ANEXĂ

NORMATIV PRIVIND DETERMINAREA VALORILOR CARACTERISTCE ŞI DE CALCUL ALE PARAMETRILOR GEOTEHNICI, indicativ NP 122: 2010

CUPRINSUL

1. GENERALITĂŢI **6**

1.1. Obiect şi domeniu de aplicare
1.2. Condiţii de aplicare. Nivel de siguranţă
1.3. Termeni şi definiţii
1.4. Referinţe normative

2. PRINCIPII ÎN STABILIREA VALORILOR PARAMETRILOR GEOTEHNICI **8**

2.1. Modalităţi de determinare a parametrilor geotehnici
2.2. Cerinţe privind determinarea valorilor parametrilor geotehnici
2.3. Factorii care pot influenţa în mod semnificativ valorile parametrilor geotehnici

3. VALORI CARACTERISTICE ALE PARAMETRILOR GEOTEHNICI **11**

3.1. Definirea valorilor caracteristice şi selectarea datelor
3.2. Stabilirea valorilor caracteristice cu ajutorul metodelor statisticii matematice
3.3. Stabilirea pe cale indirectă a valorilor caracteristice pe baza corelaţiilor cu unele încercări
3.4. Stabilirea valorilor caracteristice pe baza măsurătorilor privind comportarea structurilor geotehnice realizate
3.5. Stabilirea valorilor caracteristice pe baza datelor documentare

4. VALORI DE CALCUL ALE PARAMETRILOR GEOTEHNICI **22**

ANEXA A.1 EXEMPLE DE UTILIZARE A VALORILOR CARACTERISTICE INFERIOARE (Xk_{inf}) ŞI SUPERIOARE (Xk_{sup}) ALE PARAMETRILOR GEOTEHNICI **24**

ANEXA A.2 EXEMPLE DE UTILIZARE A VALORILOR CARACTERISTICE STABILITE CA ESTIMĂRI PRUDENTE ALE MEDIEI (φ_k, c_k) SAU CA ESTIMĂRI PRUDENTE ALE VALORILOR MINIME ($\varphi_{k\,loc}$, $c_{k\,loc}$) PENTRU UNGHIUL DE FRECARE INTERNĂ ŞI COEZIUNE **25**

ANEXA A.3 RECOMANDĂRI PENTRU STABILIREA VALORILOR DERIVATE ALE UNOR PARAMETRI GEOTEHNICI DETERMINAŢI PRIN ÎNCERCĂRI **26**

ANEXA A.4 VALORI RECOMANDATE ALE COEFICIENTULUI DE VARIAŢIE Vx cunoscut PENTRU UNELE CATEGORII DE PĂMÂNTURI (1) **28**

ANEXA A.5 EXEMPLU DE CORELAŢII STABILITE ÎNTRE MODULUL DE DEFORMAŢIE LINEARĂ (E) ŞI REZISTENŢA PE CON (qc) LA PENETRAREA STATICĂ – CPT **29**

ANEXA A.6 TABELE CU VALORI CARACTERISTICE RECOMANDATE PENTRU CALCULE GEOTEHNICE PRELIMINARE **33**

ANEXA B REFERINŢE **36**

NORMATIV PRIVIND DETERMINAREA VALORILOR CARACTERISTICE ŞI DE CALCUL ALE PARAMETRILOR GEOTEHNICI, INDICATIV NP 122: 2010

1. GENERALITĂŢI

1.1. Obiect şi domeniu de aplicare

1.1.1. Prezentul normativ tratează modul în care se stabilesc valorile caracteristice şi valorile de calcul ale parametrilor geotehnici ai pământurilor care alcătuiesc terenul de fundare al construcţiilor sau care intră în alcătuirea lucrărilor de construcţii.

1.1.2. Parametrii geotehnici servesc în special la *proiectarea geotehnică prin calcul.*

Valorile parametrilor geotehnici pot servi, de asemenea, la identificarea şi clasificarea straturilor de pământ în cazul proiectării geotehnice bazată pe măsuri prescriptive.

1.2. Condiţii de aplicare. Nivel de siguranţă

1.2.1. Definirea parametrilor geotehnici şi modul de stabilire a valorilor caracteristice şi de calcul din prezentul normativ sunt în concordanţă cu conceptul stărilor limită şi cu principiile cuprinse în sistemul de standarde europeane, Eurocod, adoptat prin seria de standarde române SR EN 1990 ... SR EN 1999.

Valorile de calcul ale parametrilor geotehnici stabilite în prezentul normativ se utilizează în proiectarea prin calcul împreună cu valorile de calcul ale acţiunilor, ale rezistenţelor materialelor, ale rezistenţelor elementelor structurale şi ale datelor geometrice definite în seria de standarde SR EN 1990.... SR EN 1999.

1.2.2. Nivelul de siguranţă adoptat în stabilirea valorilor caracteristice şi de calcul ale parametrilor geotehnici conform prezentului normativ corespunde nivelului minim prevăzut în standardele europene, Eurocoduri. Proiectantul construcţiei poate adopta, pe baza unor justificări tehnico-economice, cu acordul beneficiarului, sau la cererea expresă a acestuia, un nivel de siguranţă mai ridicat pentru parametrii geotehnici utilizaţi la proiectarea întregii structuri geotehnice sau la unele părţi ale acesteia.

1.3. Termeni şi definiţii

1.3.1. Termenii comuni pentru toate standardele europene, Eurocoduri, sunt date în standardul SR EN 1990:2004.

Termenii specifici proiectării geotehnice sunt indicaţi în standardele SR EN 1997-1:2004, SR EN 1997-1:2004/AC:2009.

1.3.2. ***Termeni specifici prezentului normativ***

- **Valoarea caracteristică a parametrului geotehnic (X_k)**

  Valoarea parametrului geotehnic stabilită ca o estimare prudentă a valorii care influenţează apariţia stării limită în structura geotehnică sau în structurile (construcţiile) care conlucrează cu acestea; este-de cele mai multe ori-o estimare prudentă **a mediei** valorilor determinate prin încercări sau prin măsurători în volumul de teren care guvernează, pentru starea limită considerată, comportarea structurii geotehnice.

- **Valoarea caracteristică inferioară ($X_{k\,inf}$)**

Valoarea caracteristică obținută la estimarea mediei când valorile **inferioare** sunt mai nefavorabile pentru apariția stării limită.

- **Valoarea caracteristică superioară ($X_{k\,sup}$)**

  Valoarea caracteristică obținută la estimarea mediei când valorile **superioare** sunt mai nefavorabile pentru apariția stării limită.

- **Valoarea caracteristică locală ($X_{k\,loc}$)**

  Valoarea caracteristică obținută ca o estimare prudentă, de regulă, a **celei mai scăzute valori** din volumul de teren care guvernează apariția stării limită în structura geotehnică sau în părți din aceasta.

- **Valoare măsurată**

  Valoarea parametrului geotehnic măsurată în timpul unei încercări sau prin urmărirea comportării unei structuri geotehnice.

- **Valoare derivată**

  Valoarea unui parametru geotehnic obținută pe cale teoretică, prin corelare sau pe cale empirică, pe baza rezultatelor încercărilor.

1.4. Referințe normative

1.4. 1.Documente normative de bază

Aplicarea prezentului normativ se face în corelare cu prevederile din alte acte normative. Documentele normative generale precum şi referirile la alte documnete sunt date în continuare în text, în cazurile în care este necesar şi sunt enumerate în Anexa B.

2. PRINCIPII ÎN STABILIREA VALORILOR PARAMETRILOR GEOTEHNICI

2.1. Modalități de determinare a parametrilor geotehnici

2.1.1. Valorile parametrilor geotehnici se pot determina prin una sau mai multe din modalitățile prezentate mai jos:

- pe cale directă, prin încercări efectuate pe teren (in-situ);
- pe cale directă, prin încercări efectuate în laboratorul geotehnic, pe probe de pământ;
- pe cale indirectă, prin încercări (de regulă, in-situ), cu utilizarea unor corelații între rezultatele încercării şi valorile parametrului geotehnic;
- pe baza măsurătorilor privind comportarea structurilor geotehnice în etapele de execuție şi după punerea în exploatare;
- pe baza unor date din experiența comparabilă acumulată;
- pe baza unor date documentare relevante din literatura de specialitate.

2.1.2. Listele încercărilor geotehnice efectuate pe teren şi în laborator sunt prezentate în SR EN 1997-2:2007, anexa A şi în NP 074-2007, anexele C şi D.

2.2. Cerințe privind determinarea valorilor parametrilor geotehnici

2.2.1. Cerințele de bază pentru efectuarea încercărilor geotehnice pe teren şi în laborator sunt indicate în SR EN 1997-2:2007, cap. 4 şi 5 şi în anexele D .... S, precum şi în NP 074-2007.

În standardul menționat mai sus se precizează numărul minim de determinări în laborator care trebuie efectuat pentru fiecare tip de încercare şi se prezintă unele corelații recomandate pentru stabilirea valorilor parametrilor geotehnici pe baza încercărilor indirecte realizate pe teren.

2.2.2. Măsurătorile asupra comportării construcțiilor pot servi la determinarea prin calcul invers a parametrilor geotehnici ai pământurilor care conlucrează cu structura geotehnică respectivă. Aceste măsurători trebuie realizate pe baza reglementărilor existente sau-în lipsa acestora-a unor documentații tehnice speciale (exemplu-caiete de sarcini), întocmite conform legislației în vigoare.

2.2.3. Datele documentare privind valorile unor parametri geotehnici, bazate

pe experienţă comparabilă, pot fi utilizate în stabilirea valorilor parametrilor geotehnici dacă se referă la aceleaşi tipuri de pământuri şi pentru care este de aşteptat o comportare geotehnică similară, pentru construcţii similare. Se consideră cu precădere adecvate datele obţinute pe plan local.

Este indicat ca la preluarea acestor date să se cunoască nivelul de asigurare pentru care au fost determinate valorile parametrilor geotehnici.

2.3. Factorii care pot influenţa în mod semnificativ valorile parametrilor geotehnici

2.3.1. La stabilirea valorilor parametrilor geotehnici trebuie să se ţină seama de diferenţele posibile între proprietăţile pământurilor determinate prin încercări pe teren sau în laborator şi cele care guvernează comportarea structurii geotehnice.

Factorii care pot influenţa cel mai frecvent proprietăţile pământurilor sunt:

- starea (nivelul) de eforturi şi modul de deformare (în special asupra rezistenţei la forfecare şi a deformabilităţii),
- unele particularităţi structurale ale pământului respectiv (fisurile, anizotropia, existenţa unor particule mari),
- efectele de timp,
- efectele acţiunilor dinamice (în special ale celor seismice),
- caracterul casant sau ductil al comportării pământului supus încercării,
- metoda de execuţie a structurii geotehnice,
- efectul tuturor activităţilor de construcţie asupra terenului de fundare.

2.3.2. Ori de câte ori este necesar, trebuie aplicaţi coeficienţi de corecţie pentru convertirea rezultatelor încercărilor pe teren şi în laborator în *valori derivate* care să reprezinte comportarea pământurilor în lucrarea respectivă.

3. VALORI CARACTERISTICE ALE PARAMETRILOR GEOTEHNICI

3.1. Definirea valorilor caracteristice şi selectarea datelor

3.1.1. *Valoarea caracteristică* a unui parametru geotehnic (X_k) trebuie stabilită ca o estimare prudentă a valorii care influenţează apariţia stării limită.

De regulă, valorile caracteristice ale parametrilor geotehnici se stabilesc pentru un *element geologic* denumit *strat*, alcătuit din pământ aparţinând aceleiaşi formaţiuni geomorfologice şi aceleiaşi clase (conform SR EN 14688-2:2005, SR EN ISO 14688-2:2005/C91:2007), care prezintă o variabilitate limitată a valorilor acestor parametri.

Când în formaţiunea geologică alcătuită din aceeaşi clasă de pământ apar porţiuni cu proprietăţi distincte, se poate păstra denumirea integrală de strat, dar în cuprinsul acestuia se conturează subdiviziuni ca:

- orizonturi (delimitate în grosime),
- lentile (delimitate în plan şi în grosimea stratului),
- zone (delimitate în plan),

pentru care se stabilesc valori proprii ale parametrilor geotehnici.

3.1.2. La selectarea datelor pentru stabilirea valorilor caracteristice ale parametrilor geotehnici trebuie să se ţină seama de următoarele aspecte majore:

- existenţa unor informaţii prealabile privind geologia şi hidrogeologia zonei şi a altor date din proiecte anterioare,
- variabilitatea valorilor măsurate ale parametrilor şi cunoştinţele preexistente privind aceste date,
- volumul investigaţiilor întreprinse pe teren şi în laborator, numărul şi calitatea probelor prelevate,
- extinderea zonei din teren care guvernează, pentru starea limită considerată, comportarea structurii geotehnice,

– capacitatea structurii geotehnice de a transfera încărcările de la zonele slabe la zonele mai rezistente din teren.

3.1.3. Cerințele generale privind colectarea informațiilor prealabile, tipul, volumul şi extinderea investigațiilor geotehnice în terenul de fundare sunt precizate în SR EN 1997-2:2007 şi NP 074-2007.

Aceste criterii se aplică, pe baza experienței şi a competenței tehnice a specialistului care efectuează investigarea geotehnică, la condițiile locale de teren în funcție de caracteristicile şi importanța structurii proiectate, reflectate în *categoria geotehnică a lucrării*, definită în conformitate cu NP 074-2007.

3.1.4. Variabilitatea valorilor parametrilor geotehnici se ia în considerare prin stabilirea *valorii caracteristice inferioare* ($X_{k\ inf}$) şi a *valorii caracteristice superioare* ($X_{k\ sup}$) şi utilizarea în calcul a combinației cele mai defavorabile a acestor valori. Pentru exemplificare, în **Anexa A1** se prezintă situații care impun utilizarea valorilor caracteristice inferioare şi superioare.

Modul de stabilire a valorilor $X_{k\ inf}$ şi $X_{k\ sup}$ este dat la pct. 3.2.2 (3), cu respectarea principiului mediерii expus la pct. 3.1.5.

În cazul în care valorile determinate prin încercări indică o tendință certă de variație în plan sau în adâncime, se poate stabili o dependență matematică a valorilor caracteristice în funcție de dimensiunea respectivă, conform indicațiilor de la pct. 3.2.3.

3.1.5. Zona din teren care guvernează comportarea structurii geotehnice la o stare limită este de obicei mult mai mare decât proba de laborator sau zona din teren afectată de o încercare in-situ. În consecință, valoarea parametrului geotehnic care guvernează starea limită este deseori valoarea medie a unui şir de valori care acoperă o suprafață sau un volum mai mare de teren. Valoarea caracteristică X_k este o estimare prudentă a acestei medii.

În cazul în care comportarea structurii geotehnice la starea limită este

guvernată de valoarea cea mai scăzută sau cea mai mare a proprietății pământului, valoarea caracteristică $X_{k\ loc}$ trebuie să fie o estimare prudentă a celei mai scăzute sau celei mai mari valori din zona care guvernează comportarea.

Deoarece extinderea zonei de teren care guvernează comportarea structurii geotehnice depinde de capacitatea acestei structuri de redistribuire a încărcărilor la terenul de fundare este important ca specialistul care stabileşte valorile caracteristice ale parametrilor geotehnici să fie informat de către proiectantul de rezistență asupra tipului şi particularităților structurii proiectate.

În anexa A2 se prezintă exemple de utilizare a valorilor caracteristice stabilite ca o estimare prudentă a mediei X_k, respectiv a valorii locale (minime) $X_{k\ loc}$.

În cazul necesității utilizării valorilor $X_{k\ loc}$, este indicat să se realizeze o investigare geotehnică detaliată a zonelor cu parametri scăzuți din terenul de fundare.

3.1.6. La selectarea rezultatelor încercărilor în laborator şi pe teren trebuie să se țină seama de factorii care influențează proprietățile pământului şi care au fost indicați la pct. 2.3.1.

În special în cazul parametrilor de deformabilitate şi ai rezistenței la forfecare încercările trebuie să urmărească reconstruirea cât mai fidelă a stării de eforturi în teren şi aplicarea unei secvențe de încărcare care să simuleze condițiile de solicitare induse de realizarea structurii proiectate

3.1.7. Asupra valorilor unor parametri, determinate prin încercări în laborator şi pe teren, se pot aplica coeficienți de corecție fundamentați din punct de vedere teoretic sau bazați pe experiența acumulată, obținându-se **valorile derivate** care reprezintă mai fidel comportarea pământurilor în lucrarea respectivă.

În anexa A3 se prezintă coeficienții de corecție recomandați în vederea determinării valorilor derivate ale parametrilor de compresibilitate şi ai rezistenței la forfecare pentru unele categorii de pământuri.

3.1.8. În figura 1 este reprezentată schematic procedura de stabilire a valorilor caracteristice ale parametrilor geotehnici pe baza măsurătorilor obținute din încercări directe şi indirecte şi a măsurătorilor privind comportarea structurilor geotehnice.

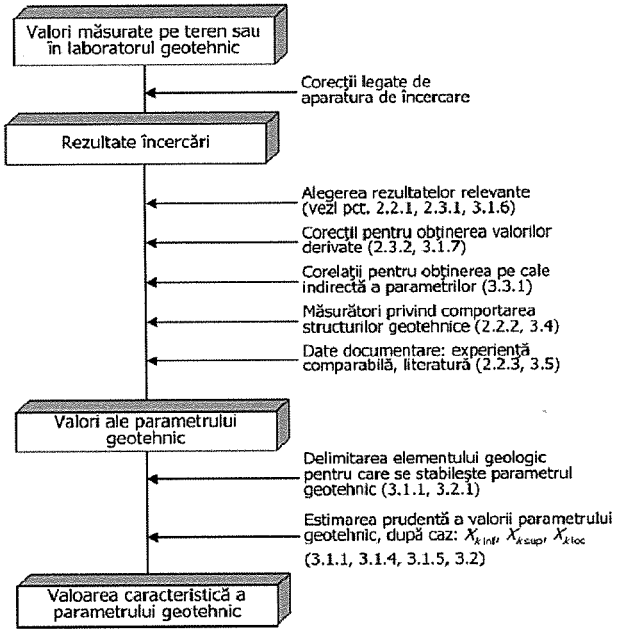


Fig. 1. Schema modului de stabilire a valorilor caracteristice ale parametrilor geotehnici

3.1.9. Pentru stabilirea valorilor caracteristice ale parametrilor geotehnici, mai ales în cazul structurilor încadrate în categoria geotehnică 3, se recomandă utilizarea metodelor statisticii matematice. Nivelul de asigurare al valorilor X_k va fi de 95 %.

Pentru valorile locale $X_{k\,loc}$ estimarea trebuie făcută astfel ca probabilitatea de apariție a unei valori mai nefavorabile să fie de 5 %.

În figura 2 sunt arătate valorile caracteristice inferioară ($X_{k\,inf}$) şi superioară ($X_{k\,sup}$) şi valoarea caracteristică locală ($X_{k\,loc}$) stabilite pe baza prelucrării statistice a valorilor parametrului geotehnic X.

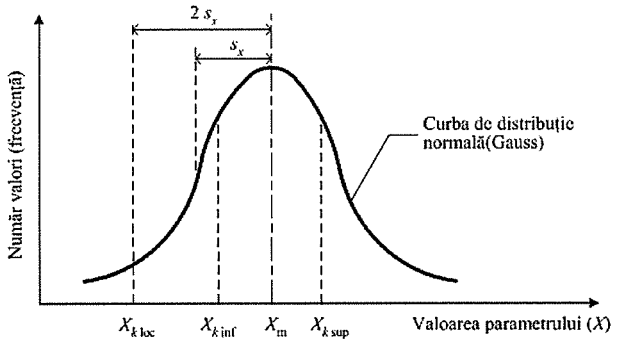


Fig. 2. Stabilirea valorilor caracteristice pe baza prelucrării statistice. Semnificația simbolurilor corespunde relațiilor (3.1) ... (3.5')

În subcapitolul 3.2 se prezintă modul de stabilire a valorilor caracteristice ale parametrilor geotehnici cu ajutorul metodelor statisticii matematice.

3.2. Stabilirea valorilor caracteristice cu ajutorul metodelor statisticii matematice

3.2.1. *Delimitarea elementelor geologice*

(1) Elementele geologice pentru care se stabilesc valori caracteristice ale parametrilor geotehnici se delimitează cu ajutorul datelor obținute prin lucrările de investigare geotehnică pe amplasament, efectuate conform exigențelor indicate în SR EN 1997-2:2007 şi NP 074-2007, pe baza informațiilor geologice generale precum şi a criteriilor de clasificare recomandate în SR EN 14688-2:2005, SR EN ISO 14688-2:2005/C91:2007.

(2) Coeficientul de variație V_x pentru valorile determinate prin încercări şi pentru valorile derivate ale parametrilor geotehnici care servesc la identificarea şi clasificarea pământului din cuprinsul elementului geologic se recomandă să nu depăşească $V_{x\,max}$ în tabelul 3.1.

Coeficientul de variație se calculează cu ajutorul relațiilor:

$$V_x = \frac{s_x}{X_m} \qquad (3.1)$$

$$s_x = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum (X_i - X_m)^2} \qquad (3.2)$$

$$X_m = \frac{\sum X_i}{n} \qquad (3.3)$$

în care:

s_x abaterea standard a valorilor individuale selectate X_i, determinate prin încercări

sau derivate din rezultatele încercărilor pe teren sau în laborator,

X_m media aritmetică a valorilor X_i selectate,

n numărul de valori X_i selectate.

Tabelul 3.1

Valori maxime ale coeficientului de variație recomandate pentru delimitarea unui element geologic

Parametrul geotehnic	$V_{x\,max}$
Greutatea volumică, γ	0,05
Umiditatea naturală, w Indicele de consistență, I_C Indicele porilor, e Gradul de îndesare, I_D	0,15
Indicele de plasticitate, I_P	0,30

(3) În cazul pământurilor cu caracteristici speciale se poate lua în considerare şi variabilitatea altor parametri geotehnici, precum:

- conținutul în materii organice,
- conținutul de carbonați (în special Ca CO_3),
- tasarea specifică suplimentară la umezire (pentru pământurile sensibile la umezire - PSU),

- umflarea liberă şi presiunea de umflare (pentru pământurile cu umflări şi contracții mari).

(4) În situația în care coeficienții de variație pentru un strat de pământ delimitat pe considerente geomorfologice depăşesc valorile maxime indicate în tabelul 3.1 se recomandă împărțirea acestuia în subdiviziuni geologice sau să se stabilească o dependență a variației parametrilor în raport cu dimensiunile în plan sau în adâncime ale terenului de fundare respectiv. Indicații privind analiza stratelor cu tendință de variație spațială sunt date la pct. 3.2.3.

3.2.2. *Stabilirea valorilor caracteristice pentru elemente geologice fără tendință de variație spațială*

(1) În majoritatea cazurilor valorile determinate direct prin încercări sau derivate din acestea se prelucrează ca variabile independente.

(2) Se admite şi prelucrarea statistică a unor variabile corelate (unghiul de frecare internă φ şi coeziunea c) cu condiția ca încercările respective (forfecare directă, compresiune triaxială) să fie realizate în condiții asemănătoare pentru toate probele selectate.

În acest caz valorile caracteristice φ_k şi c_k se stabilesc pentru un nivel de asigurare de 95% față de dreapta de regresie medie (dreapta intrinsecă, conform modelului Mohr-Coulomb), calculată prin metoda abaterilor medii pătratice minime.

(3) Valoarea caracteristică a parametrului geotehnic X_k se stabileşte cu relația:

$$X_k = X_m(1 \pm k_n \cdot V_x) \qquad (3.4)$$

în care:

V_x şi X_m sunt definite prin relațiile (3.1 ... (3.3)

k_n este un coeficient statistic de variație a mediei, care depinde de numărul de valori selectate şi de nivelul de asigurare al mediei, dat în tabelul 3.2 ținând seama de explicațiile de la subpunctele (4) şi (5).

Semnul + sau - din relația (3.4) corespunde valorii caracteristice superioare ($X_{k\,sup}$), respectiv ($X_{k\,inf}$) a parametrului respectiv:

$$X_{k\,sup} = X_m(1 + k_n \cdot V_x) \qquad (3.4')$$

$$X_{k\,inf} = X_m(1 - k_n \cdot V_x) \qquad (3.4'')$$

Tabelul 3.2

Valorile coeficientului statistic k_n pentru un nivel de asigurare de 95% în stabilirea valorilor caracteristice

Numărul de valori n	Valori k_n pentru:	
	$V_{x\,necunoscut}$	$V_{x\,cunoscut}$
3	1,69	0,95
4	1,18	0,82
5	0,95	0,74
6	0,82	0,67
8	0,67	0,58
10	0,58	0,52
20	0,39	0,37
≥ 30	0,31	0,30

Notă: Pentru valori n intermediare se admite interpolarea lineară a valorilor k_n din tabel.

(4) În cazul în care se iau în considerare numai valorile determinate direct prin încercări şi valorile derivate din acestea, coeficientul de variație pentru terenul respectiv nu este cunoscut în prealabil şi valorile k_n, pentru nivelul de asigurare de 95%, se iau din tabelul 3.2, coloana $V_{x\,necunoscut}$.

(5) Deoarece în multe cazuri practice, pentru un element geologic se pot selecta puține valori, ceea ce conduce la valori ridicate pentru V_x şi k_n, se poate utiliza metoda „cunoştințelor preexistente", prin care se preia valoarea coeficientului de variație V_x din date documentare relevante.

La preluarea coeficientului de variație, care este - de regulă - mai mic decât cel ce rezultă pe baza datelor selectate pe amplasament, trebuie să se verifice dacă

datele documentare (din publicații, arhive etc.) se referă la aceleaşi tipuri de pământuri pentru care este de aşteptat o comportare geotehnică similară, pentru structuri geotehnice similare. Se recomandă, în acest sens, utilizarea datelor obținute pe plan local şi a băncilor de date, precum şi a criteriilor de similitudine a pământurilor (clasificări, amprente etc.).

În aceste situații, valorile coeficientului statistic k_n din relația (3.4), pentru acelaşi nivel de asigurare de 95%, se iau din tabelul 3.2, din coloana $V_{x\,cunoscut}$.

În lipsa unor date documentare pe amplasamentul respectiv, la proiectarea structurilor geotehnice încadrate în categoriile geotehnice 1 şi 2 se pot utiliza valorile coeficientului $V_{x\,cunoscut}$ recomandate în anexa A4, pentru unele categorii de pământuri de vârstă cuaternară.

(6) Valorile caracteristice locale $X_{k\,loc}$, stabilite pentru situațiile arătate la pct. 3.1.5 se calculează cu relația:

$$X_{k\,loc} = X_m(1 \pm 2V_x) \qquad (3.5)$$

în care X_m şi V_x sunt definite prin relațiile (3.1), (3.2) şi (3.3).

În acest caz nu se va utiliza metoda $V_{x\,cunoscut}$.

Observație:De regulă, în calculele practice intervine numai valoarea locală inferioară:

$$X_{k\,loc} = X_m(1 - 2V_x) \qquad (3.5')$$

3.2.3. *Stabilirea valorilor caracteristice pentru elemente geologice cu tendință de variație spațială*

(1) În cazul în care se constată existența unei tendințe de variație cu adâncimea sau în plan (în limita amplasamentului studiat) a unor parametri geotehnici (în special de compresibilitate sau de rezistență la forfecare) ai stratului, există posibilitatea divizării acestuia în elemente geologice pentru care se stabilesc valorile caracteristice bazate pe media valorilor determinate în limitele fiecărui element (conform pct. 3.2.2) sau a stabilirii unei dependențe matematice a parametrului în funcție de poziția în spațiu a punctului respectiv.

(2) Pentru situațiile tratate în acest punct nu se recomandă utilizarea metodei V_x cunoscut.

3.3. Stabilirea pe cale indirectă a valorilor caracteristice pe baza corelațiilor cu unele încercări

3.3.1. Pentru unele încercări (mai ales cele efectuate pe teren) în care se măsoară valori ale unor indici a căror dependență cu valorile parametrilor geotehnici poate fi demonstrată în condițiile date ale unui amplasament sau pe zone mai extinse, se pot utiliza corelații matematice stabilite între cele două șiruri de valori.

Asemenea corelații pot fi stabilite în cadrul programului de investigare geotehnică a amplasamentului sau preluate din arhive și publicații.

Pentru utilizarea acestor corelații trebuie îndeplinite următoarele condiții:

- utilizarea unor metode standardizate de determinare a indicilor,
- demonstrarea similitudinii tipului de teren pentru care se utilizează corelația cu terenul pentru care a fost stabilită aceasta,
- cunoașterea nivelului de încredere al corelației utilizate, caracterizat prin: numărul de încercări care au servit la stabilirea corelației, coeficientul de corelație, nivelul de asigurare al corelației.

3.3.2. În anexa A5 se prezintă un exemplu de corelație lineară între valorile modulului de deformație lineară E determinat prin încercări cu placa și valorile rezistenței pe con la penetrare statică (CPT) efectuate în paralel pe mai multe amplasamente din țară.

3.4. Stabilirea valorilor caracteristice pe baza măsurătorilor privind comportarea structurilor geotehnice realizate

3.4.1. Atunci când în zone apropiate de amplasamentul pe care se proiectează noua construcție și având condiții geotehnice similare s-au realizat măsurători sistematice privind comportarea unor structuri existente care permit, prin calcul invers, determinarea unor valori ale parametrilor geotehnici (în special parametri de

deformabilitate), aceste date pot fi considerate drept valori caracteristice sau pot fi folosite în prelucrările statistice, împreună cu mărimile selecționate din încercările pe teren și în laborator.

3.4.2. Acceptarea valorilor rezultate din măsurători pe construcții reale poate fi admisă când se îndeplinesc următoarele condiții:

- măsurătorile se efectuează pe baza unor reglementări tehnice sau a unor documente tehnice (reglementări interne, caiete de sarcini, programe de monitorizare etc.), întocmite conform legislației în vigoare,
- măsurătorile conform legislației în vigoare, cu aparatură adecvată și cu indici de precizie determinați,
- acțiunile (încărcările) care s-au aplicat terenului de fundare în perioada de măsurare au fost evaluate cu o precizie satisfăcătoare,
- măsurătorile permit evidențierea clară a contribuției fiecărui strat care conlucrează cu structura monitorizată,
- modelul utilizat la calculul invers al parametrului respectiv este justificat din punct de vedere teoretic sau confirmat de experiența acumulată.

3.4.3. Lucrările de monitorizare a structurilor geotehnice cele mai des utilizate la stabilirea, prin calcul invers, a valorilor caracteristice sunt:

- măsurătorile de tasare ale elementelor structurale sub încărcări cunoscute,
- măsurătorile deplasărilor orizontale ale lucrărilor de susținere (măsurători inclinometrice),
- determinarea suprafețelor de rupere în cazul unor alunecări de teren produse.

În cazul stabilirii parametrilor rezistenței la forfecare pe suprafețe de rupere determinate se va acorda o atenție deosebită analizei mobilizării rezistenței în straturi cu rigidități diferite.

3.5. Stabilirea valorilor caracteristice pe baza datelor documentare

3.5.1. Pentru proiectarea structurilor geotehnice care se încadrează în categoria

geotehnică 1 şi pentru fazele preliminare de proiectare a structurilor din categoria geotehnică 2 se admite utilizarea valorilor caracteristice ale parametrilor geotehnici preluate din documente relevante: tabele de valori recomandate în reglementările tehnice, bănci de date, valori obţinute prin investigaţii geotehnice efectuate în formaţiuni geologice asemănătoare, de preferinţă pe amplasamente apropiate.

Pentru a putea fi utilizate aceste date documentare, trebuie demonstrată asemănarea pământurilor pe baza unor criterii clare de similitudine (clasificări, amprente etc.).

3.5.2. Valorile preluate din sursele documentare trebuie să reprezinte o estimare foarte acoperitoare a parametrului geotehnic respectiv pentru volumul de pământ care conlucrează cu structura geotehnică, şi să ţină seama de precizările făcute la pct. 3.1.4 şi 3.1.5 privind valorile $X_{k\,\mathrm{sup}}$, $X_{k\,\mathrm{inf}}$ şi $X_{k\,\mathrm{loc}}$.

3.5.3. În anexa A6 se dau tabele de valori caracteristice pentru unele categorii de pământuri, care pot fi utilizate în condiţiile precizate la pct. 3.5.1.

4. VALORI DE CALCUL ALE PARAMETRILOR GEOTEHNICI

4.1. Valorile de calcul ale parametrilor geotehnici (X_d) se stabilesc - de regulă - de către proiectantul structurii geotehnice, prin împărţirea valorilor caracteristice (X_k) la coeficientul parţial pentru proprietăţile pământului (γ_M):

$$X_d = \frac{X_k}{\gamma_M} \qquad (4.1)$$

În cazul inexistenţei unor date semnificative ale valorilor X_k, pentru calcule preliminare se admite evaluarea directă a valorilor X_d, ţinând seama de nivelul de siguranţă indicat la pct. 3.1.

4.2. Pentru calculele la stările limită ultime, în situaţiile de proiectare permanente şi tranzitorii, valorile γ_M sunt date în tabelele A.2 şi A.4 din SR EN 1997-1:2004.

Pentru situaţiile de proiectare accidentale se acceptă $\gamma_M = 1$.

În cazurile speciale, în care se efectuează calcule la starea limită ultimă cu considerarea stării de deformare a terenului, pentru parametrii de deformaţie ai straturilor de pământ se poate accepta $\gamma_M = 1$.

4.3. Pentru toate calculele la starea limită de exploatare normală se utilizează valoarea $\gamma_M = 1$.

4.4. În cazurile în care se impun limitări severe ale deformaţiilor în masivul de pământ pentru starea limită de exploatare (de exemplu, prin mobilizarea parţială a rezistenţei pasive a masivului de pământ) se pot accepta reduceri mai pronunţate ale parametrilor rezistenţei la forfecare, faţă de cele rezultate conform pct. 4.1 şi 4.2.

ANEXA A.1

EXEMPLE DE UTILIZARE A VALORILOR CARACTERISTICE INFERIOARE ($X_{k\,inf}$) ŞI SUPERIOARE ($X_{k\,sup}$) ALE PARAMETRILOR GEOTEHNICI

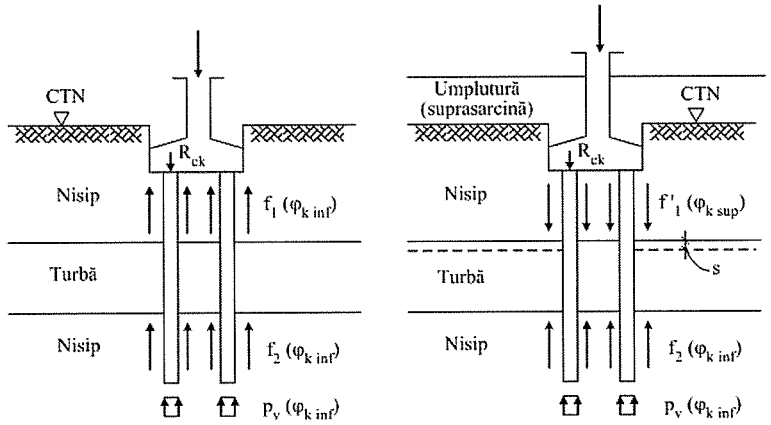


Fig. A.1.1. Utilizarea valorilor caracteristice inferioare ($\varphi_{k\,inf}$) şi superioare ($\varphi_{k\,sup}$) ale unghiului de frecare internă pentru calculul capacităţii portante a piloţilor (f_i - frecarea negativă)

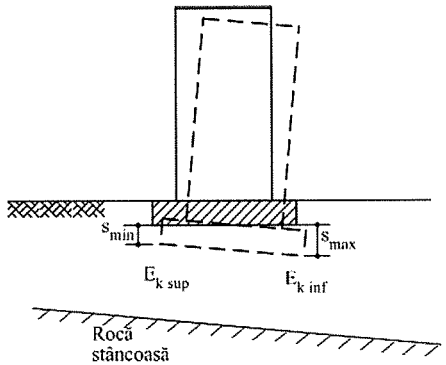


Fig. A.1.2. Utilizarea valorii caracteristice inferioare ($E_{k\,inf}$) şi superioare ($E_{k\,sup}$) ale modulului de deformaţie pentru calculul tasării diferenţiate

ANEXA A.2

EXEMPLE DE UTILIZARE A VALORILOR CARACTERISTICE STABILITE CA ESTIMĂRI PRUDENTE ALE MEDIEI (φ_k, c_k) SAU CA ESTIMĂRI PRUDENTE ALE VALORILOR MINIME ($\varphi_{k\,loc}$, $c_{k\,loc}$) PENTRU UNGHIUL DE FRECARE INTERNĂ ŞI COEZIUNE

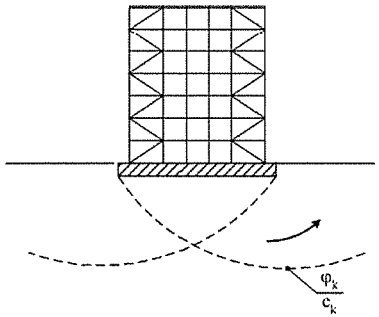


Fig. A.2.1. Verificarea capacităţii portante a terenului unei construcţii rigide (cu capacitate mare de redistribuire a încărcărilor)

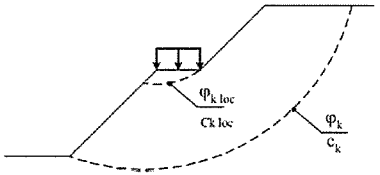


Fig. A.2.2. Verificarea stabilităţii generale şi locale a unui taluz

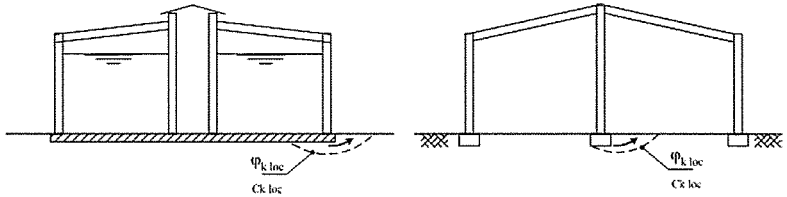


Fig. A.2.3. Verificarea la depăşirea locală a capacităţii portante a terenului sub fundaţiile unei structuri fără capacitate de redistribuire a încărcărilor

ANEXA A.3

RECOMANDĂRI PENTRU STABILIREA VALORILOR DERIVATE ALE UNOR PARAMETRI GEOTEHNICI DETERMINAȚI PRIN ÎNCERCĂRI

A.3.1. Valorile derivate ale modulului de deformație lineară E, utilizat în calculul tasărilor, se pot stabili pe baza valorilor determinate în laborator prin încercarea în edometru E_{oed}, cu ajutorul relației:

$$E = E_{oed} \cdot M_0 \qquad \text{(A.3.1)}$$

Valorile E_{oed} se determină în intervalul de presiuni unitare $\Delta\sigma$ cuprins între presiunea geologică existentă în strat la nivelul probei (σ_g) şi presiunea totală la acelaşi nivel după aplicarea încărcării fundației (σ_f), cu relația:

$$E_{oed} = \frac{\sigma_f - \sigma_g}{\varepsilon_f - \varepsilon_g}$$

în care: ε_f, ε_g reprezintă deformația specifică a probei în edometru la presiunile σ_f, respectiv σ_g.

Valorile recomandate ale coeficientului de corecție M_0 sunt date în tabelul A.3.1 pentru unele categorii de pământuri coezive, de vârstă cuaternară, normal consolidate.

Tabelul A.3.1

Valori ale coeficientului de corecție M_0

Categoria pământului	Indicele de consistență I_C	Indicele porilor e			
		0,41 ... 0,60	0,61 ... 0,80	0,81 ... 1,00	1,01 ... 1,10
Cu plasticitate redusă ($I_P \leq 10$ %)	0 1	1,6	1,3	1,0	-
Cu plasticitate medie (I_P=10 .... 20 %)	0,76 1	2,3	1,7	1,3	1,1
	0,50 0,75	1,9	1,5	1,2	1,0
Cu plasticitate mare ($I_P \geq 20$ %)	0,76 1	1,8	1,5	1,3	1,2
	0,50 0,75	1,5	1,3	1,1	1,0

A.3.2. Valorile derivate ale unghiului de frecare internă φ' ale nisipurilor, utilizate în calculele geotehnice în cazul stării plane de deformație (fundații continue, lucrări de susținere şi stabilitatea taluzurilor de lungime mare) se pot determina pe baza valorilor φ'_{triax} determinate în laborator prin încercări de compresiune triaxială (cu solicitare axial simetrică $\sigma_2 = \sigma_3$) cu relația:

$$\mathrm{tg}\,\varphi' = 1{,}1\ \mathrm{tg}\,\varphi_{triax}$$

ANEXA A.4

VALORI RECOMANDATE ALE COEFICIENTULUI DE VARIAȚIE $V_{x\ cunoscut}$ PENTRU UNELE CATEGORII DE PĂMÂNTURI (1)

Parametru geotehnic	$V_{x\ cunoscut}$
Greutatea volumică (γ)	0,05 (2)
Unghiul de frecare internă în stare drenată (tg φ')	0,10
Indicele de consistență (I_C), gradul de îndesare (I_D), indicele porilor (e)	0,15
Indicele de plasticitate (I_P), modulul de deformație liniară drenat (E) și nedrenat (E_U), modulul de deformație în edometru (E_{oed})	0,30
Coeziunea în stare drenată (c') și în stare nedrenată (c_U)	0,40

Observații: (1) Valorile din tabel sunt valabile pentru pământurile de vârstă cuaternară, normal consolidate, cu conținut de materii organice de max. 5%.
Se exclud pământurile cu caracteristici speciale: pământuri cimentate, pământuri cu umflări și contracții mari, pământuri sensibile la umezire.

(2) În multe calcule geotehnice, pentru greutatea volumică se poate admite $V_{x\ cunoscut} = 0$.

ANEXA A.5

EXEMPLU DE CORELAȚII STABILITE ÎNTRE MODULUL DE DEFORMAȚIE LINEARĂ (E) ȘI REZISTENȚA PE CON (q_c) LA PENETRAREA STATICĂ - CPT

A.5.1. Metoda de determinare

Corelațiile lineare între două variabile se utilizează cu precădere în prelucrarea datelor experimentale, datorită simplității calculelor și a transpunerii grafice.

În acest caz funcția de regresie are forma (Fig. A.5.1):

$$y = ax + b \qquad (A.5.1)$$

iar parametrii a și b ai acestei drepte se stabilesc din condiția ca suma pătratelor abaterilor valorilor experimentale y_{0i} față de cele calculate cu ajutorul dreptei de regresie să fie minime („metoda celor mai mici pătrate").

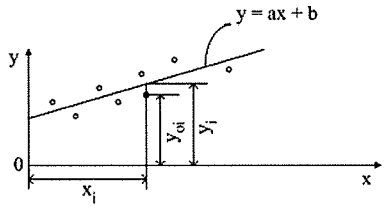


Fig. A.5.1

În consecință parametrii dreptei de regresie se deduc cu relațiile:

$$a = \frac{n\sum_1^n x_i \cdot y_{0i} - \sum_1^n x_i \cdot \sum_1^n y_{0i}}{n\sum_1^n x_i^2 - \left(\sum_1^n x_i\right)^2}; \qquad b = \frac{\sum_1^n x_i^2 \cdot \sum_1^n y_{0i} - \sum_1^n x_i \cdot \sum_1^n x_i \cdot y_{0i}}{n\sum_1^n x_i^2 - \left(\sum_1^n x_i\right)^2}$$

în care: n - numărul valorilor experimentale;

y_{0i} - valoarea experimentală înregistrată, corespunzătoare valorii x_i.

Măsura dependenței între mărimile y și x se face cu ajutorul coeficientului de corelație r:

$$r = \sqrt{1 - \left(\frac{s_c}{s}\right)^2}$$

în care:

s_c - abaterea medie pătratică a valorilor experimentale y_{0i} față de dreapta de regresie,

s - abaterea medie pătratică a valorilor experimentale față de media valorilor $\bar{y}$

$$\bar{y} = \frac{1}{n}\sum_1^n y_{0i}; \quad s_c = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_1^n (y_i - y_{0i})^2}; \quad s = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_1^n (y_{0i} - \bar{y})^2}$$

Valorile y_i se calculează cu relația (A.5.1), corespunzător valorilor experimentale x_i.

Valorile coeficientului de corelație variază între 0 și 1. Pentru $r = 0$ variabilele x și y sunt independente (nu există corelație), pentru $r = 1$ relația este strict liniară (punctele corespunzând valorilor experimentale se suprapun strict peste dreapta de regresie).

În ingineria geotehnică valori $r > 0{,}8$ se consideră, în general, corespunzătoare și regresiile respective pot fi utilizate în calculele practice.

Deoarece dreapta de regresie dată de relația (A.5.1) conduce la valori medii ale variabilei y, se recomandă utilizarea unei corelații acoperitoare, din care să rezulte valoarea caracteristică:

$$y_k = ax + b \pm t_\alpha s_c \qquad \text{(A.5.2)}$$

Coeficientul statistic t_α este dat în tabelul A.5.1, în funcție de numărul n de valori experimentale, pentru un nivel de asigurare de 95%.

Tabelul A.5.1

n-1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	30	∞
$t\alpha$	2,92	2,35	2,13	2,01	1,94	1,90	1,86	1,83	1,81	1,78	1,75	1,72	1,69	1,64

A.5.2. Exemplu de stabilire a unei corelații lineare

Au fost selecționate 27 de încercări cu placa în foraj prin care s-au determinat valorile modulului de deformație lineară E. Aceste valori se compară cu rezistența la penetrare pe con q_c determinată, la același nivel în sondaje CPT amplasate în imediata apropiere a forajelor pentru încercări cu placa (Fig. A.5.2).

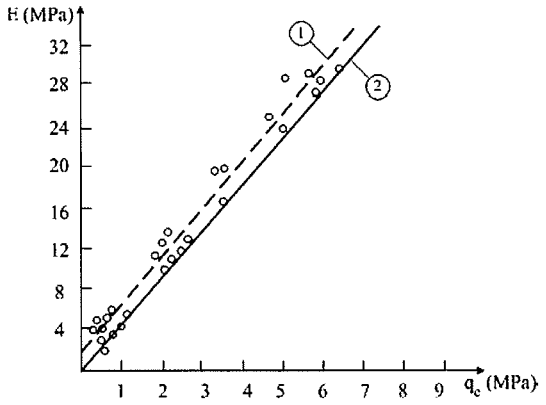


Figura A.5.2

Toate încercările s-au realizat în pământuri coezive (I_P = 15 ... 25%) de vârstă cuaternară, normal consolidate, având gradul de umiditate $S_r > 0{,}70$.

– Dreapta de regresie calculată prin metoda celor mai mici pătrate (dreapta 1, în figura A.5.2) rezultă:

$E = 4{,}72\ q_c + 2{,}4$ (în MPa) (A.5.3)

– Coeficientul de corelație $r\ (E, q_c) = 0{,}93$.

– Abaterea medie pătratică a valorilor experimentale față de dreapta de regresie $s_c = 1{,}68$ MPa.

– Pentru $n - 1 = 26$ valori și nivelul de asigurare de 95%, rezultă corelația care dă valoarea „prudentă" (dreapta 2, în figura A.5.2):

$E = 4{,}72\ q_c + 2{,}4 \pm 1{,}70 \cdot 1{,}68$ (A.5.4)

Deci valoarea caracteristică a modulului de deformație lineară E_k, pentru tipul respectiv de pământ se poate evalua pe baza corelației (după rotunjiri):

$E_k = 4{,}7\ q_c$ (A.5.5)

ANEXA A.6

TABELE CU VALORI CARACTERISTICE RECOMANDATE PENTRU CALCULE GEOTEHNICE PRELIMINARE

A.6.1. Valorile din tabelele conținute în prezenta anexă se pot utiliza în calculele geotehnice în condițiile arătate la pct. 3.5.1.

Valorile din tabele sunt valabile pentru pământuri normal consolidate, de vârstă cuaternară, care conțin maximum 5% materii organice.

A.6.2. Valorile unghiului de frecare internă φ' și ale coeziunii c', stabilite în condiții drenate sunt date în tabelul A.6.1 pentru pământuri nisipoase, respectiv în tabelul A.6.2 pentru pământuri coezive.

Tabelul A.6.1

Valori caracteristice ale unghiului de frecare φ' (în grade) pentru pământuri necoezive

Categoria pământului	Îndesare medie $I_D = 35 \ldots 65$ %	Îndesat și foarte îndesat $I_D > 65$ %
Nisip cu pietriș și nisip mare	33	36
Nisip mijlociu	31	33
Nisip fin	27	30
Nisip prăfos	24	28

Notă: Valorile din tabel sunt valabile pentru pământuri necozive cu particule relativ rotunjite. În cazul prezenței particulelor colțuroase se pot accepta valori mai ridicate

Tabelul A.6.2

Valori caracteristice ale unghiului de frecare φ' (în grade) şi ale coeziunii c' (în kPa) pentru pământuri coezive

I_P (%)	I_C	Indicele porilor e													
		0,45		0,55		0,65		0,75		0,85		0,95		1,05	
		ø'	c'	ø'	c'	ø'	c'	ø'	c'	ø'	c'	ø'	c'	ø'	c'
<10	0,75 ... 1	25	10	24	7	22	5								
	0,5 ..0,75	23	8	22	6	20	4	17	2						
10 .. 20	0,75 ... 1	22	30	21	24	20	20	19	16	18	14	16	12		
	0,5 ..0,75	20	25	19	22	18	18	17	15	15	12	14	10		
	0,25 ..0,5					16	16	15	13	13	10	11	9	10	7
> 20	0,75 ... 1			17	53	16	44	15	35	15	31	13	27	11	24
	0,5 ..0,75					15	37	14	33	13	28	11	24	9	21
	0,25 ..0,5					12	29	11	27	10	23	8	21	5	19

Observaţii: 1. Valorile din tabel sunt valabile pentru pământuri având gradul de umiditate $S_r > 0,8$.
2. Pentru valori intermediare ale indicelui porilor se admite interpolarea lineară a valorilor φ' şi c'

A.6.3. Valorile modulului de deformaţie lineară E sunt date din tabelul A.6.3 pentru pământurile nisipoase, respectiv în tabelul A.6.4 pentru pământurile coezive.

Tabelul A.6.3

Valori caracteristice ale modulului de deformaţie lineară E (în kPa) pentru pământuri nisipoase

Categoria pământului	Îndesare medie I_D = 35 ... 65 %	Îndesat şi foarte îndesat I_D > 65 %
Nisip cu pietriş şi nisip mare şi mijlociu	30.000	40.000
Nisip fin	25.000	35.000
Nisip prăfos	18.000	30.000

Tabelul A.6.4

Valori caracteristice ale modulului de deformaţie lineară E (în kPa) pentru pământuri coezive

I_P (%)	I_C	Indicele porilor e						
		0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05
<10	0,25 ... 1	32.000	24.000	16.000	10.000	7.000		
10 ..20	0,75 ... 1	34.000	27.000	22.000	17.000	14.000	11.000	
	0,5 .. 0,75	32.000	25.000	19.000	14.000	11.000	8.000	
> 20	0,75 ... 1		28.000	24.000	21.000	18.000	15.000	12.000
	0,5 .. 0,75			21.000	18.000	15.000	12.000	9.000

ANEXA B

REFERINȚE

1.Lista standardelor

Nr. crt.	Standarde	Denumire
1.	SR EN 1997-1:2004	Eurocod 7: Proiectarea geotehnică. Partea 1: Reguli generale
2.	SR EN 1997-1:2004/AC:2009	Eurocod 7: Proiectarea geotehnică. Partea 1: Reguli generale
3.	SR EN 1997-1:2004/NB:2007	Eurocod 7: Proiectarea geotehnică. Partea 1: Reguli generale. Anexa națională
4.	SR EN 1997-2:2007	Eurocod 7: Proiectarea geotehnică. Partea 2: Investigarea şi încercarea terenului.
5.	SR EN 1997-2:2007/ NB:2009	Eurocod 7: Proiectarea geotehnică. Partea 2: Investigarea şi încercarea terenului.Anexa națională
6.	SR EN ISO 14688-1:2004	Cercetări şi încercări geotehnice. Identificarea şi clasificarea pământurilor. Partea 1: Identificare şi descriere.
7.	SR EN ISO 14688-1:2004/AC:2006	Cercetări şi încercări geotehnice. Identificarea şi clasificarea pământurilor. Partea 1: Identificare şi descriere
8.	SR EN ISO 14688-2:2005	Cercetări şi încercări geotehnice. Identificarea şi clasificarea pământurilor. Partea 2: Principii pentru o clasificare.
9.	SR EN ISO 14688-2:2005/C91:2007	Cercetări şi încercări geotehnice. Identificarea şi clasificarea pământurilor. Partea 2: Principii pentru o clasificare.

2. Legislație

Nr. crt.	Acte legislative	Publicația
1.	"Normativ privind documentațiile geotehnice pentru construcții", indicativ NP 074-2007.	Ordinul ministrului dezvoltării lucrărilor publice şi locuințelor nr. 128/2007 din 08 mai 2007, Publicat în Monitorul Oficial, Partea I, nr. 381 din 06 iunie 2007.