor nisipoase curate, afânate, pe suprafețe mari, de regulă terenuri recuperate din mare prin umplere prin hidromecanizare, eventual aflate în zone seismice.

(5) Limitări:

(i) Principala limitare a metodei este conținutul de particule fine din terenul care trebuie îmbunătățit prin vibro-compactare, care trebuie să rămână sub 10 – 12% pentru ca metoda să fie eficientă (Figura 13).

(ii) Conținutul de argilă ($< 2\mu$) trebuie să fie sub 2%.

(iii) De asemenea, terenurile granulare foarte groasere pot împiedica pătrunderea utilajului vibrator sau a profilului vibrant.

(iv) Prezența lentilelor prăfoase sau argiloase afectează negativ compactarea, iar influența acestora se poate simți pe adâncimi de 1 m deasupra și dedesubt.

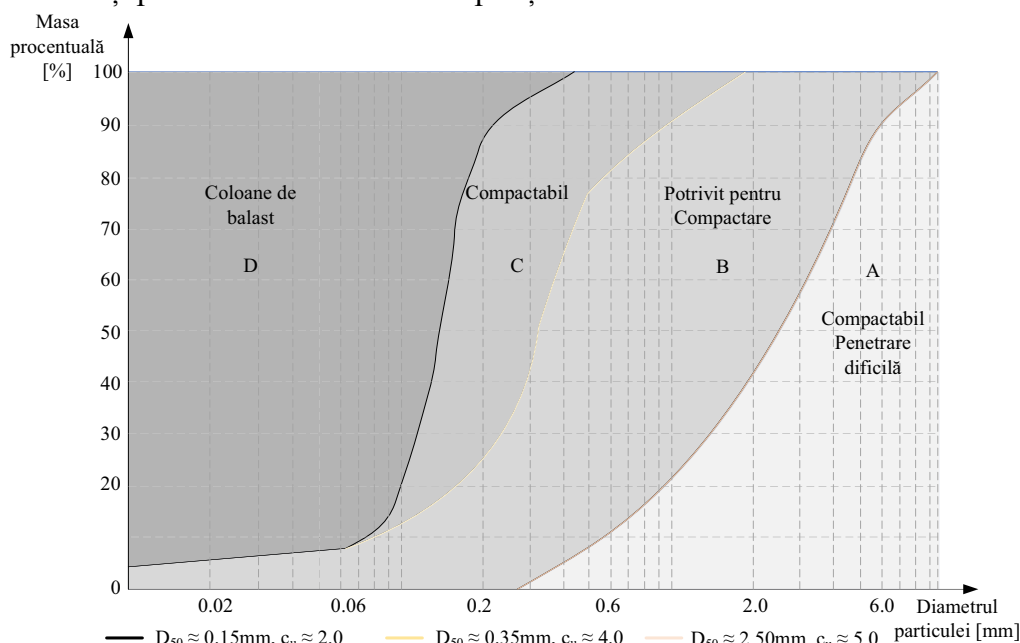


Figura 13. Domeniul granulometric pentru aplicarea vibro-compactării (Briancon et al., 2018)

(v) Este necesară păstrarea unei distanțe tampon față de structurile vecine sensibile la vibrații. În general vibrațiile induse sunt mai mici decât la compactarea prin bătăre.

(vi) Se vor avea în vedere reglementările tehnice în vigoare în ceea ce privește frecvența maximă admisă și vitezele de propagare a undelor maxime admise, precum și nivelul de zgomot.

(vii) Orientativ se pot avea în vedere următoarele valori limită ale vitezei de deplasare a particulelor la nivelul fundației:

- deteriorări structurale 40 mm/s;
- deteriorări minore arhitecturale 15 mm/s;
- disconfort al ocupanților clădirilor 2,5 mm/s;
- monumente istorice și structuri foarte fragile 2 mm/s.

B. Materiale utilizate

(6) În acest paragraf sunt tratate metodele de îmbunătățire a terenului din loc prin vibro-compactare fără adaos de material, deci nu sunt necesare alte materiale în afara terenului de îmbunătățit. Craterelor formate prin vibrație se pot umple cu același material local.

C. Studii și încercări necesare pentru execuție

(7) Execuția trebuie să fie precedată de un poligon experimental efectuat în amplasament sau în vecinătatea acestuia, folosind aceleași utilaje și aceeași tehnologie ca pentru execuția propriu-zisă.

(8) Poligonul experimental se va efectua în baza unui proiect tehnic distinct sau pe baza unor instrucțiuni în cadrul proiectului tehnic, care vor cuprinde:

- obiectivele poligonului experimental;
- dimensiunile în plan ale poligonului experimental;
- rețeaua punctelor de vibrare și etapele de realizare;
- măsurători pe perioada execuției poligonului experimental.

(9) Obiectivul poligonului experimental este, în principal, testarea mai multor rețele de puncte de îmbunătățire și a diferitelor criterii de compactare (energie și timp), pentru a alege combinația optimă dintre rețea, timp și energie de compactare care să ducă la îndeplinirea obiectivelor vibro-compactării.

(10) Pe perioada execuției poligonului experimental se vor măsura:

- vibrațiile produse, măsurate la diferite distanțe, comparabile cu distanțele clădirilor și obiectivelor din vecinătatea amplasamentului;
- tasarea obținută după fiecare etapă de vibrare.

(11) La finalul poligonului experimental se vor determina prin măsurători pe teren și încercări de laborator, următoarele:

- adâncimea pe care se resimte efectul compactării și nivelul de îmbunătățire a terenului;
- parametrii fizici și mecanici care au fost estimați în etapa de proiectare.

(12) Determinarea caracteristicilor geotehnice ale terenului de fundare îmbunătățit pot fi determinate prin încercări de laborator pe probe netulburate prelevate din teren, dar, având în vedere natura terenurilor care fac obiectul acestei metode de îmbunătățire, metodele de investigare adaptate sunt cele pe teren, respectiv penetrare statică cu conul CPT sau cu măsurarea presiunii apei din pori CPTu și încercări de penetrare dinamică standard SPT. Se mai pot utiliza presiometrul Menard, penetrometre dinamice sau dilatometrul Marchetti.

D. Execuție

(13) Execuția lucrărilor de compactare prin vibrare se execută în conformitate cu prevederile standardului SR EN 14731:2006.

(14) Înaintea începerii lucrărilor de compactare prin vibrare de adâncime trebuie identificate toate rețelele de utilități și servicii subterane și supraterane, precum și construcțiile care trebuie protejate și orice alte obstacole.

(15) Se execută platformele de lucru în conformitate cu specificațiile din proiect și cu criteriile antreprenorului de specialitate.

(16) Compactarea prin vibrare se execută prin introducerea echipamentului de vibro-compactare în punctele stabilite în nodurile unei rețele, până la adâncimea stabilită. Compactarea se realizează doar pe durata penetrării utilajului sau și în timpul extracției acestuia.

(17) În general, timpul de compactare pentru un punct variază de la 5 min la 40 min, fiind mai mare dacă terenului prezintă particule fine.

(18) Eficiența vibro-compactării poate fi crescută prin lucrul pe faze succesive, reducând progresiv distanța dintre punctele de îmbunătățire.

(19) În general nu se aplică procedeul de execuție primar/secundar (revenire pentru îmbunătățire între două puncte primare) deoarece se poate obține refuz.

E. Controlul calității lucrărilor executate

(20) Controlul calității lucrărilor se face în timpul execuției, precum și la faza finală a execuției.

(21) Controlul calității lucrărilor de compactare prin vibrare se face, de regulă, la un interval de timp după finalizarea lucrărilor, pentru a permite refacerea structurii terenului.

(22) Controlul în timpul execuției se referă la:

- urmărirea nivelurilor terenului înainte și după compactare, pentru determinarea tasării produse și comparare cu cea așteptată;
- înregistrarea continuă a parametrilor de compactare: timp de compactare pentru fiecare punct, adâncimea vârfului utilajului vibrator, intensitatea vibrației;
- măsurarea vibrațiilor produse în zona construcțiilor învecinate.

(23) Pentru determinarea parametrilor de control ai terenului îmbunătățit se utilizează, de regulă aceleași metode ca și la etapa de investigare geotehnică, pentru a putea evalua evoluția acestora și gradul de îmbunătățire.

(24) Având în vedere natura terenurilor care fac obiectul acestei metode de îmbunătățire, metodele de investigare adaptate sunt cele pe teren, respectiv penetrare statică cu conul CPT sau cu măsurarea presiunii apei din pori CPTu și încercări de penetrare dinamică standard SPT. Se mai pot utiliza presiometrul Menard, penetrometre dinamice sau dilatometrul Marchetti.

(25) Criteriile de acceptare sunt cele definite în proiectul tehnic și pot fi parametri ai terenului îmbunătățit sau o tasare specificată a structurii finale.

(26) Trebuie avută în vedere și uniformitatea îmbunătățirii obținute a terenului.

(27) Rezultatele încercărilor de control se consemnează în conformitate cu prevederile reglementărilor tehnice în vigoare aplicabile.

F. Recepția lucrărilor

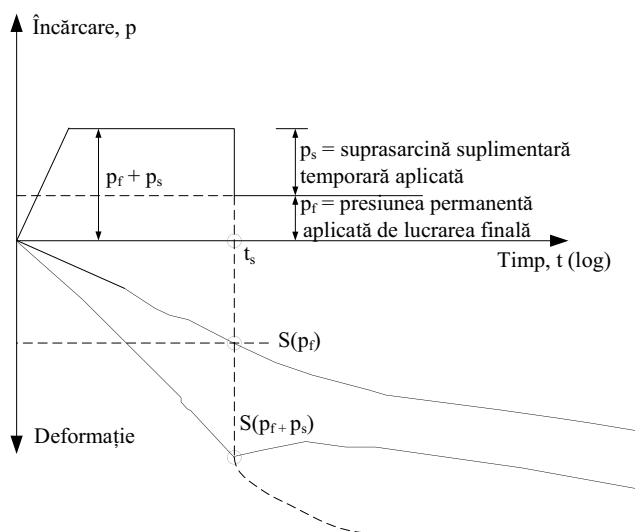
(28) Recepția lucrărilor de îmbunătățire a terenurilor prin compactare dinamică prin batere se realizează în conformitate cu prevederile reglementărilor tehnice aplicabile în vigoare.

5.2. Consolidare

5.2.1. Preîncărcare

A. Generalități

(1) Principiu: metoda de preîncărcare vizează creșterea vitezei de consolidare a terenurilor fine saturate prin aplicarea unei suprasarcini și drenarea excesului de presiune a apei din pori provocat de aceasta prin instalarea unor sisteme de drenaj și de colectare a apei drenate. Preîncărcarea presupune aplicarea unei pre-încărcări temporare excedentare pe teren, înaintea amplasării structurii, pentru a consuma majoritatea sau chiar totalitatea tasărilor primare, dezvoltarea tasărilor de consolidare secundară și a grăbi procesul de consolidare (Figura 14). Astfel, capacitatea portantă a terenului crește, iar compresibilitatea terenului se reduce. De asemenea, după înlăturarea suprasarcinii excedentare se obține o supraconsolidare a terenului, iar tasarea reziduală din consolidare secundară este redusă. Preîncărcarea poate fi asociată cu sisteme de accelerare a consolidării precum: drenuri verticale, drenuri verticale și vacuum.



Legendă: p_f – presiunea permanentă aplicată de lucrarea finală, $S(p_f)$ – tasarea sub sarcina permanentă aplicată de lucrarea finală, p_s – suprasarcina suplimentară temporară aplicată, $p_f + p_s$ – sarcina totală aplicată de rambleul de preîncărcare, $S(p_f + p_s)$ – tasarea totală sub sarcina adusă de rambleul de preîncărcare

Figura 14. Diagrama de încărcare – tasare a terenului în timpul și după preîncărcare (Smolczyk, 2002³)

(2) Rezultate vizate: Prin preîncărcarea terenului de fundare, se grăbește ritmul de evacuare a apei din pori și implicit al consolidării pământului, ajungându-se la porozități mai mici într-un timp

³ Smolczyk U. (2002) Geotechnical Engineering Handbook, Ernst & Sohn

mai scurt decât fără preîncărcare, efectul fiind de reducere a tasărilor pe perioada exploatării, tasările absolute rămânând aceleași.

(3) Domeniu de aplicare: Metoda de preîncărcare se aplică structurilor cu suprafață mare în plan, de regulă pentru rambleuri pentru drumuri, căi ferate sau piste aeroportuare, dar și pentru radiere, rezervoare sau structuri similare fondate pe terenuri fine, moi, saturate, normal consolidate sau cel mult foarte puțin supraconsolidate.

(4) Metoda de preîncărcare poate avea următoarele variante:

- Metoda de preîncărcare cu rambleu provizoriu din pământ (Figura 15), care este ulterior total sau parțial îndepărtat. Rambleul trebuie construit în etape, fiecare etapă de încărcare fiind menținută suficient timp înainte de aplicarea etapei următoare pentru a permite consolidarea terenului.
- Metoda de preîncărcare cu rambleu provizoriu din pământ și rețea de drenuri verticale (Figura 15); înaintea executării rambleului de preîncărcare se execută o rețea de drenuri verticale pentru accelerarea consolidării, care sunt conectate la o saltea drenantă din material granular sau din materiale geosintetice amplasată sub rambleul de preîncărcare. Acestea sunt eficiente doar pentru accelerarea tasărilor din consolidare primară și creșterea rezistenței la forfecare nedrenată (coeziunii nedrenate). Această metodă nu are efect în ceea ce privește consolidarea secundară, dar scurtează considerabil timpul de consolidare primară. Metoda de preîncărcare poate fi asociată și cu drenarea prin electro-osmoză.

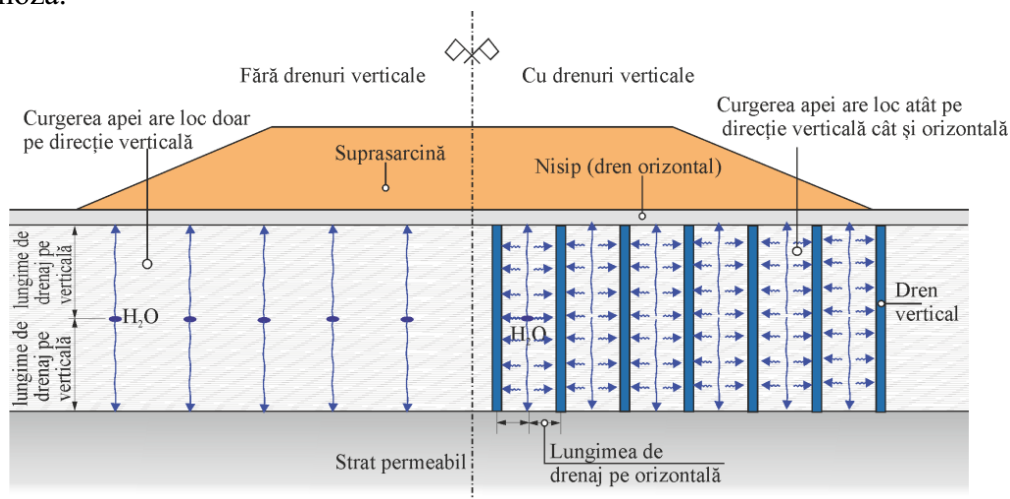


Figura 15. Principiul metodei de preîncărcare: în stânga fără drenuri verticale, în dreapta cu drenuri verticale

- Metoda de preîncărcare cu rambleu provizoriu din pământ și rețea de drenuri verticale cu vacuum (Figura 16), care constă în etanșarea stratului de drenaj și aplicarea unei suucțiuni pentru a grăbi drenajul excesului de presiune interstițială provocat de supraîncărcare.

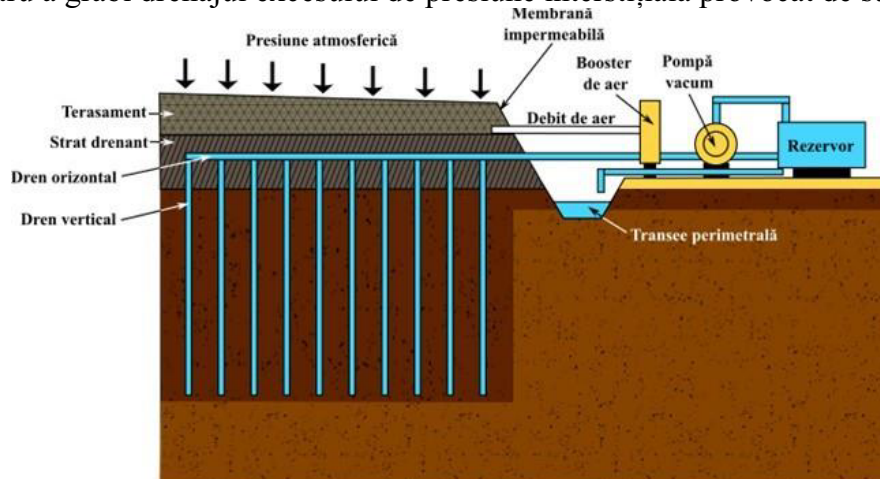


Figura 16. Principiul metodei de preîncărcare cu drenuri verticale și vacuum (Briancon et al., 2018)

(5) Limitări: Metoda de preîncărcare prezintă următoarele limitări:

- durata de preîncărcare este de regulă lungă, pentru a permite consolidarea terenului și necesită o execuție în etape care sunt urmate de o durată de menținere a încărcării care este cu atât mai lungă, cu cât terenul este mai slab și mai puțin permeabil și cu cât sarcina de preîncărcare este mai mare;
- în cazul metodei cu vacuum, terenul nu trebuie să conțină straturi permeabile în interiorul stratului compresibil ce va fi îmbunătățit;
- disponibilitatea materialelor necesare pentru construirea rambleului de preîncărcare;
- cantități mari de material necesare pentru execuția rambleului de preîncărcare și compensarea tasărilor mari care vor surveni inclusiv în corpul rambleului;
- necesitatea unui strat (saltele) drenant(e) din material drenant natural sau geosintetic;
- complexitatea fenomenelor de consolidare primară și secundară (fluaj) duce la o incertitudine (10 – 20% în general) a tasărilor calculate și diferențe față de cele măsurate pe teren;
- în cazul utilizării drenurilor verticale, adâncimea la care se poate face îmbunătățirea variază de obicei între 10 m și 25 m, dar unele echipamente de execuție permit atingerea unor adâncimi superioare, de peste 30 m;
- în cazul utilizării drenurilor verticale se obțin scurtări ale duratei de consolidare, dar care nu depășesc 2 – 3 luni;
- pentru utilizarea metodei cu drenuri verticale este necesară o platformă de lucru de calitate pentru a permite accesul echipamentelor și execuția drenurilor;
- în cazul metodei cu vacuum, sucțiunea care poate fi aplicată este de ordinul a 70 – 80 kPa;
- este necesară o supraveghere atentă a operațiunilor, monitorizare și, dacă este cazul, adaptarea proiectului și aplicarea unei metode de proiectare de tip metodă observațională.

B. Materiale utilizate

(6) Pentru rambleul de preîncărcare se pot utiliza diferite materiale disponibile în apropierea amplasamentului care respectă condițiile generale stabilite prin standardul SR EN 16907-1:2019, precum și condițiile de rezistență și stabilitate pentru structura provizorie rezultată.

(7) Materialele utilizate pentru rambleul de preîncărcare trebuie identificate și clasificate conform standardelor și reglementărilor tehnice în vigoare pentru lucrări din pământ.

(8) Caracterizarea geotehnică a materialelor utilizate pentru rambleul de preîncărcare trebuie realizată în conformitate cu reglementarea tehnică NP 074-2022, și standardele SR EN 16907-2, SR EN ISO 14688-1 și 2.

(9) Caracteristicile geotehnice ce trebuie determinate pentru pământuri sau roci utilizate la execuția rambleului de preîncărcare sunt cele indicate în standardul SR EN 16907-2;

(10) Stratul drenant trebuie executat din materiale granulare care îndeplinesc cerințele de filtrare și drenaj. Dacă stratul de drenaj este folosit și ca platformă de construcție materialul utilizat trebuie verificat să îndeplinească cerințele impuse de verificările la SLS și SLU.

(11) Drenurile verticale pot fi drenuri din nisip sau drenuri fitil sau drenuri plate realizate din materiale geosintetice sau drenuri tubulare (compuse dintr-un tub de drenaj perforat și un filtru de geotextil), având caracteristicile în conformitate cu standardul SR EN 15237. A se vedea și 4.3.2.2.

(12) În cazul utilizării metodei cu vacuum, impermeabilizarea stratului de drenaj se face de regulă cu geomembrane care trebuie să îndeplinească cerințele de grosime și rezistență la tracțiune prevăzute în proiect.

C. Studii și încercări necesare pentru execuție

(13) În cazul în care rambleul de preîncărcare este utilizat parțial ca structură permanentă, care va fi pusă în operă prin compactare, se vor respecta prevederile standardului SR EN 16907-3 în ceea ce privește organizarea poligoanelor experimentale pentru stabilirea parametrilor compactării.

(14) Este necesară semnalarea oricăror condiții de teren diferite de cele din proiect.

D. Execuție

(15) Înaintea demarării lucrărilor de consolidare prin preîncărcare trebuie amenajată o platformă de lucru care trebuie concepută pentru a permite accesul și circulația utilajelor, să asigure stabilitatea în timpul lucrărilor, mai ales având în vedere faptul că terenul este unul foarte slab și compresibil și să asigure drenarea apei provenite din consolidare.

(16) Pentru evitarea contaminării materialului granular, drenant din corpul platformei de lucru cu materialul fin, moale din teren este necesară prevederea unui material de separație, de regulă un geotextil.

(17) Grosimea platformei de lucru trebuie să țină cont de capacitatea portantă oferită de terenul natural din amplasament și, de regulă, este cuprinsă între 0,50 -1,00 m.

(18) Pentru creșterea capacității portante platforma de lucru poate fi armată.

(19) În cazul platformelor de lucru de mari dimensiuni poate fi necesară creșterea capacității de drenare a apelor prin încorporarea unor drenuri orizontale.

(20) Înainte de punerea în operă a rambleului de încărcare trebuie instalate aparatele de măsură prevăzute pentru monitorizare.

(21) Execuția rambleului de preîncărcare se face în conformitate cu prevederile standardului SR EN 16907-3:2019.

(22) De regulă, rambleul este alcătuit până la o anumită cotă dintr-o umplutură permanentă, care va deveni cota finală din proiect și dintr-o umplutură nepermanentă care va fi menținută pentru perioada de timp stabilită prin proiect, pentru accelerarea tasărilor.

(23) Pe parcursul consolidării trebuie urmăriți parametrii prevăzuți prin proiect, respectiv tasări, deplasări orizontale, presiunea apei din pori și nivelul piezometric al apei subterane.

(24) Măsurătorile de presiune a apei din pori trebuie să fie prelucrate sub forma parametrului B ($B = \frac{\Delta u}{\Delta \sigma_v}$, unde Δu este variația presiunii apei din pori, iar $\Delta \sigma_v$ este variația efortului normal unitar vertical), iar dacă B devine > 1 acesta este un prag de alertă și trebuie luate măsuri corespunzătoare de drenare, de încetinire a ritmului de încărcare etc.

(25) Interpretarea măsurătorilor din timpul execuției rambleului trebuie realizată în timp real.

(26) Viteza de încărcare, respectiv de înălțare a rambleului trebuie adaptată tipului de teren (cu atât mai mică, cu cât permeabilitatea acestuia este mai mică).

(27) Tasările măsurate în timpul preîncărcării și consolidării trebuie prelucrate sub forma curbei de tasare în funcție de timp, la intervale regulate.

(28) Tasările se pot măsura cu mărci de tasare poziționate la baza rambleului și vizibile deasupra acestuia, înclinometre poziționate orizontal etc., dar nu pot fi înlocuite de măsurători la partea superioară a rambleului de preîncărcare pentru că acelea vor reprezenta tasările atât ale terenului de fundare, cât și ale rambleului.

(29) Măsurătorile de tasare și mai ales evoluția acestor pot permite calibrarea modelului (modificarea parametrilor de compresibilitate și consolidare prin metoda observațională) și modificarea timpului de aplicare a sarcinii de preîncărcare.

(30) Când rezultatele monitorizărilor arată că au fost atinse obiectivele stabilite, se poate trece la înlăturarea rambleului excedentar care a servit doar etapei de preîncărcare.

E. Controlul calității lucrărilor executate

(31) Calitatea umpluturii permanente din cadrul rambleului va fi verificată conform prevederilor SR EN 16907-5 care includ obligatoriu determinarea gradului de compactare.

(32) Umplutura nepermanentă poate să fie așternută necompactat și nu sunt necesare verificări privind calitatea terasamentelor.

F. Recepția lucrărilor

(33) Verificarea finală și recepționarea lucrărilor de îmbunătățire a terenului prin preîncărcare se face în conformitate cu prevederile SR EN 16907-5 și cele ale reglementărilor tehnice în vigoare aplicabile.

5.2.2. Drenuri verticale

A. Generalități

(1) Principiu: Pământurile fine, cu permeabilitate scăzută, în stare saturată au capacitate portantă scăzută și pentru creșterea acesteia au nevoie să se consolideze. În procesul de consolidare apa interstițială trebuie drenată, iar drenurile verticale permit crearea de căi preferențiale de drenaj către acestea. Drenurile verticale permit scăderea presiunii apei din porii pământurilor, astfel accelerând consolidarea masivelor de pământ fine saturate, coborând nivelul apei subterane, crescând eforturile efective din teren și atenuând efectele lichefierii. Drenurile verticale pot fi combinate cu alte metode de îmbunătățire, precum preîncărcarea (vezi 4.3.2.1), electro-osmoza, compactarea dinamică etc.

(2) Rezultate vizate: Accelerarea ritmului de evacuare a apei din pori și implicit al consolidării pământului, ajungându-se la porozități mai mici într-un timp mai scurt decât fără drenuri verticale, efectul fiind de reducere a tasărilor pe perioada exploatării, tasările absolute rămânând aceleași.

(3) Domeniu de aplicare: Drenurile verticale sunt utilizate pentru consolidarea terenurilor fine saturate sub construcții în general de suprafață mare (rambleuri rutiere sau feroviare, diguri, depozite industriale, radiere, construcții marine etc.), dar și pentru aplicații de mediu cum ar fi reabilitarea terenurilor contaminate. De asemenea, drenurile verticale pot fi instalate sub construcții fundate pe terenuri cu potențial de lichefiere pentru a drena rapid excesul de presiune interstițială produs de solicitarea seismică și a evita, astfel, lichefierea terenului de fundare.

(4) Drenurile verticale pot fi realizate sub formă de drenuri de nisip (de obicei realizate în loc) sau de drenuri prefabricate, care constau de regulă dintr-un miez drenant și un filtru din geotextil sau un produs înrudit.

(5) Drenurile prefabricate pot fi:

- drenuri fitil (drenuri plate) – cu secțiune transversală rectangulară, compuse dintr-un miez central ce prezintă un sistem de canale care conduc lichidele și un filtru din geotextil;
- drenuri tubulare – cuprind un miez inelar deschis, ondulat (tub drenant perforat) și un manșon filtrant.

Principalele tipuri de drenuri verticale prefabricate sunt descrise în standardul SR EN 15237 Anexa A.

(6) Drenurile din nisip au secțiuni transversale circulare, sunt realizate din material granular cu permeabilitate mare și sunt executate pe teren prin diverse metode (de îndesare sau de dislocuire). Drenurile de nisip pot fi realizate și în tub de geotextil care acționează atât ca separator, cât și ca filtru între materialul granular și terenul fin din jur pentru a împiedica colmatarea și/sau pentru a menține integritatea coloanei de material granular în terenurile foarte moi.

(7) Drenurile verticale sunt în general conectate la partea superioară într-o saltea drenantă. Aceasta poate fi impermeabilizată și conectată la o pompă de vacuum pentru a aplica o sucțiune și a accelera procesul de drenare. O altă variantă este de a tăia drenurile fitil la baza unor tranșei cu adâncime de cca 1m sub platforma de lucru, iar apoi fiecare rând de drenuri fitil sunt conectate la un dren tubular, el fiind conectat la o pompă de vacuum, astfel că nu mai este necesară etanșeizarea saltelei drenante. În schimb, pe primul metru nu există depresionare, iar depresionarea maximă este mai mică (cca 50 kPa, în loc de 70 – 80 kPa).

(8) Drenurile verticale pot fi asociate cu electro-osmoza, caz în care electrozii sunt montați, de exemplu, în benzile de drenaj prefabricate și conectați la o sursă de curent.

(9) Limitări: Drenurile verticale sunt eficiente doar dacă presiunea de preconsoolidare a terenului va fi depășită de eforturile induse prin preîncărcare sau prin lucrarea definitivă, deoarece instalarea drenurilor poate provoca o creștere a tasării.

B. Materiale utilizate

(10) Materialele geosintetice utilizate pentru drenurile verticale prefabricate trebuie să fie conforme cu prevederile din standardul SR EN 13252 și cu cele ale standardului SR EN 15237.

(11) Drenurile verticale prefabricate trebuie să aibă o durabilitate suficientă în conformitate cu prevederile SR EN 13252 pentru o durată proiectată de serviciu de 5 ani. În cazul utilizării lor pentru lucrări definitive, cum ar fi drenarea excesului de presiunea a apei din pori pentru evitarea lichefierii durată proiectată de serviciu este mai mare, în conformitate cu specificațiile din proiect.

(12) Materialul granular utilizat pentru drenurile de nisip trebuie să aibă o curbă granulometrică care să se încadreze între limitele prevăzute în standardul SR EN 15237 Anexa A și un coeficient de permeabilitate care să fie conform precizărilor din același standard Anexa B.

C. Studii și încercări necesare pentru execuție

(13) Înainte de execuție trebuie confirmate condițiile de teren din proiect și semnalate orice devieri de la ipotezele proiectului și specificațiile tehnice.

(14) Materialele prevăzute pentru execuție trebuie testate pentru verificarea conformității cu specificațiile tehnice.

D. Execuție

(15) După execuția platformei de lucru și care are și rol de drenaj și înaintea execuției rambleului de încărcare (dacă este cazul) se execută drenurile verticale.

(16) Execuția drenurilor verticale se face în conformitate cu prevederile standardului SR EN 15237.

(17) Etapele execuției drenurilor verticale prefabricate sunt (Figura 17):

- (i) se execută stratul de nisip la partea superioară a amplasamentului ce acționează ca un strat de drenaj;
- (ii) se conectează drenul prefabricat la partea inferioară a mandrinei și se fixează cu ajutorul unei plăci de ancorare (Figura 17a);
- (iii) mandrina cu drenul prefabricat atașat se introduce în pământ prin metode statice sau prin vibrație până la adâncimea proiectată (Figura 17b);
- (iv) se retrage mandrina lăsând pe poziție drenul și placa de ancorare;
- (v) drenul este apoi tăiat, și se repetă procesul mutând utilajul pe următoarea poziție (Figura 17c).

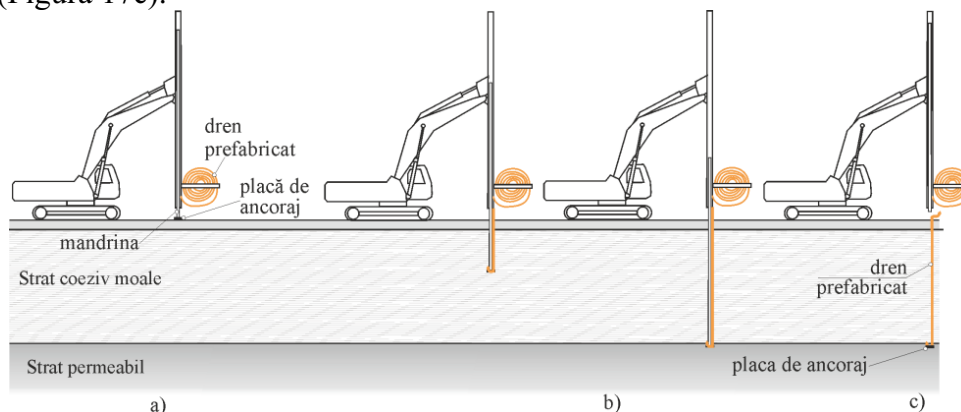


Figura 17. Etapele de execuție a drenurilor vertical prefabricate

(18) Drenurile verticale din nisip constau în realizarea unor foraje verticale sub protecția unui tubaj ce străbate stratul de pământ moale până la stratul sub adiacent și apoi umplerea acestor foraje cu material granular. Pe măsură ce se introduce materialul granular tubulatura se retrage. Indiferent de procedeul de forare folosit la realizarea forajelor, gradul de deranjare al pământului din jur trebuie să fie cât mai mic posibil pentru a nu modifica caracteristicile de drenaj ale terenului din jur.

(19) Parametrii de urmărit în timpul execuției sunt aceiași ca la 5.2.1.

E. Controlul calității lucrărilor executate

(20) Controlul calității lucrărilor de drenuri verticale se face în conformitate cu prevederile SR EN 15237.

F. Recepția lucrărilor

(21) Verificarea finală și recepționarea lucrărilor de îmbunătățire a terenului cu drenuri verticale se face în conformitate cu prevederile standardului SR EN 15237 și cele ale reglementărilor tehnice în vigoare aplicabile.

5.3. Coloane

5.3.1. Coloane granulare executate prin vibrație sau substituție dinamică, coloane în geotextil

A. Generalități

(1) În acest capitol sunt tratate coloanele realizate din material granular prin procedee de vibro-înlocuire, vibro-compactare sau substituție dinamică.

(2) Principii:

(i) Vibro-compactarea reprezintă îmbunătățirea terenului existent necoeziv prin vibrație, în care obiectivul principal este de mărire a densității terenului în zona coloanelor care se formează astfel. Metoda constă în introducerea în teren a unui vibrator de adâncime care determină o rearanjare a particulelor din teren datorată eforturilor de forfecare generate și a unei lichefierii locale determinată de vibrațiile transmise terenului de către vibrator (Figura 18).

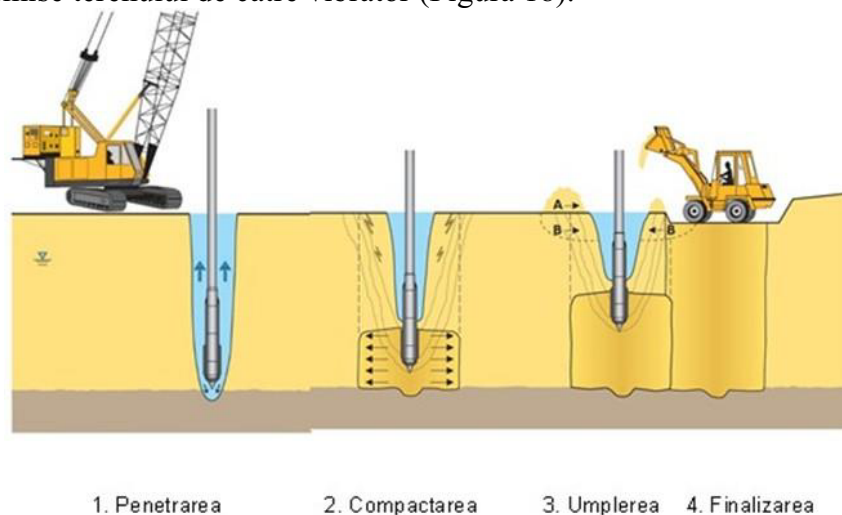


Figura 18. Principiul de realizare al coloanelor vibro-compactate în terenuri necoezive

(ii) Vibro-înlocuirea constă în executarea unor coloane prin aport de material care este vibrat. Aceasta implică introducerea în corpul coloanei a unor materiale de calitate superioară celor din teren (balast, nisip, piatră spartă sau alte materiale locale granulare), ceea ce conduce, pe lângă îndesarea terenului, la o ranforsare a acestuia. Coloanele realizate prin vibro – înlocuire pot fi realizate prin următoarele metode:

- tehnologia pe cale uscată – alimentare de sus - coloane vibro-deplasate (Figura 19). Echipamentul este suspendat cu o macara cu senile și este coborât la nivelul terenului. Penetrarea în umpluturi și/sau în terenuri moi este obținută sub efectul combinat al greutatei echipamentului, cel al vibrațiilor de frecvență înaltă și al aerului comprimat. După atingerea adâncimii dorite, echipamentul vibrator este menținut pentru puțin timp în pământ, apoi este retras. O cantitate mică de material granular este introdusă în gaura formată, după care echipamentul vibrator este din nou coborât pentru compactarea acestuia. Prin adaosuri succesive de cantități mici de material granular, compactat de fiecare dată sub energia dorită, se formează o coloană.

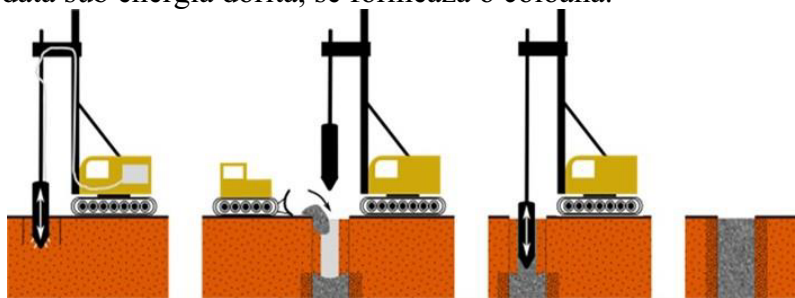


Figura 19. Principiul coloanelor din material granular vibro-deplasate (tehnologie pe cale uscată – alimentare de sus), (Dhouib A., Blondeau F., 2005⁴)

- tehnologia pe cale umedă (Figura 20) - echipamentul vibrator este dotat cu un sistem de injectare de apă. Echipamentul vibrator este suspendat cu o macara, coborât la nivelul

⁴ Dhouib A., Blondeau F. (2005) Colonnes ballastées, Presses de ENPC.

terenului și apoi sistemul de injectare al apei este deschis. Sub efectul greutatei proprii și ajutat de jetul de apă și de vibrații, echipamentul intră rapid în terenurile moi. După realizarea unei găuri cu pereți stabili, materialul granular este introdus în porții mici printr-un vibrator și peretele găurii în scopul formării coloanei.

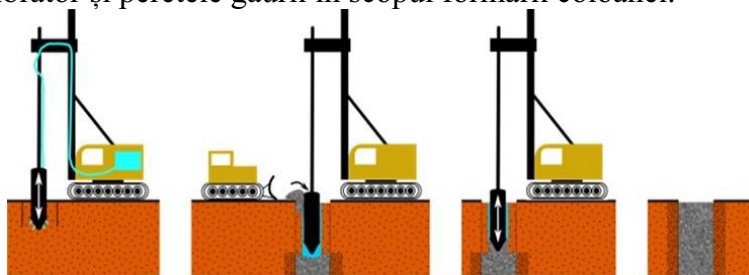
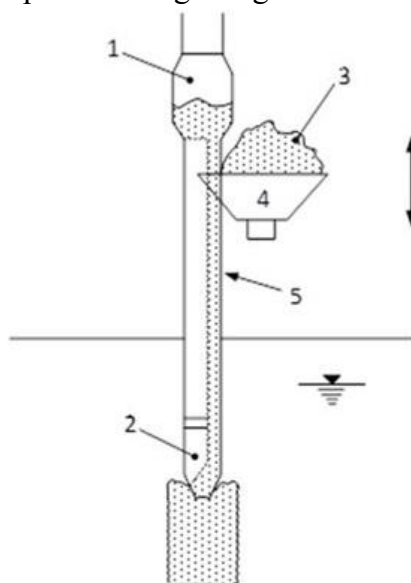


Figura 20. Principiul coloanelor din material granular realizate prin vibro-înlocuire pe cale umedă (Dhouib A., Blondeau F., 2005)

- tehnologia pe cale uscată – alimentare de jos (Figura 21). În această tehnologie echipamentul vibrator rămâne înfipt în teren în timpul realizării coloanei. Echipamentul este alcătuit dintr-un tub de alimentare cu debit mare racordat în permanență la mecanismul vibrator. Echipamentul este poziționat pe locul de tratare și umplut cu material granular, după care este introdus în pământ sub efectul combinat al greutatei proprii, al vibrațiilor și, dacă este necesar, a unui jet de aer comprimat și al unei forțe descendente suplimentare. Coloana din material granular este apoi realizată și compactată prin ridicarea întâi a tubului, apoi prin reînfigerea acestuia în coloana constituită și repetarea operațiilor până la atingerea gradului de compactare dorit.



- 1 – Cameră de compresie
2 – Vibrator
3 – Rezervă material
4 – Echipament de alimentare
5 – Tub de alimentare

Figura 21. Principiul coloanelor din material granular realizate prin vibro-înlocuire (tehnologie pe cale uscată – alimentare de jos), (SR EN 14731)

Pentru tehnologiile prin vibrație (vibro-înlocuire, vibro-compactare) se aplică prevederile standardului SR EN 14731.

(iii) Substituția dinamică presupune utilizarea compactării dinamice pentru a introduce în teren materiale granulare pentru a forma ploturi din material granular. Poate fi o extindere a compactării dinamice care utilizează baterea cu maiuri grele, în care craterele formate prin batere (îndesare) sunt apoi umplute cu material granular pentru a forma o coloană (Figura 22) sau pot fi tehnologii specifice de creare a unor ploturi din materiale granulare în cavități preformate (fie prin

îndesare, fie prin dislocuire) și umplere cu porții mici de material granular compactat dinamic cu vibrații de frecvență înaltă și amplitudine mică pentru a forma ploturi similare cu coloanele (Figura 23).

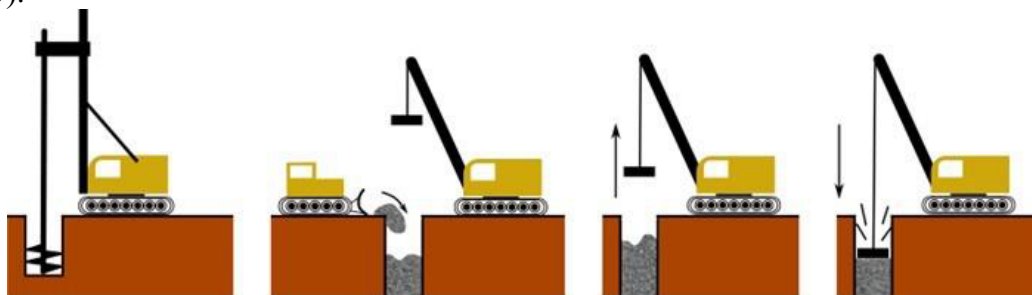


Figura 22. Principiul de realizare a ploturilor din balast prin compactare dinamică (batere), (Briancon et al., 2018)

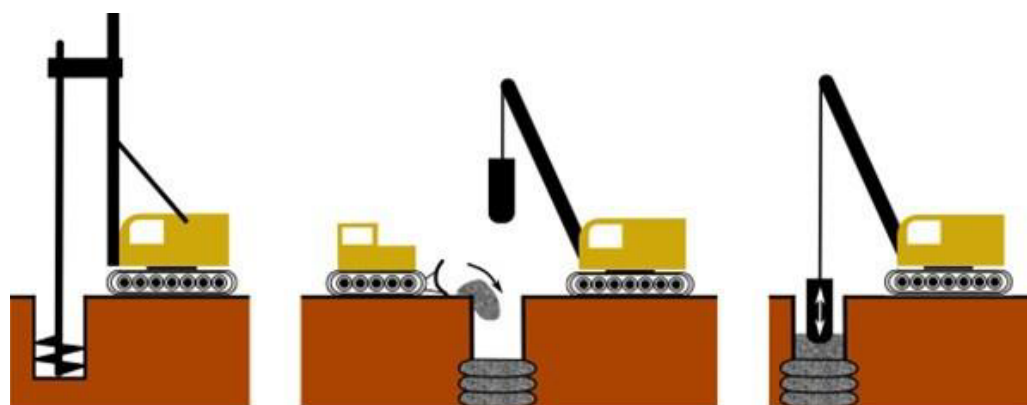


Figura 23. Principiul coloanelor din ploturi de material granular compactate dinamic

(iv) Atunci când coloanele din material granular sunt realizate în pământuri foarte moi, există posibilitatea ca acestea să nu aducă un aport semnificativ la capacitatea portantă a terenului din cauza slabei confinări a pământului pe direcție transversală, ceea ce conduce la supralărgire excesivă a coloanelor și a pătrunderii argilei moi în golurile materialului granular din coloană. Se utilizează o teacă dintr-un geotextil țesut cu rezistență mare la tracțiune. Materialul folosit pentru umplerea tecii de geotextil poate fi nisip sau balast. Teaca din material geosintetic controlează diametrul coloanei, previne pierderea de material, sporește rigiditatea generală a coloanelor și previne contaminarea cu pământ a coloanelor, păstrând astfel proprietățile de drenaj.

Coloanele în teacă din geotextil pot fi instalate cu sau fără deplasare laterală a pământului moale (Figura 24 și Figura 25).

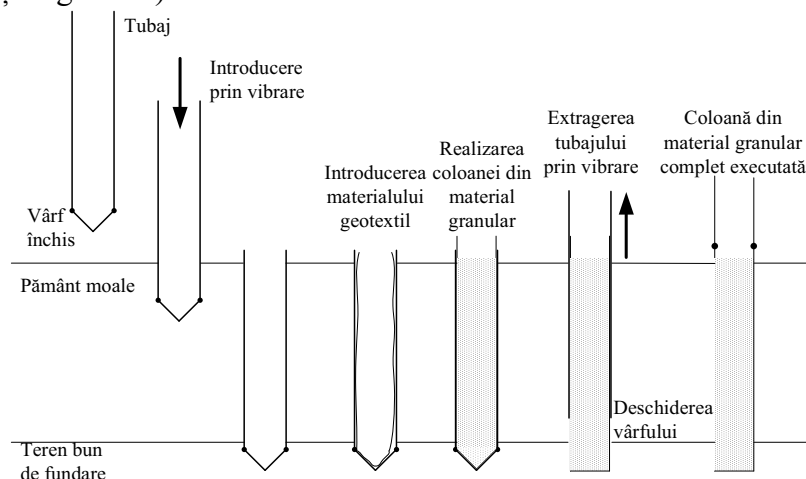


Figura 24. Metoda de instalare a coloanelor în geotextil cu deplasarea terenului (Alexiew et al, 2005⁵)

⁵ Alexiew, D., Brokemper, D. Lothspeich, S. (2005) Geotextile encased columns (GEC) load capacity, geotextile selection, and pre-design graphs. Proceedings of Geofrontiers, Austin.

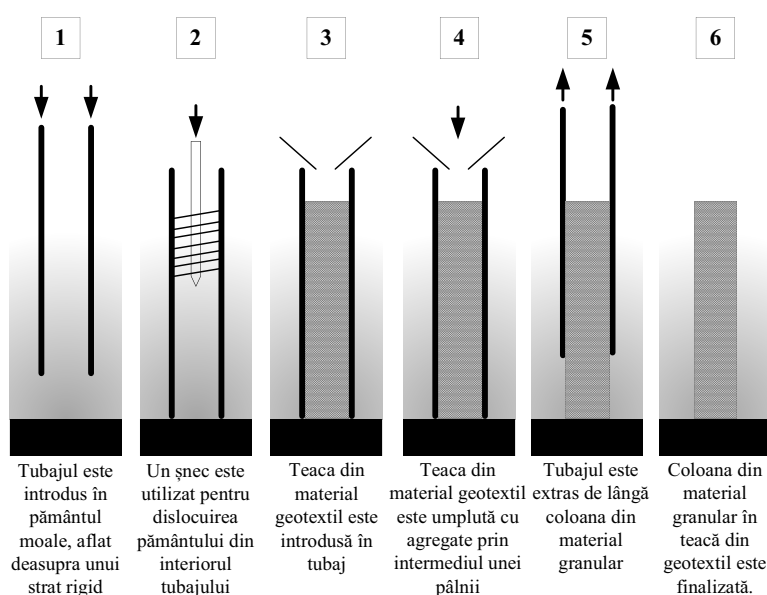


Figura 25. Metoda de instalare a coloanelor în geotextil cu dislocuirea terenului (Gniel și Bouazza, 2010⁶)

(v) În România se mai aplică și metoda de realizare a coloanelor de balast prin batere, care presupune formarea unui dop din beton la partea inferioară a coloanei și îndesarea acestuia în coloana metalică prin aplicarea de lovituri de berbec coloanei de la o înălțime de $(1 \div 2)$ m. Introducerea coloanei în teren se realizează prin aplicarea de lovituri betonului din interiorul coloanei de la o înălțime de $(7 \div 10)$ m. După ce se atinge cota din proiect, se scoate dopul din coloana metalică prin aplicarea de lovituri scurte introducând în coloana metalică o cantitate de balast ce se îndeasă prin batere cu berbecul, cu lovituri date de la înălțimea de $(2 \div 3)$ m

(3) Rezultate vizate: Tehnica îmbunătățirii terenurilor prin adoptarea de coloane din material granular s-a dovedit a fi aplicată cu succes în:

- (i) îmbunătățirea stabilității pantelor,
- (ii) creșterea capacității portante,
- (iii) reducerea tasărilor totale și diferențiale,
- (iv) reducerea potențialului de lichefiere al nisipurilor și
- (v) creșterea vitezei de consolidare a terenurilor.

În Tabelul 1 se prezintă rezultatele așteptate în cazul folosirii tehnologiei de vibro-înlocuire cu materiale granulare pentru diferite tipuri de pământuri.

Tabelul 1. Rezultate așteptate pentru tehnologia de vibro-înlocuire cu materiale granulare.

Tipul de pământ	Eficacitatea	
	Densificare	Armare
Nisip	Excelentă	Foarte bună
Nisipuri prăfoase	Foarte bună	Foarte bună
Prafuri	Bună	Excelentă
Argile	Medie	Excelentă
Deșeuri rezultate în urma exploatării miniere	Excelentă, în funcție de gradăția deșeurilor	Bună
Umpluturi necontrolate	Bună	Bună
Gunoii	Nu este aplicabilă	Nu este aplicabilă

(4) Domeniu de aplicare:

(i) Coloanele realizate prin vibro – compactare, vibro – înlocuire sau substituție dinamică se pot utiliza pentru o varietate de lucrări: drumuri, rambleuri, structuri de sprijin, depozite, silozuri, rezervoare, construcții civile și industriale, structuri off-shore, terenuri câștigate din mare etc.

⁶ Gniel J., Bouazza A. (2010) Construction of geogrid encased stone columns: A new proposal based on laboratory testing, Geotextiles and Geomembranes, Volume 28, Issue 1, February 2010, Pages 108-118.

(ii) Coloanele realizate prin vibro – compactare se pot utiliza pentru terenuri granulare – nisipuri, pietrișuri cu conținut mic de particule fine (sub 10% fracțiune praf).

(iii) Coloanele realizate prin vibro – înlocuire se utilizează pentru pământuri coezive ce prezintă o rezistență la forfecare în condiții nedrenate mai mare de 15 - 20 kPa. Tehnica nu este adecvată pentru turbe sau pământuri cu peste 5% materie organică și nici pentru umpluturi din deșeuri menajere. Pentru pământurile foarte moi poate fi necesară asocierea cu o măsură de preîncărcare sau consolidare.

(iv) În Figura 26 sunt prezentate domeniile granulometrice pentru vibro – compactare și vibro–înlocuire.

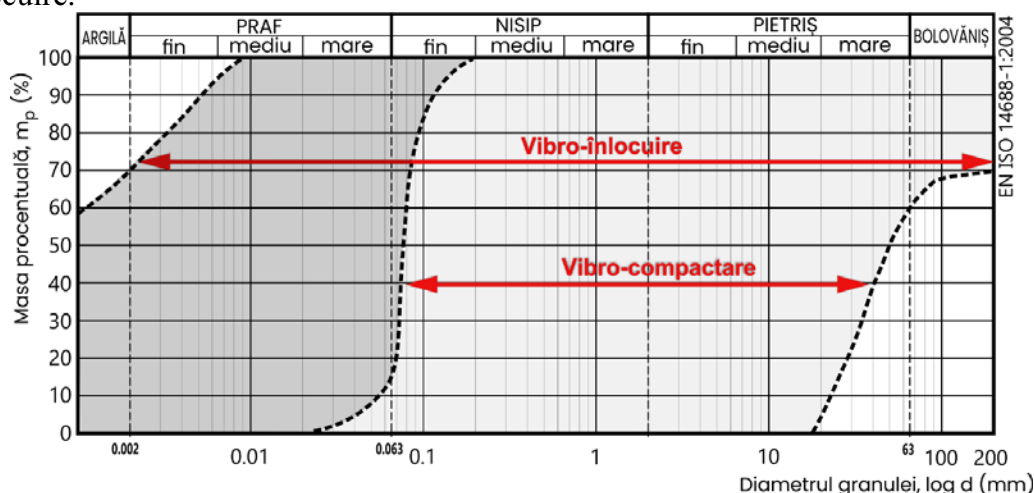


Figura 26. Domenii granulometrice pentru terenurile în care se pot aplica coloanele realizate prin vibro – compactare și vibro – înlocuire (Briancon et al., 2018)

(v) Metoda de substituție dinamică cu ploturi din materiale granulare se poate utiliza în terenuri diverse, argile și prafuri de la moi la vârtoase, terenuri necoezive afânate sau mediu îndesate, deasupra sau sub nivelul apei subterane, depozite de deșeuri.

(vi) Tehnologia coloanelor în geotextil este utilizată pentru terenuri foarte moi și terenuri cu conținut ridicat de materii organice cu o rezistență la forfecare în condiții nedrenate de 5 - 15 kPa, sau chiar mai mici de 5 kPa, inclusiv în turbe și mături. De regulă, această tehnică este utilizată pentru rambleuri fundate pe terenuri cu un modul edometric între 0,5 și 3,0 MPa și o grosime a stratului compresibil între 8 și 30 m. Înălțimea minimă recomandată a rambleului deasupra coloanelor în geotextil este de 1,5 m.

(vii) Coloanele din material granular în geotextil sunt adecvate în cazul fundațiilor sensibile la împingerea laterală, cum ar fi piloții din vecinătatea rambleurilor înalte, haldele de depozitare sau alte încărcări din fundare directă. Ele pot fi, de asemenea, utilizate în zone seismice pentru menținerea integrității coloanelor granulare sub acțiunea seismică de forfecare. O altă aplicație a coloanelor din material granular în geotextil este pentru rambleurile feroviare existente modernizate pentru trenuri de mare viteză, deoarece îmbunătățesc stabilitatea lor dinamică.

(5) Limitări:

(i) În cazul coloanelor realizate prin vibro–înlocuire:

- tehnologia pe cale uscată - alimentare de sus (coloane vibro-deplasate) este aplicabilă în pământuri granulare, deasupra pânzei freatice, pentru adâncimi curente maxime de 20 m;
- tehnologia pe cale umedă este utilizată atunci când tehnica pe cale uscată nu poate fi adoptată datorită instabilității pereților găurii formate prin vibrație;
- tehnologia pe cale uscată - alimentare de jos este aplicabilă în cazurile în care stabilitatea pereților găurii nu este asigurată și poate înlocui procedeul pe cale umedă în majoritatea situațiilor.

(ii) Adâncimea tipică de execuție a coloanelor prin metoda de vibro–înlocuire este de 10–15m.

- (iii) Coloanele realizate prin vibro-înlocuire pot reduce tasările construcțiilor de cca. 2 - 3 ori.
- (iv) Pentru coloanele de nisip, tehnologia a fost utilizată până la o adâncime de 70 m.
- (v) Adâncimea tipică a coloanelor în geotextil este de 5-10 m.
- (vi) Coloanele din materiale granulare (agregate) realizate prin substituție dinamică sunt utilizate în principal pentru a îmbunătăți terenurile până la o adâncime de 5 – 10 m, în funcție de tehnologia aplicată. Coloanele realizate prin compactare dinamică (batere) de la suprafață au adâncimi mai mici, de cca 5 - 6 m maximum, în timp ce ploturile de agregate compactate, în funcție de tehnologie (de îndesare sau cu dislocuire) pot avea adâncimi de 5 - 25 m.
- (vii) Pentru coloanele realizate prin vibro-compactare terenurile care pot fi îmbunătățite prin această tehnică prezentate în Figura 26 pot fi sub-divizate în mai multe sub-domenii granulometrice (Figura 27):

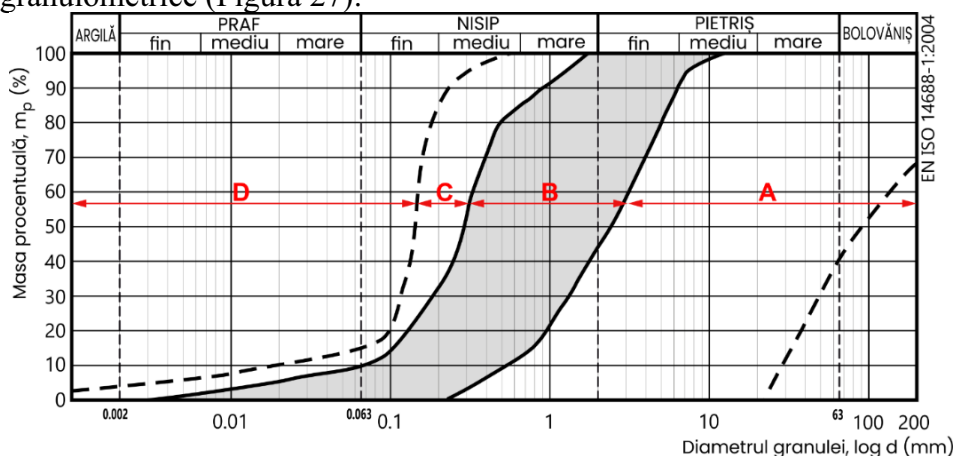


Figura 27. Sub-domenii granulometrice ale terenului pentru îmbunătățire prin metoda vibro-compactării (Bertago et al., 1996)

În cazul terenurilor cu o granulometrie cuprinsă în zona A, metoda de vibro-compactare este adecvată, dar va fi dificilă introducerea vibratorului datorită diametrelor mari ale fracțiunii de pietriș și bolovăniș. Zona B, care cuprinde fracțiunea de nisip fin până la pietriș fin, este cea mai adecvată pentru vibro-compactare. Zona C cuprinde terenuri pentru care vibro-compactarea este fezabilă, dar necesită un timp mai îndelungat pentru îndesarea pământului din cauza coeziunii aparente pentru pământurile nesaturate sau a permeabilității relativ scăzute pentru pământul saturat. Zona D cuprinde terenuri pentru care vibro-compactarea nu este fezabilă.

- (viii) Prin realizarea de coloane din material granular, drenant, se pot pune în comunicare diferitele acvifere din teren, care, în anumite cazuri, poate duce la contaminarea acestora.

B. Materiale utilizate

(6) Pentru realizarea coloanelor realizate prin vibro-compactare, vibro-înlocuire sau prin substituție dinamică se pot utiliza: materialele necoezive din terenul de fundare (ținând cont de domeniul geotehnic de aplicare al fiecărei metode) sau materiale de aport granulare.

(7) Pentru coloanele vibro-deplasate granulozitatea materialului granular utilizat este cuprinsă între 40 mm și 75 mm.

(8) Pentru coloanele realizate prin vibro-înlocuire pe cale umedă granulozitatea materialului granular utilizat este cuprinsă între 25 mm și 75 mm.

(9) Pentru coloanele realizate prin compactare dinamică de la suprafață se pot utiliza materiale granulare, inclusiv grosiere, cu blocuri de până la 50 cm, dată fiind energia ridicată de compactare. Se poate utiliza și deșeu de carieră sau materiale din demolări.

(10) Materialele granulare utilizate pentru corpul coloanelor trebuie să fie curat și inert din punct de vedere chimic, precum și să aibă o duritate suficientă pentru a rămâne stabil în timpul compactării.

(11) Materialele granulare utilizate pentru corpul coloanelor trebuie să nu fie friabile. De regulă, degradarea sa la încercarea Los Angeles trebuie să fie sub 45% pierdere, iar diametrul granulelor să fie între 12 și 75 mm.

(12) Geosinteticele utilizate în mod obișnuit pentru încapsularea coloanelor din material granular sunt geotextilele țesute cu rezistență mare la tracțiune uni-dimensională și tri-dimensională. Rezistența maximă la tracțiune este atinsă de obicei la deformații tridimensionale de aproximativ 5 - 10%, ceea ce implică valori de rezistență între 100 - 300 kN/m.

C. Studii și încercări necesare în execuție

(13) Înaintea execuției trebuie confirmate condițiile de teren asumate prin proiect, iar materialele prevăzute pentru execuție trebuie verificate pentru conformitate cu specificațiile tehnice.

(14) În general este necesară execuția de poligoane experimentale pentru a stabili sau verifica procedura de execuție, distanța dintre coloane, vibrațiile, parametri de îmbunătățire etc.

D. Execuție

(15) Pentru implementarea proiectului de îmbunătățire a terenului prin metoda coloanelor din material granular în faza de execuție, se impun o serie de măsuri de organizare, control și siguranță, printre care:

(i) Planificarea și pregătirea terenului - Realizarea unui studiu detaliat al terenului și a unui proiect tehnic clar, adaptat condițiilor geotehnice și structurale. Curățarea și nivelarea amplasamentului, eliminarea obstacolelor și pregătirea suprafeței de lucru.

(ii) Achiziția și verificarea materialelor - asigurarea unui stoc corespunzător de piatră și alte materiale necesare, de calitate certificată. Verificarea respectării specificațiilor tehnice și a standardelor de calitate.

(iii) Organizarea șantierului și a echipamentelor - stabilirea unui plan de lucru detaliat, cu alocarea resurselor umane și a echipamentelor necesare (buldozere, excavatoare, utilaje pentru foraj). Implementarea măsurilor de siguranță pentru personal și pentru mediul înconjurător.

(iv) Executarea efectivă a coloanelor din material granular

(v) Controlul calității și monitorizare - inspecții periodice în timpul execuției pentru a verifica calitatea materialelor și a tehnicii de lucru.

(vi) Documentare și rapoarte de progres - înregistrarea tuturor etapelor de execuție, a eventualelor abateri, și a măsurilor corective. Elaborarea rapoartelor tehnice și financiare pentru controlul proiectului.

(vii) Respectarea normelor de protecție a mediului - asigurarea măsurilor de reducere a impactului asupra mediului înconjurător, gestionarea corectă a deșeurilor și a emisiilor.

(viii) Implementarea cu succes a acestor măsuri contribuie la finalizarea proiectului în termenele stabilite, cu respectarea standardelor de calitate și siguranță.

(16) Înainte de demararea execuției lucrărilor de îmbunătățire cu coloane trebuie identificate toate posibilele obstacole și rețele de utilități subterane sau supraterane care trebuie protejate.

(17) Execuția lucrărilor de îmbunătățire prin coloane necesită execuția prealabilă a unei platforme de lucru dimensionată corespunzător pentru a asigura accesul utilajelor și stabilitatea în timpul execuției lucrărilor. Materialul din care se execută platforma de lucru trebuie să fie conform cu specificațiile tehnice, să fie adecvat pentru terenul din amplasament și să nu împiedice pătrunderea echipamentului.

(18) Execuția coloanelor prin vibrare (vibro-înlocuire, vibro-compactare) se realizează în conformitate cu prevederile standardului SR EN 14731.

(19) Metoda de execuție (a se vedea 5.3.1 (2) (i) și (ii)) este aleasă în funcție de caracteristicile amplasamentului din punct de vedere geotehnic și hidrogeologic.

(20) Procedura de realizare a coloanelor prin vibro-compactare, respectiv de vibro-înlocuire sunt foarte asemănătoare. Ambele utilizează vibro-compactatorul ca principal echipament, faza de penetrare fiind identică la cele două metode. Odată ce se atinge adâncimea necesară, gaura este "spălată", adică jeturile vibro-compactatorului sunt complet deschise. Această „spălare puternică” formează un cilindru deschis în terenul coeziv.

(21) Umplutura de pietriș folosită pentru formarea coloanelor din material granular trebuie să respecte specificațiile tehnice ale proiectului. Pe măsură ce materialul granular este pus în operă, utilajul vibrator compactează simultan materialul, dislocând materialul granular radial în terenul moale. Utilajul vibrator poate fi retras cu o viteză de 0,3 m/min.

(22) Cantitatea de material granular consumată și puterea utilajului vibrator (măsurată prin amperaj) în timpul compactării sunt înregistrate pentru a evalua uniformitatea compactării și dimensiunea finală a coloanei de material granular.

(23) După ce o coloană de material granular este finalizată, echipamentul este relocalat, iar procesul se repetă în altă locație adiacentă. Spațierea punctelor trebuie să respecte dimensiunile rețelei proiectate.

(24) Metodele de execuție pentru coloanele din material granular executate prin vibrație includ:

a) Metoda pe cale umedă

Tehnica de instalare a coloanelor din materiale granulare, numită vibro-înlocuire prin procedeul umed, utilizează un jet de apă la presiune ridicată pentru a realiza o gaură în amplasament și pentru a menține stabilitatea acesteia în terenurile coezive. Dacă se întâmpină dificultăți la penetrare, poate fi realizată și o pre-forare prin straturile dure.

Modul de realizare al coloanelor din piatră este următorul:

- se poziționează sonda în locația dorită, se pornește apa și electricitatea necesară funcționării electromotorului pentru generarea vibrațiilor.
- introducerea sondei în teren până la adâncimea dorită cu o viteză de 0,3 - 0,5 m/min și monitorizarea variației curentului electric.
- după atingerea cotei inferioare a coloanei se mai realizează încă o trecere în sus și jos cu sonda în gaura formată fără a o scoate complet pentru a curăța gaura;
- un încărcător frontal plasează materialul granular în jurul sondei vibro-compactatorului de la suprafața terenului, iar aceasta cade spre vârful sondei
- vibratorul este ridicat în etape de 0,6 - 1,2 m, iar piatra cade prin spațiul creat de acesta până la vârf, umplând cavitatea formată pe măsură ce vibro-compactatorul este ridicat.
- apoi vibratorul penetrează din nou piatra căzută la vârful acestuia pentru a o densifica și a o împinge piatra radial în terenul înconjurător până când se atinge nivelul de amperaj prestabilit pentru fiecare etapă sau până se ajunge la nivelul superior al coloanei.

Fazele de execuție pentru realizarea coloanelor din material granular vibrat folosind metoda umedă sunt prezentate în Figura 28.

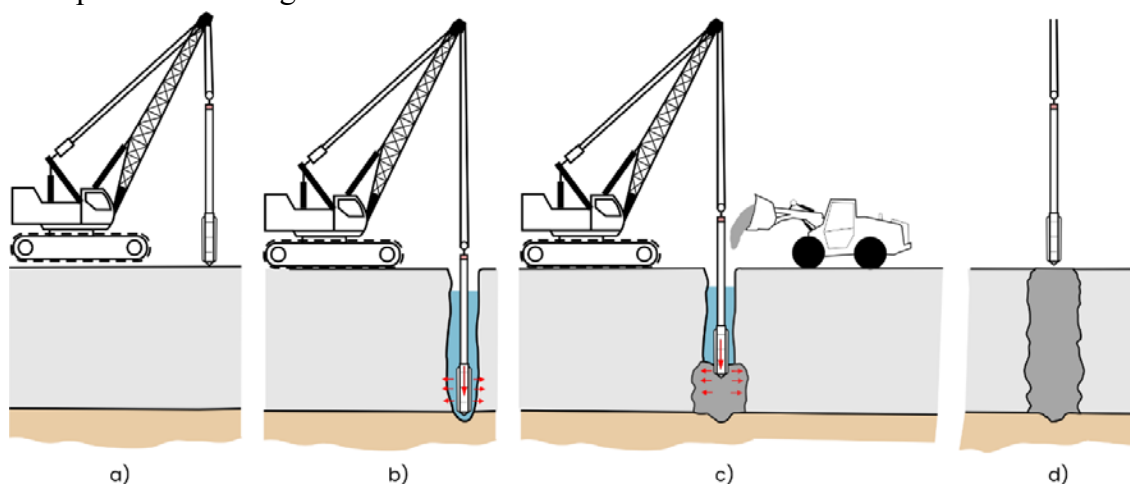


Figura 28. Fazele de execuție a coloanelor prin vibro-înlocuire prin metoda pe cale umedă

b) Metoda pe cale uscată

Vibratorul este introdus în teren fără a folosi jeturi de apă, utilizând oscilațiile acestuia, combinate cu greutatea sa proprie și eventual jeturi de aer. Modul de realizare al coloanelor de material granular prin vibro-înlocuire folosind metoda pe cale uscată cu alimentare pe la partea inferioară (Figura 29) este similară cu cea prezentată la metoda pe cale umedă cu alimentare superioară, cu câteva excepții legate de lipsa folosirii apei la introducerea sondei și a alimentării cu material granular pe la partea inferioară a sondei vibro-compactoare prin intermediul unui tub cu pâlnie. În unele cazuri, locațiile planificate pentru coloane sunt forate în prealabil pentru a facilita penetrarea vibratorului.

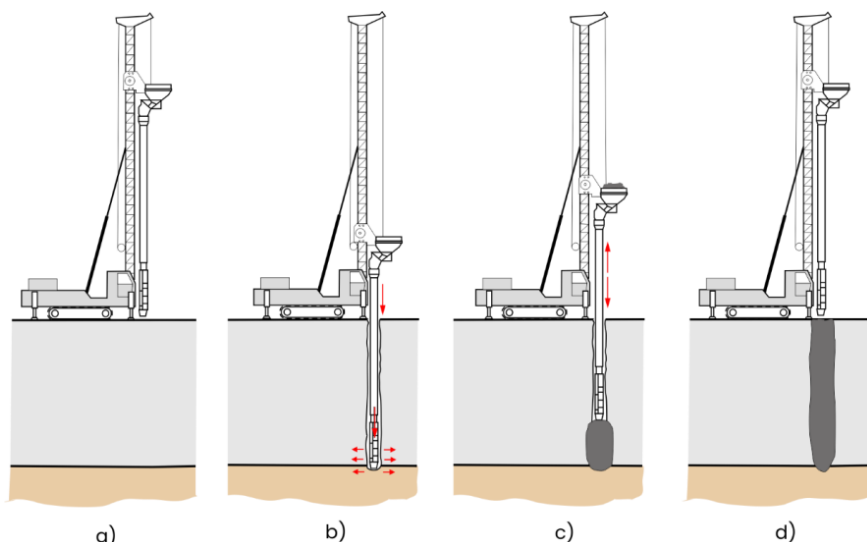


Figura 29. Fazele de realizare a coloanelor din material granular folosind metoda pe cale uscată, cu alimentare la partea inferioară

Metoda pe cale uscată poate fi utilizată și în varianta alimentării pe la partea superioară dacă în timpul penetrării gaura formată își poate păstra stabilitatea. Fazele de execuție pentru realizarea coloanelor din material granular vibrat folosind metoda pe cale uscată cu alimentare la partea superioară sunt prezentate în Figura 30.

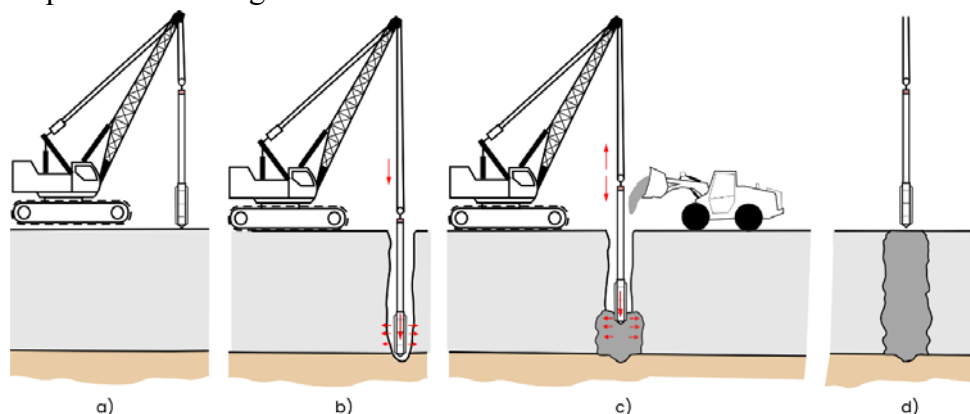


Figura 30. Fazele de realizare a coloanelor din material granular folosind metoda pe cale uscată, cu alimentare la partea superioară

c) Etapele de execuție ale coloanelor din nisip compactat (Figura 31)

Realizarea coloanelor din nisip necesită utilizarea unui tubaj din oțel (de obicei cu diametrul de 0,4 - 0,6 m), la partea superioară a acestuia fiind fixat un vibrator hidraulic sau electric de 4,5 - 6 tone. Tubajul trebuie să fie ușor mai lung decât adâncimea dorită a coloanei proiectate din nisipul și să aibă o bază care poate fi închisă în timpul penetrării, dar să poată fi deschisă în timpul umplerii cu materialul granular.

Procedură tipică de instalare:

- poziționarea tubajului pe amplasament conform planului de execuție;
- introducerea tubulaturii până la adâncimea dorită. Pentru a minimiza timpul de construcție, tubajul de oțel este de obicei umplut cu nisip în timp ce este împins în teren, astfel încât extragerea tubajului să poată începe imediat ce se atinge adâncimea necesară.
- după umplerea tubulaturii cu nisip, la partea de superioară a coloanei de nisip se aplică o presiune de aer. Această presiune aplicată la partea superioară împiedică pământul moale din teren să intre în tubaj și ajută la forțarea nisipului în afară în timpul retragerii.
- realizarea coloanei din nisip printr-o mișcare alternativă a tubulaturii (de obicei, se ridică cu 1,8 – 3 m și apoi se vibrează înapoi în jos cu 1,0 - 2,0 m) până ajunge la nivelul superior al coloanei. În timpul acestui proces, se aplică o presiune de aer (de obicei, 250 - 500 kPa).

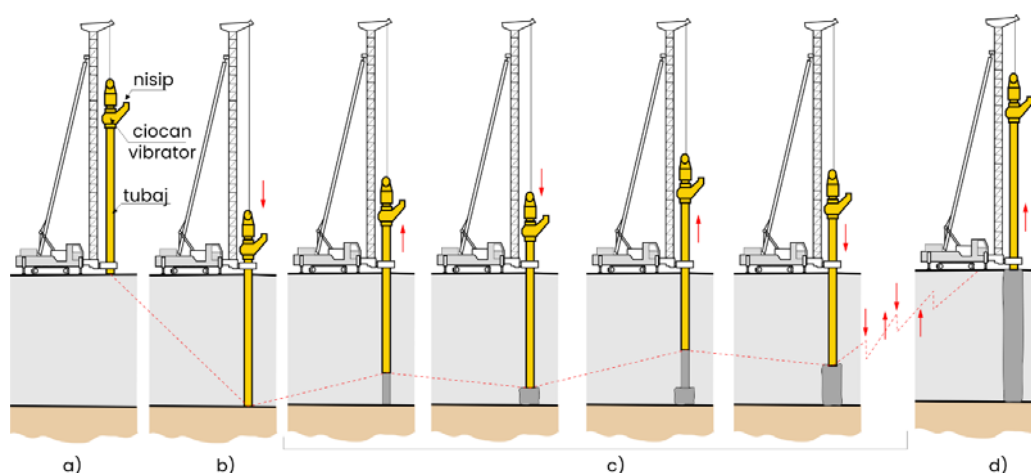


Figura 31. Etapele realizării coloanelor din nisip

(25) Execuția coloanelor din material granular realizate prin substituție dinamică

a. ploturi din material granular compactate prin batere

Acestea se formează prin umplerea craterelor formate prin compactare dinamică cu material granular (a se vedea 5.1.1 și Figura 23).

b. coloane din agregate compactate prin batere (Figura 32)

Procedura tipică de instalare este următoarea:

- realizarea unei găuri până la adâncimea dorită. În cazul în care stabilitatea găurii nu este asigurată gaura poate fi tubată;
- introducerea materialului granular în gaură pe la partea superioară cu ajutorul unui încărcător cu șenile, în straturi de maxim 30cm;
- compactarea dinamică a materialului granular;
- adăugarea de straturi succesive și compactarea până la atingerea cotei superioare a coloanei.

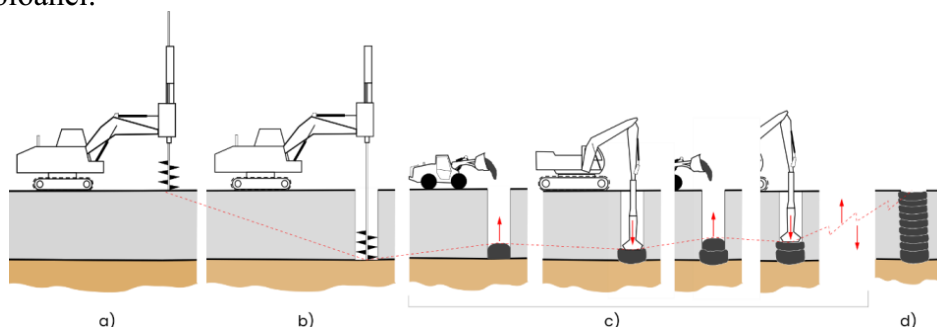


Figura 32. Etape de execuție a coloanelor din ploturi de material granular compactate dinamic

E. Controlul calității lucrărilor executate

(26) Controlul calității lucrărilor executate se face în timpul execuției și la finalul acesteia, în conformitate cu prevederile standardelor aplicabile de execuție și cu prevederile proiectului.

(27) În timpul execuției, parametrii importanți de monitorizat și înregistrat includ:

- locația coloanei;
- adâncimea coloanei;
- energia consumată;
- cantitatea de umplutură utilizată - monitorizarea consumului de material granular în funcție de adâncime, la fiecare max. 1,5 m pentru a determina profilul secțiunii transversale a coloanei în raport cu adâncimea. Nici o coloană nu trebuie să aibă un diametru mai mic de 90% din diametrul minim specificat în contract;
- verticalitatea utilajului. Axul coloanelor nu trebuie să fie înclinat față de verticală cu mai mult de 5 cm pe o distanță de 300 cm.

(28) Controlul după execuție se referă la:

- controlul diametrului coloanei (prin dezgolirea unui număr de coloane realizate în afara amprenteii stricte a construcției);
- controlul continuității, fie cu ajutorul unui penetrometru static, fie prin înregistrările din timpul execuției coloanei;
- controlul compactării materialului din coloană, cu ajutorul unui penetrometru static care trebuie să coboare cel puțin 1 m sub baza coloanei;
- încărcare de probă a unei coloane, de regulă pentru verificarea tasării capului coloanei sub o sarcină egală cu 1,5 ori valoarea încărcării determinate în proiect pentru SLS.

(29) Frecvența încercărilor de control trebuie să respecte prevederile proiectului tehnic și pe cele ale standardelor aplicabile pentru execuție.

(30) Modul de verificare post-execuție a calității coloanelor din material granular depinde și de scopul pe care aceste coloane îl vor avea în lucrare și de tipul de teren întâlnit pe amplasament. Pentru stabilizarea pantelor, reducerea tasărilor, reducerea potențialului de lichefiere se utilizează încercări pe teren de tip SPT, CPT sau presiometru în puncte centrale între coloane. Rezistența la penetrare trebuie verificată față de valorile folosite pentru determinarea spațierii coloanelor.

(31) Pentru verificarea calității lucrărilor executate se utilizează, în general, aceleași tipuri de încercări ca și la etapa de investigare a terenului, pentru a putea observa gradul de îmbunătățire

E. Recepția lucrărilor

(32) Recepția lucrărilor de îmbunătățire a terenului cu coloane din

5.3.2. Coloane din pământ (loess)

(1) În acest subcapitol sunt tratate coloanele din pământ, de regulă aplicate în cazul terenurilor sensibile la umezire (loess).

A. Generalități

(2) Principiu: Pentru îmbunătățirea terenurilor sensibile la umezire, în România se utilizează procedeul de realizare a coloanelor de pământ prin îndesare în adâncime ca urmare a căderii unui mai (de 1.5 – 1.6 t) având în capăt un dorn ce străpunge terenul și îl îndeasă lateral. Găurile astfel formate, care sunt stabile în loess uscat, sunt apoi umplute cu porții succesive de material de același tip care se compactează până la refuz.

(3) Rezultate vizate: Reducerea porozității pentru eliminarea sensibilității la umezire.

(4) Domeniu de aplicare: Coloanele din pământ se folosesc de obicei în cazul unor terenuri sensibile la umezire cu o grosime mai mare de 8 m, dar se pot folosi și pentru grosimi mai mici ale stratului dificil de fundare (minim 5 m) în cazul construcțiilor industriale fără sarcini dinamice importante, respectiv de minim 6 m în cazul construcțiilor civile cu regim de înălțime P+10E.

(5) Limitări:

(i) Nu se pot executa coloane de pământ sub nivelul hidrostatic și nici în terenuri a căror umiditate naturală depășește limita inferioară de plasticitate a pământului cu $\Delta w \geq 5\%$.

(ii) Diametrul uzual al maiului utilizat este de 0,35 m, dar diametrul final al coloanei depinde de îndesarea terenului.

B. Materiale utilizate

(6) Pentru realizarea coloanelor din pământ se utilizează doar materialul din loc, pământuri prăfoase cu umiditate $< 5\%$.

C. Studii și încercări necesare pentru execuție

(7) De regulă pentru proiectele mari este necesară execuția unui poligon experimental pentru determinarea numărului optim de lovituri de aplicat. Pentru aceasta, se realizează o coloană pentru care, la compactarea fiecărei porții de pământ se aplică o serie de lovituri, măsurând de fiecare dată avansarea berbecului. Compactarea se efectuează până la atingerea refuzului. Acesta se consideră atins dacă la 3 lovituri succesive se obțin valori ale avansării berbecului care nu diferă cu mai mult de 1 cm. Numărul de lovituri (N) este cel mai mic număr la care s-a obținut această diferență. Determinarea se repetă pentru toate porțiile care se introduc în coloană, mai puțin cele de pe ultimii 2 metri de la suprafață.

(8) Pentru verificarea compactării rezultate se efectuează penetrări statice sau dezveliri ale coloanelor rezultate (un sondaj pe întreaga adâncime compactată pentru 3 coloane) și prelevare de probe pentru a se efectua determinări de laborator.

(9) Pe poligonul experimental se determină următorii parametri:

- densitatea în stare uscată medie pentru fiecare metru de adâncime;
- densitatea medie globală în stare uscată pentru zona îmbunătățită;
- raportul dintre diametrul efectiv al coloanei și cel considerat la proiectare;
- se trasează diagrama de variație a rezistenței la penetrare cu adâncimea pentru terenul neîmbunătățit și pentru cel îmbunătățit.

D. Execuție

(10) Înaintea demarării execuției trebuie identificate toate posibilele obstacole și pregătit terenul.

(11) Pentru execuție se urmăresc următoarele etape:

- fixarea berbecului pe locație;
- executarea găurii care se face prin căderea berbecului ce străpunge terenul și îndeasă în lateral;
- se aplică întâi 7 - 8 lovituri/min prin căderea berbecului de la înălțimi de cca. 1 m. Pe măsura avansării în adâncime înălțimea de cădere se poate mări. Loviturile rare se continuă până la o adâncime de 1 – 1,5 m.
- se continuă baterea cu o frecvență de 55 lovituri/min.
- execuția găurii se face fără adaos de apă. Dacă accidental umiditatea este mai mare decât limita de plasticitate se poate înlocui materialul umed cu loess uscat, fie se poate adăuga loess uscat, ciment sau var.
- se execută corpul coloanei prin turnarea în gaură de porții de pământ și îndesarea lor prin aplicarea numărului prevăzut de lovituri;
- pământul care se introduce în corpul coloanei poate proveni de la săpăturile de pe amplasament, din cariere sau din orice fel de debleu dacă are caracteristicile cerute;
- pământul care formează corpul coloanei trebuie să aibă umiditatea optimă de compactare.

E. Controlul calității lucrărilor executate

(12) Controlul calității lucrărilor de îmbunătățire cu coloane de pământ se realizează pe parcursul execuției și la finalul acesteia.

(13) Pe parcursul execuției trebuie verificat gradul de compactare atins, față de cel impus prin specificațiile tehnice.

(14) Gradul de compactare poate fi verificat prin corelație cu rezultatele unor încercări pe teren (penetrare, de exemplu).

F. Recepția lucrărilor

(15) Recepția lucrărilor de îmbunătățire cu coloane de pământ se face în conformitate cu reglementările tehnice aplicabile în vigoare.

5.4. Incluziuni rigide

A. Generalități

(1) Principiu: transferul parțial al încărcărilor de la terenul slab către terenul mai rezistent din adâncime prin intermediul unei rețele de incluziuni și a unei platforme granulare de transfer dispusă peste capetele incluziunilor, fără conectare la structură (Figura 33). În lipsa platformei de transfer o soluție de radier pe incluziuni rigide poate fi asimilată cu o fundație pe piloți (dacă încărcările sunt preluate exclusiv de piloți – incluziuni) sau cu o fundație mixtă (radier pilotat) dacă se ia în considerare și partea de încărcări preluate de terenul dintre incluziuni. Incluziunile pot avea capiteluri.

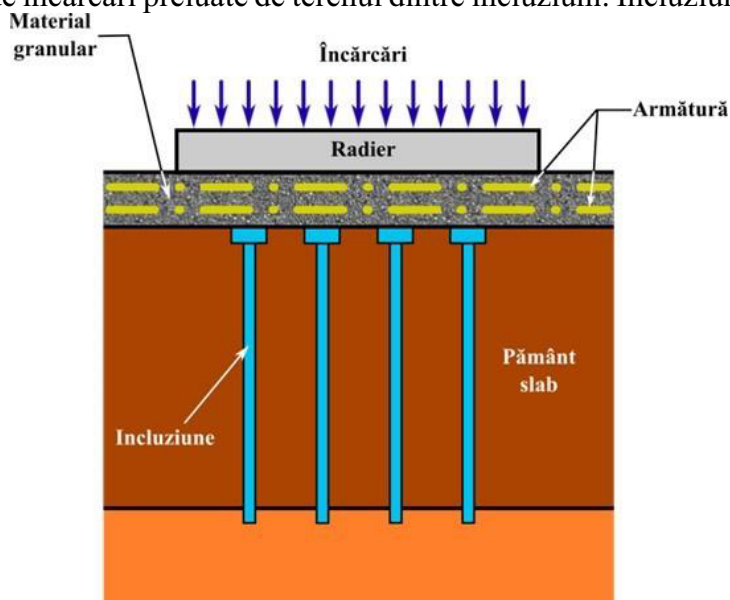


Figura 33. Elementele componente ale unei fundații pe teren îmbunătățit prin incluziuni rigide (ASIRI, 2012⁷)

(2) Termenul incluziuni rigide este utilizat de regulă pentru a acoperi atât pe cele rigide, cât și pe cele semi-rigide.

(3) Incluziunile rigide sunt constituite din elemente zvelte, de regulă cilindrice, verticale, continui, dispuse în nodurile unei rețele.

(4) Conceptul de incluziune rigidă presupune că stabilitatea coloanei este asigurată fără confinarea asigurată de terenul din jur (spre deosebire, de exemplu de coloanele din material granular).

(5) Platforma de transfer poate fi armată cu straturi de armături, de regulă din materiale geosintetice, dar pot fi utilizate și armături metalice, care au rolul de a:

- asigura transmiterea eforturilor provenite din structură care sunt situate în afara conurilor de transmitere a încărcărilor către incluziuni, ceea ce are o influență asupra grosimii optime a platformei;
- prelua eforturile laterale (de exemplu, în cazul rambleurilor fundate pe un sistem de incluziuni rigide, acestea sunt date de împingerea rambleului);
- îmbunătăți transferul de încărcări către incluziuni.

(6) În mod uzual, se acceptă că încărcările orizontale din partea suprastructurii sunt disipate în grosimea platformei de transfer, iar incluziunile preiau doar forțe verticale. Dacă platforma de transfer nu are grosimea sau caracteristicile necesare pentru a disipa aceste forțe orizontale (sau dacă aceasta lipsește), atunci incluziunile vor prelua și eforturi orizontale, nu doar verticale, și trebuie proiectate corespunzător. Într-o astfel de situație, ele capătă un comportament similar piloților și trebuie dimensionate conform normativelor aplicabile lucrărilor de piloți.

(7) Incluziunile pot fi clasificate în incluziuni rigide sau semi-rigide în funcție de valoarea modului lor de deformare sau de raportul dintre modulul de deformare al incluziunilor și cel al terenului:

⁷ Recommendations for the design, construction and control of rigid inclusion ground improvements (2012) ASIRI National Project, Presse des Ponts.

- incluziunile rigide au moduli de deformație $E > 0.5...1.0 \times 10^7$ kPa, respectiv un raport $E_{incl}/E_{teren} > 0.5...1.0 \times 10^3$;
- incluziunile semi-rigide au moduli de deformație $E < 0.5...1.0 \times 10^7$ kPa, respectiv un raport $E_{incl}/E_{teren} < 0.5...1.0 \times 10^3$

(8) Incluziunile pot fi obținute prin diferite tehnici, fie de dislocuire, fie de îndesare, ca de exemplu:

- realizate pe loc prin vibrare sau batere;
- prefabricate introduse prin batere sau vibrare;
- coloane de pământ malaxat cu liant sau realizate prin injecție cu presiune înaltă.

(9) În general pot fi utilizate toate tehnicile de execuție a piloților sau minipiloților,

(10) Incluziunile pot fi realizate din beton (simplu sau armat), mortar, oțel, lemn etc.

(11) Rezultate vizate: Creșterea caracteristicilor mecanice echivalente ale terenului de fundare, pentru reducerea tasării și creșterea capacității portante.

(12) Domeniu de aplicare: Domeniile de aplicare ale soluțiilor de îmbunătățire a pământurilor prin execuția incluziunilor rigide sunt:

- clădiri rezidențiale și comerciale;
- clădiri industriale, depozite, centre logistice;
- rezervoare de stocare fluide, precum și bazine și structuri ale stațiilor de epurare a apelor uzate;
- rambleuri pentru infrastructuri rutiere și feroviare;
- turbine eoliene, centrale solare, centrale nucleare;
- alte clădiri sau structuri pentru care se urmăresc creșterea capacității portante a terenului de fundare și reducerea tasărilor fundațiilor și radierelor.

(13) Alegerea unei soluții de îmbunătățire cu incluziuni rigide în locul unei alte soluții de îmbunătățire precum preîncărcare cu drenuri verticale, coloane de material granular, compactare dinamică prin batere sau vibrare se face pe baza condițiilor de teren, a structurii ce urmează a fi construită, tasării admisibile, timpului de execuție etc.

(i) De exemplu, pământurile coezive nu pot fi îmbunătățite prin compactare dinamică prin batere sau vibrare, cele coezive foarte moi sau organice nu pot fi îmbunătățite prin tehnici de coloane necimentate,

(ii) Adâncimea până la care se dezvoltă pământul ce trebuie îmbunătățit este de asemenea un criteriu important, tehnicile de execuție a incluziunilor rigide permițând atingerea unor adâncimi mai mari decât în alte cazuri.

(14) Din punct de vedere al condițiilor de teren, domeniul de aplicare al tehnicii de îmbunătățire cu incluziuni rigide este cel al pământurilor naturale sau antropice coezive, moi și foarte moi, cu grosimi mari.

(15) Limitări:

(i) limitări care decurg din tehnologiile de execuție ale diferitelor tipuri de incluziuni;

(ii) platforma de transfer necesită în general material granular de calitate;

(iii) este necesară prevederea unei platforme de execuție care să asigure stabilitatea necesară pentru echipamentele de execuție;

(iv) dimensionarea acestui sistem de fundare necesită cunoștințe avansate și o bună înțelegere a mecanismelor de funcționare a acestuia;

(v) în situațiile în care incluziunile sunt supuse unor solicitări laterale semnificative sunt necesare incluziuni din beton armat (costuri sporite);

(vi) în situațiile în care există un strat deformabil sub cota inferioară a incluziunilor această soluție nu este indicată din cauza tasărilor suplimentare ale acestei zone;

(vii) soluția nu este potrivită pentru fundațiile izolate datorită spațiului limitat;

(viii) prezența unor lentile de turbă poate pune în pericol integritatea incluziunilor realizate pe loc.

B. Materiale utilizate

(16) Materialele utilizate pentru incluziuni trebuie să respecte prevederile din reglementările tehnice aplicabile fiecăruia în parte, acolo unde acestea există (beton, oțel, lemn).

(17) Pentru incluziunile realizate prin malaxare de adâncime se aplică prevederile acestui normativ capitolul 4.3.6.

(18) Pentru incluziunile realizate prin injectare cu presiune înaltă se aplică prevederile acestui normativ capitolul 4.3.5.

(19) În cazul incluziunilor realizate din beton acestea sunt de regulă din beton simplu, existând posibilitatea de a include o armătură pentru cazul necesității preluării de sarcini laterale.

(20) Pentru platforma de transfer se utilizează de regulă material granular compactat pentru a obține o anumită valoare a modulului de deformare. Se poate utiliza și material mai fin stabilizat cu lianți hidraulici (var, var și ciment), caz în care trebuie evitate dozaje prea mari de ciment pentru a nu obține o platformă rigidă care ar și fisura.

(21) Atunci când platforma de transfer este armată se pot utiliza armături geosintetice (geogridurile sau geotextile țesute) sau metalice (grile sudate). Armăturile geosintetice trebuie să respecte prevederile standardului SR EN 13251.

(22) Pentru platforma de execuție trebuie utilizate materiale care permit atingerea criteriilor de performanță stabilite fie de reglementări tehnice, fie prin procedurile proprii ale fiecărui antreprenor.

C. Studii și încercări necesare pentru execuție

(23) Înainte de demararea execuției trebuie confirmate condițiile geotehnice și hidrogeologice din amplasament, iar orice deviere trebuie imediat semnalată.

(24) În funcție de tipul de incluziune pot fi necesare poligoane experimentale și încercări preliminare execuției pentru a confirma posibilitatea de execuție, a obținerii caracteristicilor specificate etc.

D. Execuție

(25) Înaintea demarării execuției este necesară identificarea tuturor obstacolelor potențiale subterane și supraterane, a construcțiilor învecinate ce trebuie protejate.

(26) Platforma de lucru pentru utilaje se execută la cotele prevăzute în proiect având dimensiunile și structura în funcție de tipul și caracteristicile tehnice ale utilajelor folosite; aceasta trebuie să fie stabilă, orizontală și rezistentă, drenantă, liberă de orice sarcini, fără obstacole de forare subterane și aeriene.

(27) Orizontalitatea platformei influențează nu numai stabilitatea utilajului folosit, dar mai ales calitatea lucrării, prin asigurarea verticalității incluziunii rigide.

(28) Platforma de lucru poate fi integrată în platforma de transfer atunci când capetele incluziunilor vor fi sparte la un nivel sub cel al platformei de lucru. În acest caz este necesară o recepție separată a platformei de lucru, care la momentul încorporării în platforma de transfer trebuie să nu fie poluată sau degradată.

(29) Trebuie ținut cont de faptul că platforma de lucru poate fi deteriorată de operațiile care trebuie efectuate după execuția incluziunilor.

(30) De asemenea, trebuie evitate:

- circulația și compactarea direct peste capetele incluziunilor; se recomandă circulația pe un strat granular de minimum 25 cm grosime peste capetele incluziunilor; dacă capetele incluziunilor sunt la nivelul superior al platformei, circulația nu va fi permisă până la atingerea rezistenței necesare în corpul incluziunilor (de regulă minim 7 zile);

Notă: Stratul de 25 cm grosime poate fi material de aport pus în operă peste capetele incluziunilor (dacă capetele acestora sunt la nivelul platformei de lucru) sau, dacă capetele incluziunilor sunt la cel puțin 25 cm sub nivelul platformei de lucru, este necesară doar o recompartare.

- deteriorarea platformei după realizarea incluziunilor, astfel încât să rămână circulabilă;
- pozării conductelor în dreptul incluziunilor rigide;
- oricărei excavații sau debleu sub nivelul final al capetelor incluziunilor nearmate (ca de exemplu pentru realizarea în imediata vecinătate a unei alte excavații pentru altă construcție sau pentru pozarea unor rețele). Dacă nu pot fi complet evitate, se vor lua

măsurile specifice pentru a păstra caracteristicile mecanice ale incluziunilor. Dacă excavația este realizată la perete vertical se vor lua măsuri corespunzătoare de sprijinire, iar dacă excavația este în taluz, acesta nu poate intersecta incluziunile.

(31) Trasarea poziției centrului incluziunii rigide: se execută de către echipa topografică, în conformitate cu specificațiile proiectului;

(32) Incluziunile rigide sau semi-rigide pot fi executate cu diferite tehnologii pentru care se aplică standardele de execuție adecvate în vigoare:

- (i) SR EN 1536+A1 - Execuția lucrărilor geotehnice speciale. Piloți forți
- (ii) SR EN 12699 - Execuția lucrărilor geotehnice speciale. Piloți de îndesare
- (iii) SR EN 14199 - Execuția lucrărilor geotehnice speciale. Micropiloți
- (iv) SR EN 14679 - Execuția lucrărilor geotehnice speciale. Stabilizarea în adâncime a pământurilor prin malaxare
- (v) SR EN 12716 - Execuția lucrărilor geotehnice speciale. Injectarea cu presiune înaltă a terenurilor (jet grouting)

(33) Metodele de execuție ale incluziunilor rigide și semi-rigide pot fi grupate astfel:

- incluziuni forate cu dislocuirea pământului: forate în uscat, forate cu tubaj sau sub protecție de noroi bentonitic, cu șnec continuu, micropiloți;
- incluziuni forate cu îndesarea pământului: prin înșurubare;
- incluziuni realizate pe loc prin vibrare sau batere, inclusiv coloane vibro-compactate din beton;
- incluziuni prefabricate introduse prin batere sau vibrare, din beton sau metal;
- incluziuni realizate prin amestecul pământului cu un liant (coloane de pământ malaxat sau injecții cu presiune înaltă).

(34) Execuția incluziunilor se face în baza unui plan de execuție cu rețeaua de incluziuni, adâncimea lor, tipul lor (armate, nearmate etc.), platforma de transfer, nivelul capetelor incluziunilor etc.

(35) În timpul execuției incluziunilor sau după aceasta se efectuează operațiunea de aducere la nivel a capetelor incluziunilor prin spargere, tăiere, oprirea turnării betonului sau prin excavare. De preferință, se aliniază capetele incluziunilor la nivelul platformei de lucru.

(36) Nu este permisă aducerea la nivel a incluziunilor prin oprirea betonării sau excavare sub nivelul apei subterane.

(37) Atunci când capetele incluziunilor trebuie aduse la un nivel mai jos decât platforma de lucru pentru a integra platforma de lucru în platforma de transfer nu este recomandabil ca diferența de nivel să fie mai mare de 30 cm (sub nivelul platformei de lucru) deoarece nu s-ar mai putea realiza o compactare eficientă a platformei de transfer deasupra acestui nivel.

(38) Spargerea capetelor incluziunilor se face pe minimum 10 cm pentru a verifica și calitatea materialului din corpul incluziunii.

(39) Toleranțele pentru aceste operațiuni trebuie definite în proiectul tehnic și trebuie respectate în timpul execuției.

(40) În cazul utilizării de capiteluri diametrul lor este limitat în general la de 3 - 6 ori diametrul incluziunii.

(41) Capitelurile sunt fie turnate pe loc, fie prefabricate, armate sau nu. Atunci când sunt turnate pe loc ele trebuie executate odată cu incluziunea.

(42) Platforma de transfer poate fi executată după execuția incluziunilor (Figura 34) prin terasare până la nivelul capetelor incluziunilor, punere în operă și compactare a pernei, apoi realizarea fundației.

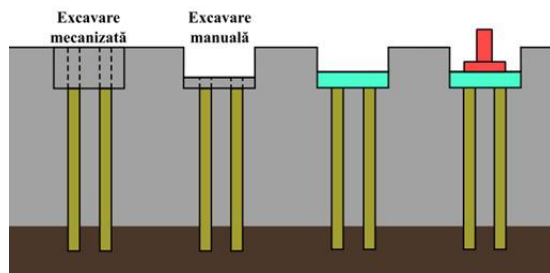


Figura 34. Platformă de transfer executată după instalarea incluziunilor (ASIRI, 2012)

(43) Atunci când este nevoie de a excava mai jos de nivelul capetelor incluziunilor (dacă, de exemplu, calitatea terenului nu e suficientă pentru a putea asigura o compactare bună a platformei de transfer), este necesară armarea incluziunilor pe zona superioară pe o înălțime de minimum 4 ori diametrul incluziunii sau a înălțimii de excavare (Figura 35).

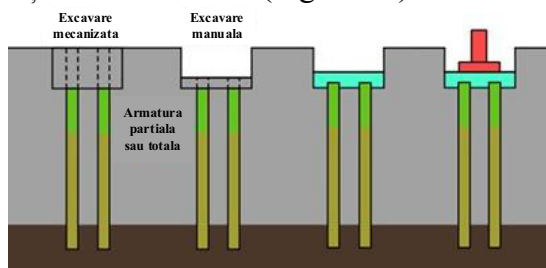


Figura 35. Armarea părții superioare a incluziunii când este necesară o terasare sub nivelul capetelor incluziunilor (ASIRI, 2012)

(44) Este posibilă realizarea platformei de transfer și înainte de execuția incluziunilor prin realizarea excavației, execuția platformei de transfer, execuția incluziunilor și apoi execuția platformei de transfer deasupra capetelor incluziunilor (Figura 36).

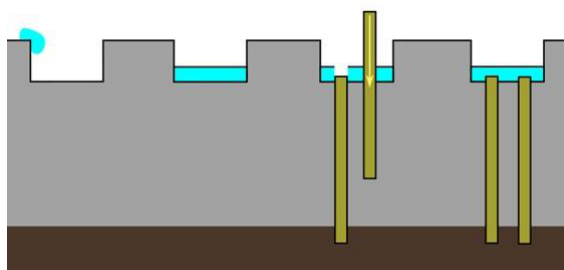


Figura 36. Execuția platformei de transfer înainte de incluziunilor (ASIRI, 2012)

(45) Dacă platforma de transfer este armată pentru execuția pernei armate se va respecta planul de punere în operă din proiect care include poziția armăturilor, distanța dintre rândurile de armături, zona de suprapunere a armăturilor etc.

(46) Punerea în operă a armăturilor se va face în conformitate cu prevederile standardului SR EN 14475.

(47) Trebuie evitat contactul direct dintre armăturile geosintetice și capetele incluziunilor. Pentru a evita deteriorarea armăturii se poate utiliza un geosintetic de protecție sau un strat de câțiva centimetri de nisip.

(48) Pentru a evita alunecarea/smulgerea armăturilor, acestea trebuie ancorate în zona perimetrală exterioră a incluziunilor (fie prin ancorare prin simplă acoperire cu pământ pe o anumită distanță, fie cu tranșee și materialul întors, fie doar cu materialul întors).

E. Controlul calității lucrărilor executate

(49) Controlul calității lucrărilor de îmbunătățire a terenului prin incluziuni rigide se realizează pe parcursul execuției și la finalizarea acesteia.

(50) Pentru incluziunile în sine controlul calității lucrărilor executate se realizează în conformitate cu prevederile standardelor de execuție aplicabile în vigoare.

(51) Pentru sistemul de îmbunătățire cu incluziuni rigide se prevăd în general încercări de control care constau în:

- încărcări de probă statice pe incluziuni izolate, fie încărcate până la rupere, fie până la depășirea sarcinii proiectate cu măsurarea deformației;
- încărcări de probă statice pe un grup de incluziuni;
- verificarea integrității și continuității incluziunilor;
- verificarea locațiilor incluziunilor;
- verificarea platformei de transfer;
- verificarea armăturilor din platforma de transfer.

(52) Încărcările de probă realizate pe incluziuni încărcate până la rupere

- (i) Încărcările de probă realizate pe incluziuni încărcate până la rupere trebuie executate pe incluziuni executate în afara celor utilizate în lucrare și sunt realizate pentru a valida parametrii de dimensionare din proiect care se referă la capacitatea portantă ultimă și/sau pentru a optimiza proiectul în conformitate cu caracteristicile reale ale terenului din amplasament și/sau cu tehnica de execuție real aplicată.
- (ii) Numărul de încărcări de probă este stabilit prin proiect în funcție de specificul amplasamentului și al proiectului.

Notă: În cazul încărcărilor de probă pe incluziuni izolate încărcate până la rupere nu există frecare negativă mobilizată, de aceea este necesară instrumentarea incluziunii testate și/sau realizarea de incluziuni de diferite lungimi pentru a putea determina curba de mobilizare a frecării.

(53) Încărcările de probă pe incluziuni din lucrare

- (i) Încărcările de probă pe incluziuni din lucrare, încărcate până la o valoare de calcul a încărcării corespunzătoare la SLS sunt realizate pentru a determina tasarea și eventualul fluaj al incluziunii sub o încărcare reprezentativă pentru condițiile de serviciu (SLS).
- (ii) Încărcarea maximă de calcul este cea calculată la nivelul planului neutru al incluziunii.
- (iii) Dacă incluziunile servesc pentru reducerea tasării la SLS, încărcarea ce trebuie aplicată în încercare este cea maximă majorată cu frecarea negativă calculată.

Notă: În cazul incluziunilor rigide care sunt decuplate de fundație, spre deosebire de piloți care sunt conectați la fundație, mobilizarea frecării negative la partea superioară a incluziunii face ca efortul maxim în incluziune să apară la nivelul planului neutral, nu la nivelul capului incluziunii așa cum se întâmplă la piloții care sunt conectați la fundație. Încărcările de probă realizate pentru controlul calității execuției trebuie să permită verificarea reacțiunii care se mobilizează prin combinarea frecării pozitive sub planul neutral și reacțiunea pe baza incluziunii, pentru a contracara frecarea negativă mobilizată deasupra planului neutral. Acest mod de comportare este dificil de surprins în încărcările de probă pe incluziuni izolate. Pentru a surmonta acest dezavantaj se aplică pe capul incluziunii o încărcare mai mare decât cea maximă prin adăugarea la aceasta din urmă a frecării negative (presupusă a fi egală cu frecarea pozitivă).

- (iv) Acest tip de încărcare de probă este obligatoriu și trebuie realizat pe un număr suficient și reprezentativ de incluziuni din lucrare.

(54) Încărcări de probă statice pe un grup de incluziuni

- (i) Pentru a putea recrea condițiile de comportare reală a incluziunilor se realizează încărcări statice de probă pe grupuri de incluziuni.

- (ii) Astfel de încercări nu sunt obligatorii, dar sunt recomandate pentru lucrări complexe în condiții speciale de teren.

- (iii) În general grupul de incluziuni de testare trebuie să format din 9 sau 16 incluziuni pentru a putea obține în zona centrală a rețelei de incluziuni condiții apropiate de cele așteptate sub construcția reală.

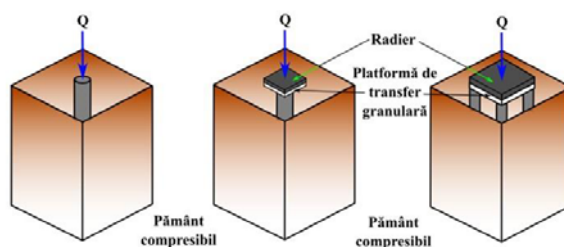


Figura 37. Moduri posibile de încărcare a incluziunilor izolate sau grupurilor de incluziuni (Briancon et al., 2018)

(55) Verificarea integrității și continuității incluziunilor

(i) Verificarea integrității și continuității incluziunilor executate este obligatorie, prin metode nedistructive sau distructive

(ii) Verificarea vizează integritatea corpului incluziunii, precum și diametrul acesteia.

(iii) Variația diametrului sau circumferinței trebuie luată în considerare dacă este de peste cca 30%.

(iv) Verificarea vizează și calitatea materialului incluziunii și se realizează în conformitate cu prevederile specifice ale reglementărilor tehnice și standardelor de execuție respective aplicabile.

(56) Verificări ale locațiilor incluziunilor

(i) În urma execuției incluziunilor se înregistrează poziția fiecăreia așa cum a fost executată, precum și devierile de la proiect.

(ii) Dacă devierile de la proiect sunt majore trebuie verificată structura din punct de vedere al comportamentului.

(57) Verificarea calității platformei de transfer

(i) Se verifică grosimea totală a platformei de transfer, precum și grosimea acesteia deasupra capetelor incluziunilor.

(ii) Frecvența măsurărilor de verificare este cea definită în caietul de sarcini.

(iii) În cazul incluziunilor realizate prin îndesare în pământuri argiloase saturate și cu distanțe mici între incluziuni se recomandă și verificarea ridicării eventuale a nivelului platformei de lucru.

(iv) Controlul platformei de transfer (calitatea materialului utilizat și controlul compactării) se face pe baza prevederilor pentru lucrări din pământ cuprinse în standardul SR EN 16907-5:2019.

(58) Verificarea armării platformei de transfer se realizează în conformitate cu prevederile standardului SR EN 14475.

D. Recepția lucrărilor

(59) Recepția lucrărilor de îmbunătățire cu coloane de pământ se face în conformitate cu reglementările tehnice aplicabile în vigoare.

5.5. Injecții și injecții cu presiune înaltă

(1) Prezentul subcapitol se aplică pentru injectarea terenurilor și injectarea cu presiune înaltă a terenurilor (jet-grouting) în conformitate cu prescripțiile standardului SR EN 12715 și, respectiv, a standardului SR EN 12716.

A. Generalități

(2) Principiu:

(i) În domeniul construcțiilor injectarea terenului de fundare face referire la introducerea unor fluide în teren cu ajutorul presiunii, capabile să modifice proprietățile fizico-mecanice ale materialelor din care acesta este alcătuit.

(ii) Injectarea se poate face:

- fără deplasarea terenului (injecții de impregnare), care constă în umplerea golurilor dintre particulele de pământ sau discontinuităților existente cu un fluid, fără rearanjarea particulelor de pământ, cu sau fără presarea și îndesarea pământului din jur. Acestea pot fi:

- injecții de penetrare

- injecții de îmbibare: are drept scop umplerea porilor existenți între granulele pământului (porozitate efectivă), fără a le deranja. Această metodă are drept scop reducerea permeabilității, creșterea densității și îmbunătățirea proprietăților mecanice. Metoda se execută de regulă la presiuni și debite reduse, controlate, pentru a evita deplasarea terenului;
- injectarea fisurilor și injectarea de contact este utilizată cu scopul de a introduce fluidul de injectare în fisurile deschise sau fracturile existente în rocă, fără a crea fisuri noi sau a le deschide mai mult pe cele existente, cu rolul de a reduce permeabilitatea și/ sau a crește rezistența terenului;

- injectii de umplere: pentru a umple goluri mari existente în teren, având origine naturală sau antropică și presupune, de regulă, injectarea unor volume mari de material la presiuni scăzute sau chiar gravitațional. De multe ori această metodă de injectare este asociată cu o metodă de injectare sub-presiune pentru a umple golurile rămase necolmatate. În raport cu volumele mari de material injectat, de regulă, pentru acesta se alege o rețetă din care să rezulte proprietăți asemănătoare cu ale terenului adiacent.
- cu deplasarea terenului, care presupune pătrunderea substanței injectate în fisuri formate datorate presiunii de injectare. Acestea pot fi:
 - fracturare hidraulică (clacare): procedeul se utilizează de regulă pentru a stabiliza pământurile sau rocile, de a le etanșa sau pentru a consolida și ridica anumite structuri. Pentru a obține rezultate optime procedeul este aplicat în mai multe etape, la intervale diferite de timp.
 - injectarea solidă: introducerea în teren a unui fluid relativ vâscos, pentru a provoca deplasarea și deformarea acestuia. Fluidul este împins prin presiune prin tuburile de injectare. Consistența fluidului este pregătită astfel încât fluidul rămâne ca o masă omogenă pentru ca nici penetrarea și nici fracturarea hidraulică să nu se producă asupra terenului. În cele mai multe cazuri, injectarea solidă este folosită pentru a compacta și densifica terenurile afânate, precum și pentru a ridica sau susține structuri care s-au tasat.
 - injectarea de compensare este utilizată atunci când obiectivul injectării este de a compensa pierderile de volum ale terenului din cauza rezultatului unor lucrări ingineresti (excavații adânci, tuneluri) sau consolidarea unui teren compresibil, astfel încât pierderea de volum să fie compensată sau redusă. Aceasta se execută în două etape, injectare inițială pentru pregătirea terenului (consolidare inițială) și o injectare secundară care generează deplasarea terenului.
 - injectarea cu presiune înaltă a terenurilor (jet grouting) constă în a dezagrega un pământ sau o rocă friabilă prin intermediul unui jet de fluid și a le amesteca, sau a le înlocui parțial cu un agent de cimentare. Prin acest procedeu rezultă coloane (integrale sau parțiale), panouri, voaluri, radiere sau bolți din pământ – ciment. Tehnologia de injectare cu presiune înaltă a terenurilor se împarte în 3 metode, după cum urmează:
 - jet simplu în care dezagregarea și cimentarea pământului se realizează printr-un jet de înaltă presiune constituit dintr-un singur fluid, de regulă suspensie de ciment;
 - jet dublu în care dezagregarea și cimentarea pământului se realizează printr-un jet de înaltă presiune (constituit de regulă din suspensie de ciment), dublat (înconjurat la exterior) de un jet de aer;
 - jet triplu în care dezagregarea și pământului se realizează printr-un jet de apă de înaltă presiune, dublat de un jet de aer, iar cimentarea se face simultan printr-un jet separat constituit de regulă din suspensie de ciment;
- (3) Rezultate vizate:
 - (i) Principalele obiective ale injectării fără deplasarea terenului sunt:
 - modificarea caracteristicilor hidraulice/hidrogeologice ale terenului;
 - modificarea proprietăților fizico-mecanice ale terenului;
 - umplerea cavităților naturale, a lucrărilor miniere, a golurilor adiacente structurilor;
 - inducerea deplasărilor pentru a compensa pierderile de teren sau pentru a stabiliza și ridica fundațiile, plăcile și pardoselile.
 - (ii) Principalele obiective ale injectării cu presiune înaltă sunt:
 - execuția de fundații noi;

- subzidirea fundațiilor existente;
 - execuția de ecrane cu permeabilitate redusă;
 - execuția structurilor de sprijin;
 - consolidarea unui masiv de pământ.
- (iii) Principalele obiective ale injectiilor solide sunt:
- creșterea gradului de îndesare;
 - îmbunătățirea caracteristicilor mecanice ale terenului prin compactare și ranforsare prin prezența unor elemente de tip incluziuni semi-rigide sau rigide (în funcție de caracteristicile mortarului utilizat) rezultate prin această tehnică;
 - crearea unor elemente de fundare în cazul subzidirilor.
- (iv) Principalele obiective ale injectiilor de compensare sunt reducerea sau inversarea pierderii de volum datorată execuției unor lucrări precum excavații adânci sau tuneluri sau datorată consolidării terenurilor compresibile.
- (4) Domeniu de aplicare: Principalele domenii de aplicare sunt îmbunătățirea etanșeității și consolidarea terenurilor:
- lucrări de impermeabilizare: voaluri de etanșare la baraje, radiere injectate, tuneluri;
 - lucrări de consolidare: pentru traversarea de zone cu terenuri dificile, reabilitarea zidărilor, a fundațiilor și altor lucrări de construcție, subzidiri, ridicarea construcțiilor, îmbunătățirea capacității portante a terenurilor de fundare a fundațiilor de suprafață, tratamentul masivelor de teren deasupra bolților lucrărilor subterane, injectii în fața frontului în timpul execuției tunelurilor, reducerea potențialului de lichefiere etc.
- (5) Limitări:
- (i) Îmbunătățirea prin injectii este condiționată de dimensiunea porilor terenului și de sarcina geologică existentă.
- (ii) Fiecărei fracțiuni granulometrice îi corespunde unul sau mai multe materiale sau tehnici care sunt adaptate pentru injectie în condiții optime din punct de vedere tehnic și economic. Cu titlu informativ, în Figura 38 sunt prezentate variantele orientative de alegere a metodelor de injectare în funcție de granulozitatea și permeabilitatea pământurilor.

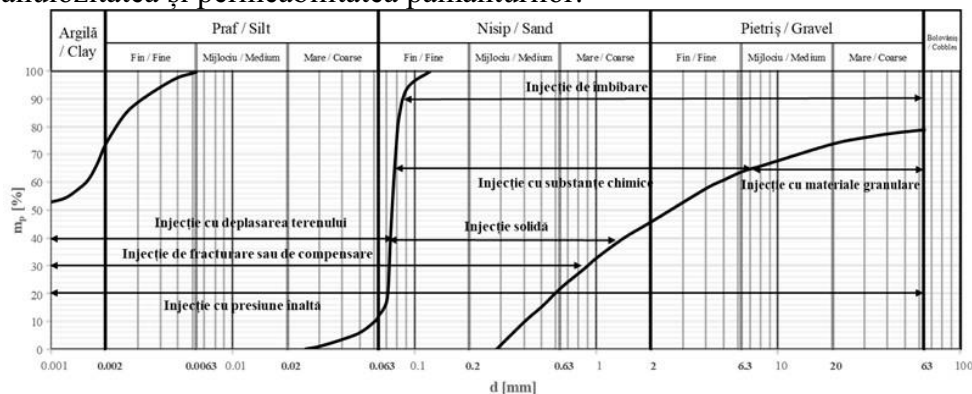


Figura 38. Clasificarea generală a metodelor de injectare și aplicabilitatea lor în funcție de granulozitatea și permeabilitatea pământurilor (FHWA Geotechnical Engineering Circular (GEC) 013 Ground Modification Methods Reference Manual V. 1 and 2 (2017))

- (iii) Produsele chimice și organice au aplicabilitate mai redusă datorită restricțiilor de mediu.
- (iv) Pentru tehnologia de injectare cu presiune înaltă diametrul rezultat al coloanelor formate variază în funcție de tehnologia de execuție (jet simplu, dublu sau triplu) și de caracteristicile terenului.
- (v) Limitele tehnicii de injectie cu presiune înaltă sunt date de gestiunea detritusului rezultat, necesitatea de a avea spațiu pentru realizarea de tranșei sau rezervoare de recuperare și de preparare a fluidului de injectie, precum și de riscul de infiltrație în zonele vecine.
- (vi) Injectiile solide se execută în terenuri granulare deasupra sau sub nivelul apei subterane, dar pot fi aplicate și pentru compactarea pământurilor colapsibile, precum loessul, în argile și prafuri moi nesaturate.

(vii) Pentru a putea aplica injecțiile solide este necesar ca terenul să nu fie foarte compact (valori ale rezistenței pe con în încercarea CPT de maximum 8 MPa pentru un nisip și de maximum 2 MPa pentru un praf).

(viii) În cazul injecțiilor solide, dacă presiunea de injecție este mare este necesară o coloană minimă de pământ deasupra zonei de injecție (de regulă 4 – 5 m) pentru a se opune presiunii de injecție. În cazul terenurilor foarte afânate poate fi necesară tratarea prealabilă a zonei de pământ de deasupra prin alte metode (de exemplu, prin compactare dinamică).

B. Materiale utilizate

(6) Tipul și compoziția fluidului de injectare trebuie să fie alese în funcție de stratificația terenului și de specificul lucrărilor.

(7) Fluidele de injecție pot fi grupate în două categorii:

- fluide de injecție pe bază de lianți hidraulici în suspensie și
- fluide de injecție pe bază de substanțe chimice în soluție.

(8) Pentru injecțiile solide de umplere a golurilor de mari dimensiuni pot fi utilizate și mortare de ciment.

(9) Aplicabilitatea diferitelor materiale de injecție pentru diferite terenuri și tipuri de injecții este indicată în standardul SR EN 12715.

(10) Parametrii caracteristici ai fiecărui tip de material sunt indicați în standardul SR EN 12715.

(11) Fluidele de injecție pe bază de lianți hidraulici în suspensie:

- (i) conțin unul sau mai multe produse solide dispersate în apă (ciment, argile, aditivi etc.).
- (ii) se caracterizează prin raportul A/C (apă/ciment) sau prin raportul dintre masa uscată și masa apei.

(iii) domeniul de aplicabilitate este ilustrat în Figura 39.

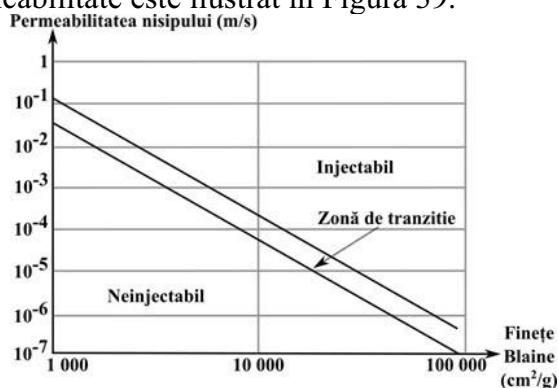


Figura 39. Domeniul de injectabilitate al fluidelor pe bază de lianți hidraulici în suspensie (Briancon et al., 2018)

(iv) Pot fi:

- suspensii bentonită – ciment,
- suspensii de ciment sau lianți hidraulici ultrafini și aditivi.

(12) Fluidele de injecție pe bază de substanțe chimice în soluție pot fi:

- geluri și suspensii de siliciu, care conțin reactivi pentru gelificare minerali sau organici. Pentru caracterizarea acestora se utilizează raportul dintre volumul de apă și cel de silicat și raportul dintre masa reactivului și volumul de silicat. Cele două rapoarte arată durabilitatea și rezistența;
- fluide pe bază de rășini sau alte substanțe chimice: rășini fenolice, aminoplaste sau furanice sau rășini poliuretanice (geluri, spume, solide, sisteme reactive la apă sau sisteme bi-component).

(13) Pentru injecția cu presiune înaltă de regulă se utilizează fluide (suspensii) de apă și ciment, cu raportul apă/ciment între 0,5 și 1,5. Se pot adăuga aditivi reducători de apă, stabilizatori, plastifianți, adaosuri de etanșizare sau împotriva spălării. Alte materiale, precum bentonita, filerul, cenușa de termocentrală pot fi adăugate amestecului de injectare. Când în amestec se utilizează

bentonită se recomandă ca suspensia de apă și bentonită să fie preparată înainte de a se adăuga cimentul.

Valori tipice ale parametrilor de injecție sunt indicate în Tabelul 2.

Tabelul 2. Valori tipice pentru parametrii de injecție (SR EN 12716)

Parametru	simbol	unitate	sistem		
			jet simplu	jet dublu	jet triplu
treaptă de ridicare	Δs	mm	40-50	40-80	40-100
viteză medie de ridicare	v_r	mm/s	4-10	1-8	0.5-5
viteză de rotație	ω	rpm	5-40	3-30	1-40
diametrul duzei	d	mm	2-8	2-8	2-8
numărul de duze	M	-	1-2	1-2	1-2
presiunea de injecție	p_g	MPa	30-55	20-40	2-10
presiunea aerului	p_a	MPa	-	0.5-2	0.5-2
presiunea apei	p_w	MPa	-	-	20-55
debitul de injecție	Q_g	L/s	2-10	2-10	2-5
debitul de aer	Q_a	L/s	-	200-300	200-300
debitul de apă	Q_w	L/s	-	-	0.5-2.5
raportul masă apă/ciment	A/C	-	0.6-1.25	0.6-1.25	0.4-1

(14) În cazul injecțiilor solide se utilizează mortare a căror compoziție variază în funcție de scopul acestora, dar care trebuie să:

- aibă o consistență solidă cu o lucrabilitate măsurată cu conul Abrams < 10;
- să poată fi pompat;
- să nu producă clacarea (fracturarea hidraulică) a terenului;
- să nu blocheze prea devreme expansiunea coloanei formate;
- să aibă o filtrare redusă.

(15) Mortarele pentru injecții solide sunt constituite din nisip (0 - 2 mm sau 0 - 4 mm), de preferință rulat, la care se adaugă, după necesități, parte fină, ciment sau filere de calcar, cenuși zburătoare etc., posibil o doză redusă de bentonită (1 - 2 kg/m³ de mortar) pentru a îmbunătăți capacitatea de a fi pompat și/sau alți aditivi (întăzietori de priză, plastifianți etc.).

(16) Pentru toate materialele de injecție trebuie analizată durabilitatea lor în timp.

C. Studii și încercări necesare pentru execuție

(17) Pentru lucrările de îmbunătățire a terenului prin injecții sunt necesare poligoane experimentale care să permită testarea metodelor de execuție intenționate și verificarea obținerii parametrilor stabiliți prin proiect.

D. Execuție

(18) Execuția lucrărilor de injecții se face în conformitate cu prevederile standardului SR EN 12715 și a standardului SR EN 12716.

E. Controlul calității execuției

(19) Controlul calității execuției lucrărilor de injecții se realizează în timpul execuției și la finalizarea acesteia, în conformitate cu prevederile standardelor corespunzătoare de execuție SR EN 12715 și SR EN 12716.

(20) Este necesară urmărirea continuă și automată a parametrilor de injecție în timpul execuției și interpretarea acestora în timp real pentru a identifica devierile sau anomaliile.

F. Recepția lucrărilor

(21) Recepția lucrărilor de îmbunătățire prin injecții se face în conformitate cu reglementările tehnice aplicabile în vigoare.

5.6. Malaxare de adâncime

(1) Acest paragraf tratează metodele de malaxare în adâncime, cele de suprafață fiind tratate în Partea a II-a a acestei reglementări tehnice.

A. Generalități

(2) Principiu: Malaxarea terenului din loc în adâncime (adâncime minimă 3 m) cu lianți hidraulici pentru a forma un nou material. Această tehnică permite realizarea de incluziuni semi-rigide, de ecrane cu permeabilitate redusă, de ziduri sau pereți de sprijin sau de coloane, precum și stabilizarea unei mase de pământ.

(i) Încorporarea lianților se poate face pe cale uscată (lianți sub formă de pulbere) sau pe cale umedă (lianți sub formă de fluid).

(ii) Malaxarea poate fi mecanică sau hidraulică sau mecanică și hidraulică.

(iii) Injecția de liant se poate face la extremitatea utilajului de malaxare sau de-a lungul acestuia.

(iv) Utilajul de malaxare poate avea pale rotative pe un singur ax vertical sau pe mai multe sau pe un ax orizontal, poate malaxa într-o tranșee sau poate utiliza cuțite rotative. Utilajele cu axe rotative verticale permit crearea de coloane de teren malaxat cu lianți. Utilajele care sunt asistate de un jet hidraulic permit mărirea diametrului coloanei rezultate. Utilajele cu ax orizontal permit realizarea de panouri. Pentru realizarea de zone lineare de îmbunătățire sunt aplicabile tehnologiile în tranșee. În Anexa A a standardului SR EN 14679 se poate consulta o clasificare generală a echipamentelor utilizate pentru malaxarea în adâncime.

(v) Malaxarea pe cale uscată se realizează prin utilizarea unui echipament de malaxare atașat unei tije, care este introdus în teren pentru a forfecă pământul și a-l pregăti pentru malaxare. Când este atinsă adâncimea dorită, tija se retrage și, în același timp, liantul sub formă granulară sau pulverulentă este introdus pe cale pneumatică la baza utilajului de malaxare. Palele utilajului se rotesc în plan orizontal și amestecă liantul cu pământul (Figura 40).

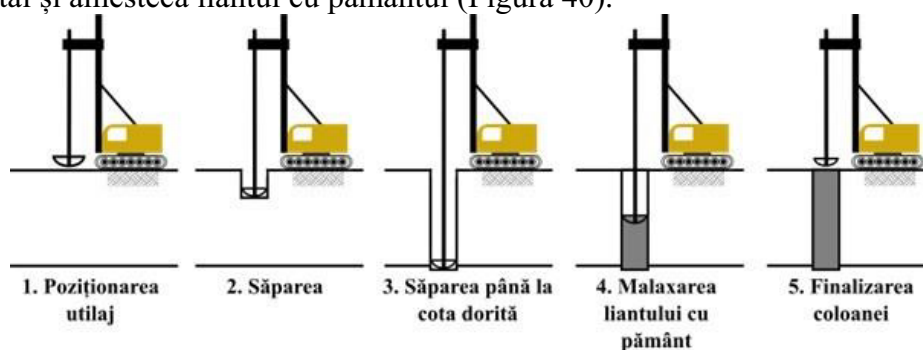


Figura 40. Etapele de execuție a coloanelor malaxate în adâncime pe cale uscată (Briancon et al., 2018)

(vi) O variantă a malaxării pe cale uscată este stabilizarea în masă, care presupune malaxarea pământului din loc (argilă, turbă, mîl, sedimente dragate sau pământ contaminat) cu liant hidraulic în stare pulverulentă cu ajutorul unui echipament de malaxare atașat unui excavator (Figura 41). Se obține o masă de pământ malaxat pe o suprafață mare.



Figura 41. Tehnica de stabilizare în masă pe cale uscată (Briancon et al., 2018)

(vii) Malaxarea pe cale umedă se realizează urmând aceleași etape ca la (ii), dar după atingerea adâncimii dorite se introduce liantul sub formă de suspensie (Figura 42). Suspensia este preparată pe amplasament și este pompată până la utilajul de malaxare, care poate avea una sau mai multe duze de injecție. În funcție de tipul de pământ și de suspensia utilizată, se creează un amestec asemănător mortarului, care se întărește în timpul procesului de hidratare. În Europa, execuția coloanelor prin

metoda umedă de malaxare în adâncime se realizează cu ajutorul burghiului/burghiurilor elicoidale (continue sau din secțiuni, simple sau multiple), sau cu ajutorul unor lame/cuțițe.

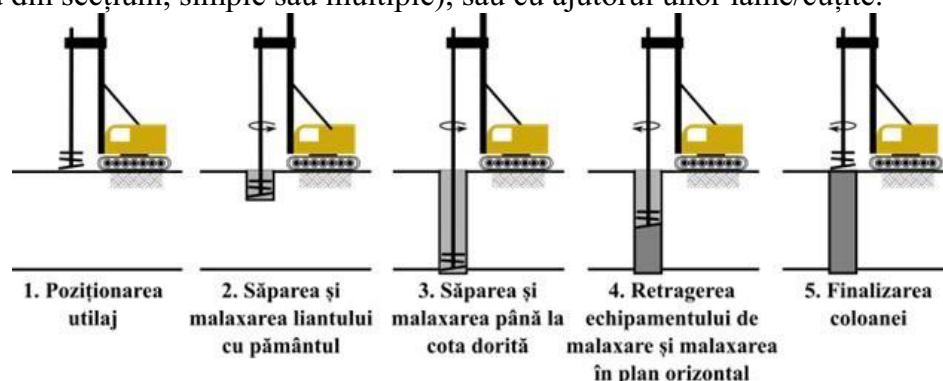


Figura 42. Etapele de execuție a coloanelor malaxate în adâncime pe cale umedă (Briancon et al., 2018)

(viii) Există și alte tehnici care utilizează proceduri asemănătoare malaxării în adâncime. Aceste metode, denumite metode hibride, sunt într-o continuă dezvoltare pentru a aborda condiții geotehnice complexe. Ele combină malaxarea hidraulică cu jet și cea mecanică (a se vedea Anexa A a standardului SR EN 14679).

(ix) În urma aplicării malaxării în adâncime rezultă geometrii variate: coloane dispuse tangent într-un șir, coloane dispuse în nodurile unei rețele triunghiulare sau pătrate, coloane secante care formează diferite forme geometrice, panouri, barete, rețele tridimensionale, forme inelare etc. (a se vedea Anexa A a standardului SR EN 14679).

(3) Rezultate vizate: sporirea caracteristicilor mecanice și modificarea permeabilității terenului.

(4) Domeniu de aplicare:

(i) Îmbunătățirea prin malaxarea de adâncime poate fi utilizată pentru o varietate de aplicații:

- fundații pentru rambleuri și diguri, clădiri, rezervoare, culei de pod etc.;
- ziduri de sprijin;
- ecrane de etanșare pentru baraje și diguri;
- zonele de intrare și ieșire ale tunelurilor;
- radieră injectate din coloane sau barete secante;
- subzidiri;
- susținerea excavațiilor;
- stabilizarea pantelor;
- reducerea potențialului de lichefiere;
- tratarea in situ a terenurilor contaminate;
- izolarea terenurilor contaminate;
- tratarea deșeurilor;
- îmbunătățirea terenurilor de fundare ale structurilor marine, off-shore.

(ii) Structurile rezultate în urma aplicării malaxării în adâncime pot avea rol temporar sau permanent. În Figura 43 este prezentată o schemă a domeniilor de aplicare cu rol temporar sau permanent.

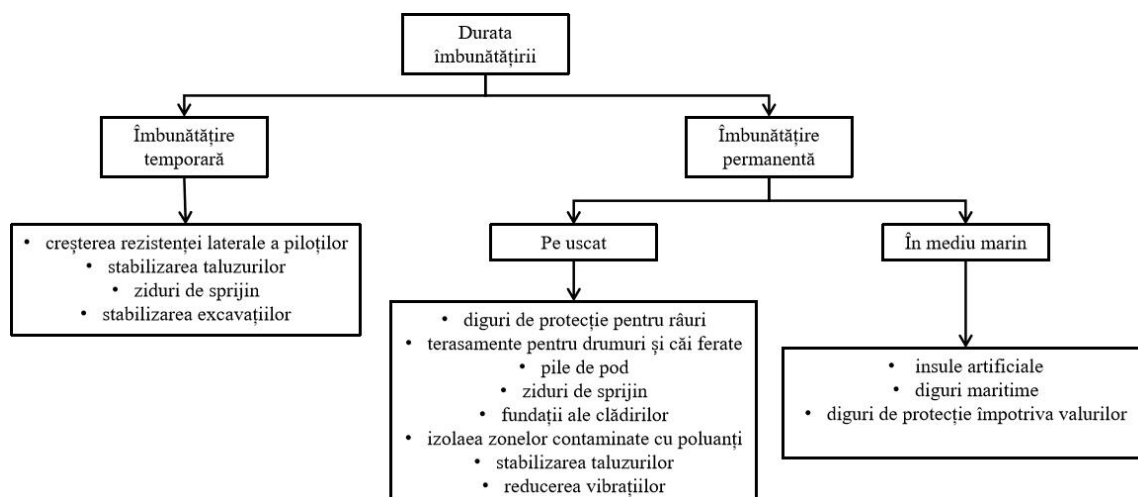


Figura 43. Domenii de aplicare a tehnologiei de malaxare în adâncime (adaptare după SR EN 14679)

(iii) Tehnica de malaxare în adâncime se aplică tuturor tipurilor de pământuri, granulare, coezive, organice, poluate.

(iv) Tehnica de malaxare în adâncime nu produce detritus sau cantitățile produse pe cale umedă sunt relativ reduse (cresc cu impermeabilitatea terenului), de aceea poate fi adaptată acolo unde este necesară limitarea impactului asupra mediului.

(v) Tehnica de malaxare în adâncime nu produce vibrații, de aceea este adaptată și mediului urban construit.

(5) Limite:

(i) pământul care urmează a fi îmbunătățit nu trebuie să fie foarte compact sau îndesat și nici să aibă elemente de dimensiunea blocurilor;

(ii) tehnica este dificil de aplicat dacă stratul de pământ de îmbunătățit este afânat sau moale și este dispus între straturi bune care nu necesită îmbunătățire;

(iii) pentru execuția acestui procedeu este necesară o platformă de lucru cu portanță suficientă pentru a suporta utilajele;

(iv) pentru pământuri impermeabile tehnica malaxării pe cale umedă produce cantități mai importante de detritus, deși mai mici ca pentru alte tehnici de îmbunătățire;

(v) procedeul nu permite execuția în contact cu o structură existentă;

(vi) materialul rezultat după malaxare nu este foarte omogen, prezentând noduli de material nemalaxat, al căror procent depinde nu doar de tehnica de malaxare, ci și de tipul de pământ (procentul este mult mai mare în argile decât în prafuri sau nisipuri, pentru care acesta e cel mai scăzut);

(vii) adâncimea maximă depinde mult de procedeu și de utilaj:

- în cazul malaxării în masă adâncimea maximă este de cca 8 m;
- pentru coloanele malaxate în adâncime adâncimea maximă este de 40 m;
- tehnicile de malaxare în tranșee pot ajunge la adâncimi maxime de 80 m.

(viii) Limitele diferitelor tehnici, procedee și utilaje sunt prezentate în Anexa A a standardului SR EN 14679.

B. Materiale utilizate

(6) Malaxarea în adâncime presupune adăugarea mecanică a unui liant în teren și, în cazul în care este necesar, a unuia sau mai multora dintre următoarele componente:

- aditivi – materiale care produc reacții chimice, precum: var, ciment, gips, cenușă de furnal etc.;
- apă;
- filer – care nu produc reacții chimice, precum: nisip, praf de calcar, etc.;
- armătură structurală – se pot introduce bare de oțel, carcase metalice sau profile metalice în coloanele sau elementele realizate proaspăt, pe loc, prin vibrație.

(7) Lianții hidraulici utilizați sunt: var, ciment, zgură de furnal, cenuși zburătoare, lianți puzzolanici, gips etc.

(8) Tipul de liant utilizat trebuie determinat în funcție de condițiile din amplasament, de tipul de teren, de aplicație.

(9) Lianții utilizați trebuie să prezinte caracteristici suficiente de rezistență față de agresiunea chimică din zona de execuție.

(10) Toate materialele utilizate pentru malaxarea în adâncime trebuie să respecte prevederile standardului SR EN 14679, ale standardelor de material corespunzătoare, precum și specificațiile din proiect. De asemenea, trebuie să respecte reglementările tehnice în materie de protecția mediului aplicabile.

(11) Malaxarea pe cale umedă:

(i) cele mai frecvente suspensii de lianți sunt amestecuri de ciment Portland și apă;

(ii) bentonita poate fi utilizată în suspensii în cantități de sub 10% bentonită (din masa totală de liant adăugat) pentru obținerea unor suspensii stabile și reducerea permeabilității pământului îmbunătățit;

(iii) raportul apă/lianți pentru suspensiile de ciment Portland variază între 0,5 și 2,5, cele mai frecvente rapoarte fiind între 0,8 și 1,8;

(iv) suspensiile concentrate (raport apă/liant scăzut) sunt utilizate în terenuri argiloase cu consistență redusă (cu umiditate naturală ridicată);

(v) suspensiile diluate (raport apă/liant mare) sunt utilizate în pământuri necoezive amplasate deasupra nivelului freatic și în pământuri argiloase tari;

(vi) rezistențele pământurilor îmbunătățite sunt mai mari atunci când se utilizează suspensii cu raport apă/liant mai redus;

(vii) alegerea amestecului trebuie să țină cont de tipul pământului și de umiditatea naturală din amplasament;

(viii) cantitatea de apă și suspensie se stabilește astfel încât să fie asigurată condiția de hidratare a liantului, cât și necesarul de reducere/creștere a umidității terenului din amplasament;

(ix) În Tabelul 3 sunt prezentați, cu caracter orientativ, lianții utilizați pentru malaxarea pe cale umedă:

Tabelul 3. Lianți utilizați pentru metoda de malaxare pe cale umedă (Briancon et al., 2018)

Tip de pământ	Tip de liant
Pietriș curat	Ciment Ciment + zgură
Pietriș cu praf sau argilă	Ciment Ciment + zgură
Nisip curat	Ciment Ciment + zgură
Nisip prăfos sau argilos	Ciment Ciment + zgură
Praf neorganic	Ciment Ciment + zgură Ciment + cenușă
Argilă neorganică	Ciment Ciment + zgură Ciment + cenușă
Pământ fin moderat organic	Ciment + zgură
Pământ foarte organic	Ciment + zgură
Turbă	Ciment + zgură
Cretă moale sau foarte alterată	Ciment + zgură Ciment + cenușă

(12) Malaxare pe cale uscată:

(i) pentru malaxarea în uscat se folosește în general ciment și var, sau combinații ale acestora;

(ii) adăugarea lianților în stare uscată (pulbere) creează amestecuri pământ-ciment cu un raport apă/ciment redus, asigurând astfel cea mai mare rezistență și cea mai redusă permeabilitate pentru amestecul rezultat.

(iii) În Tabelul 4 sunt prezentați, cu caracter orientativ, lianții utilizați pentru malaxarea pe cale uscată:

Tabelul 4. Lianți utilizați pentru metoda de malaxare pe cale uscată (Briancon et al., 2018)

Tip de pământ	Tip de liant
Praf neorganic	Var + ciment Ciment + zgură
Argilă neorganică	Var Var + ciment Ciment + zgură
Pământ fin moderat organic	Ciment + zgură
Pământ foarte organic	Ciment + zgură
Turbă	Ciment + zgură

(13) Cimenturi:

(i) Cimenturile utilizate trebuie să fie conforme cu prevederile standardului SR EN 197-1 și 2.

(ii) Cimenturile utilizate în mod uzual sunt cimentul Portland tip I și II. Cimentul din zgură granulară de furnal poate înlocui o parte din cimentul Portland, fiind eficient atunci când metoda de îmbunătățire se utilizează în pământurile care conțin apă sărată sau atunci când pământul are conținut ridicat de materii organice.

(iii) Cenușa puzzolanică este utilizată ocazional ca material suplimentar în amestecurile pe bază de ciment Portland, de obicei în procent de sub 25% din cantitatea totală de liant.

(14) Var:

(i) Varul utilizat trebuie să fie conform cu prevederile standardului SR EN 459-1 și 2,

(ii) În contactul cu pământul umed varul nestins absoarbe umiditate și devine var stins.

(15) Alți lianți:

(i) zgură de furnal: se poate utiliza pentru a reduce reacția exotermă din timpul prizei și aduce mai puțină rezistență pe termen scurt față de clincher; când este utilizat singur necesită un activator de priză;

(ii) cenușă zburătoare și puzzolanică.

C. Studii și încercări necesare pentru execuție

(16) Pentru lucrările de îmbunătățire a terenului cu prin malaxare în adâncime este, în general, necesară realizarea de poligoane experimentale pentru definirea sau verificarea parametrilor de execuție și a posibilității de atingere a obiectivelor stabilite prin proiect.

(17) Parametrii de execuție urmăriți sunt:

- viteza de penetrare și de ridicare a echipamentului de malaxare;
- viteza de rotație a echipamentului de malaxare;
- presiunea aerului, în cazul malaxării pe cale uscată;
- viteza de alimentare cu liant în stare uscată sau fluid.

(18) Pentru determinarea parametrilor materialului rezultat din malaxare pe poligonul experimental sunt realizate încercări pe probe prelevate din elementele rezultate și încercarea lor în laborator, atât în stare proaspătă (înainte de priză), cât și după întărire.

D. Execuție

(19) Execuția lucrărilor de îmbunătățire a terenului prin malaxare în adâncime se realizează în conformitate cu prevederile din standardul SR EN 14679.

(20) Pentru execuția malaxării în adâncime este necesară identificarea tuturor posibilelor obstacole supraterane și subterane care ar putea împiedica execuția.

(21) Înaintea demarării execuției malaxării în adâncime este necesară realizarea unei platforme de lucru care să asigure accesul utilajelor, să asigure o capacitate portantă suficientă pentru acestea și pentru stocarea materialelor necesare.

(22) Lianții utilizați la lucrările de malaxare în adâncime trebuie protejați de umezire.

(23) Execuția elementelor rezultate prin malaxare în adâncime (coloane, pereți etc.) trebuie executate în conformitate cu locațiile și elementele geometrice prevăzute în proiect și ținând cont de toleranțele prevăzute prin caietul de sarcini.

E. Controlul calității lucrărilor executate

(24) Controlul calității lucrărilor de malaxare în adâncime se realizează în timpul execuției și la finalizarea acesteia.

(25) În timpul execuției trebuie controlați cel puțin următorii parametri:

- cantitatea de liant încorporată (masă de liant în stare uscată pe metru liniar de coloană sau volum de fluid pe metru liniar, de exemplu);
- indicele de malaxare care este afișat în funcție de adâncime și care depinde de parametrii de execuție.

(26) Parametrii de execuție de controlat în timpul execuției sunt cei prevăzuți în standardul SR EN 14679 Tabelul 1.

(27) Controlul calității lucrărilor executate la finalul execuției are ca scop verificarea geometriei și a caracteristicilor elementelor rezultate prin malaxare de adâncime.

(28) Acolo unde este posibil se poate verifica vizual calitatea materialului rezultat din malaxare și continuitatea elementelor rezultate, prin dezveliri.

(29) Pentru verificarea caracteristicilor materialului rezultat prin malaxare se pot utiliza încercări de laborator pe probe prelevate din materialul malaxat (în general, încercări de compresiune monoaxială) sau încercări pe teren, precum penetrometrul static sau dinamic.

(30) Metodele de încercare trebuie adaptate scopului lucrărilor de îmbunătățire:

- (i) pentru reducerea tasărilor, interesul principal constând în determinarea modulului de deformare liniara al terenului îmbunătățit;
- (ii) pentru stabilitate și eliminarea riscului de cedare, interesul principal constă în determinarea rezistenței la forfecare a coloanelor;
- (iii) în cazurile de impermeabilizare sau stabilizare a pământurilor poluate, determinante sunt dispoziția în plan a coloanelor și permeabilitatea redusă.

(31) Probele sunt prelevate din coloanele de îmbunătățire sau din masa de pământ îmbunătățită, cu ajutorul unui utilaj de foraj. Probele din teren pot fi folosite pentru a determina: granulozitatea (dacă este posibil), caracteristicile de deformabilitate, rezistența la compresiune și la forfecare și uniformitatea materialului.

(32) Pentru prelevarea probelor din coloanele malaxate se recomandă forajul rotativ cu triplu carotier sau foraj cu preluare a carotei pe cablu (wire-line) cu diametru probei mai mare sau egal cu 48 mm. Pentru prelevare se recomandă minim 3 carotaje pentru o lucrare. Prelevarea probelor ar trebui să se facă pe toata lungimea îmbunătățită.

(33) Pentru determinarea rezistenței materialului rezultat din malaxare se recomandă încercarea la diferite grade de maturizare: 7 zile, 14 zile, 21 zile și 28 de zile.

(34) Pot fi utilizate suplimentar și metode geofizice pentru a caracteriza de o manieră globală proprietățile masivului de teren îmbunătățit: refracție seismică, MASW, metode electrice, alte metode seismice.

(35) Dacă terenul îmbunătățit este utilizat pentru fundații pentru care este necesară determinarea capacității portante, este posibilă realizarea de încărcări de probă (similar cu piloții sau incluziunile rigide sau semi-rigide). Trebuie însă acordată atenție valorii capacității portante structurale a elementului în sine, care poate fi depășită în cursul încărcării de probă.

F. Recepția lucrărilor

(36) Recepția lucrărilor de îmbunătățire prin malaxare în adâncime se face în conformitate cu reglementările tehnice aplicabile în vigoare.

EDITOR: PARLAMENTUL ROMÂNIEI — CAMERA DEPUTAȚILOR



„Monitorul Oficial” R.A., Str. Parcului nr. 65, sectorul 1, București; 012329
C.I.F. RO427282, IBAN: RO55RNCB0082006711100001 BCR
și IBAN: RO12TREZ7005069XXX000531 DTCPMB (alocat numai persoanelor juridice bugetare)
Tel. 021.318.51.29/150, fax 021.318.51.15, e-mail: marketing@ramo.ro, www.monitoruloficial.ro
Relații cu publicul: șos. Panduri nr. 1, bloc P33, sectorul 5, București; 050651.
Tel. 021.401.00.73, 021.401.00.78/79/83.
Pentru publicări, încărcări actele pe site, la: <https://www.monitoruloficial.ro>, secțiunea Publicări.

