

STUDIU DE IMPACT

Introducerea în practica proiectării a prevederilor

„NORMATIVULUI PRIVIND DETERMINAREA VALORILOR CARACTERISTICE ȘI DE CALCUL ALE PARAMETRILOR GEOTEHNICI”

1. DOMENIUL ȘI CONDIȚIILE DE APLICARE A NORMATIVULUI

Prezentul normativ are rolul de a preciza modalitățile de stabilire a valorilor caracteristice și de calcul ale parametrilor geotehnici, care servesc în proiectarea geotehnică în concordanță cu prevederile sistemului european de norme structurale EUROCOD (preluate ca norme naționale în seria de standarde SR EN 1990 1999).

În acest fel, în cadrul sistemului românesc de reglementări tehnice de proiectare, devine posibilă aplicarea concretă, în toate situațiile reale, a prevederilor standardelor SR EN 1997-1:2007 „Standard român. Eurocod 7: Proiectarea geotehnică. Partea 1: Reguli generale” și SR EN 1997-2:2008 „Standard român. Eurocod 7: Proiectarea geotehnică. Partea 2: Investigarea terenului și încercări”.

Normativul propus se bazează pe conceptul stărilor limită, utilizând și experiența acumulată timp de 30 de ani în țara noastră, prin aplicarea acestui concept în proiectarea construcțiilor (prin standardele generale din grupele STAS 10.100 și STAS 10.101 și prin standardele specifice proiectării geotehnice din grupele STAS 2561 și STAS 3300).

2. NIVELUL DE SIGURANȚĂ REALIZAT PRIN APLICAREA NORMATIVULUI

Prevederile normativului conduc la nivelul de siguranță minim cerut de sistemul de norme Eurocod în privința stabilirii parametrilor geotehnici care se acceptă în calculele de proiectare a construcțiilor.

Normativul permite proiectantului structurilor geotehnice acceptarea unui nivel de siguranță mai ridicat decât cel minim prevăzut, pe baza unor justificări tehnico - economice, cu acordul beneficiarului construcțiilor respective. În același timp, pentru situațiile cu complexitate redusă în privința structurilor proiectate și a condițiilor geotehnice, sunt prevăzute modalități simplificate de stabilire a parametrilor geotehnici (pe bază de corelații, tabele de valori sau prin utilizarea datelor documentare), cu respectarea nivelului de siguranță normat.

Prin detalierea situațiilor care pot apărea în realitate, în funcție de caracteristicile structurilor (în special de capacitatea de redistribuire a încărcărilor transmise la terenul de fundare) normativul realizează extinderea nivelului de asigurare propus și asupra situațiilor speciale, în care ar putea apărea depășiri ale stărilor limită cauzate de condițiile locale de conlucrare teren - structură.

3. CU PRIVIRE LA METODELE DE DETERMINARE A PARAMETRILOR GEOTEHNICI

În normativ se precizează modalitățile de stabilire a parametrilor pământurilor în funcție de complexitatea condițiilor geotehnice și de particularitățile conlucrării structurilor proiectate cu terenul de fundare.

Se utilizează experiența acumulată în evaluarea valorilor și a variabilității parametrilor geotehnici pentru cele mai răspândite categorii de pământuri din țara noastră precum și în utilizarea metodelor statisticii matematice în selectarea și prelucrarea datelor obținute din încercări pe teren și în laborator.

Se detaliază condițiile de stabilire a corelațiilor pentru determinarea parametrilor geotehnici „pe cale indirectă” și modul de utilizare a datelor obținute prin urmărirea comportării structurilor geotehnice (măsurători de tasări ale construcțiilor, deplasări ale lucrărilor de susținere etc.).

4. CONCLUZII

Utilizarea prezentului normativ, împreună cu standardele de profil SR EN 1997-1:2007 și SR EN 1997-2:2008, și cu Anexele Naționale la aceste standarde precum și cu Normativul NP074-2007 („Normativ privind întocmirea și verificarea documentațiilor geotehnice pentru construcții. Partea a II-a: Principiile, exigențele și metodele investigării terenului de fundare”) va permite elaborarea studiilor geotehnice și realizarea proiectării geotehnice în concordanță cu conceptele și principiile conținute în sistemul european de norme structurale Eurocod. În același timp se valorifică experiența acumulată în țară în acest domeniu.

ȘEF PROIECT

Prof. dr. ing. Anatolie MARCU
Membru corespondent al Academiei
de Științe Tehnice din România

GRUPUL DE LUCRU

- Prof. dr. ing. Anatolie MARCU
Membru corespondent al Academiei
de Științe Tehnice din România
- Prof. dr. ing. Iacint MANOLIU
Membru corespondent al Academiei
de Științe Tehnice din România
- Prof. dr. ing. Sanda MANEA
- Prof. dr. ing. Loretta BATALI
- Conf. dr. ing. Horațiu POPA
- Șef lucr. ing. Ernest OLINIC
- Ing. Cezar CULIȚĂ
S.C. AGISFOR SRL
- Ing. Tudor SAIDEL
S.C. Popp & Asociații - Inginerie Geotehnică

București, 10 iulie 2008

NORMATIV PRIVIND DETERMINAREA VALORILOR CARACTERISTICE ȘI DE CALCUL ALE PARAMETRILOR GEOTEHNICI

1. GENERALITĂȚI

1.1. Obiect și domeniu de aplicare

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

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

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

1.2. Condiții de aplicare. Nivel de siguranță

1.2.1. Definiția parametrilor geotehnici și modul de stabilire a valorilor caracteristice și de calcul din prezentul normativ sunt în concordanță cu conceptul stărilor limită și cu principiile cuprinse în sistemul european de norme structurale 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 acțiunilor, ale rezistențelor materialelor, ale rezistențelor elementelor structurale și ale datelor geometrice definite în seria de norme SR EN 1990.... SR EN 1999.

1.2.2. Nivelul de siguranță adoptat în stabilirea valorilor caracteristice și de calcul ale parametrilor geotehnici conform prezentului normativ corespunde nivelului minim prevăzut în normele structurale Eurocod. Proiectantul construcției poate adopta, pe baza unor justificări tehnico - economice, cu acordul beneficiarului, un nivel de siguranță mai ridicat pentru întreaga structură geotehnică sau pentru părți ale acesteia.

1.3. Termeni și definiții

1.3.1. Termenii comuni pentru toate normele europene Eurocod sunt date în standardul SR EN 1990:2004.

Termenii specifici proiectării geotehnice sunt indicați în standardul SR EN 1997-1:2007.

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 influențează apariția stării limită în structura geotehnică sau în structurile (construcțiile) 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 ($X_{k \text{ inf}}$)**

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

– **Valoarea caracteristică superioară ($X_{k \text{ sup}}$)**

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

– **Valoarea caracteristică locală ($X_{k \text{ loc}}$)**

Valoarea caracteristică obținută ca o estimare prudentă, de regulă, a **cele 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. Reglementări tehnice naționale conexe

Aplicarea prezentului normativ se face în corelare cu prevederile următoarelor reglementări tehnice naționale:

- SR EN 1997-1:2007 Standard român. Eurocod 7: Proiectarea geotehnică. Partea 1: Reguli generale
- SR EN 1997-2:2008 Standard român. Eurocod 7: Proiectarea geotehnică. Partea 2: Investigarea terenului și încercări
- SR EN 1997-1:2007/NB:2007 Standard român. Eurocod 7: Proiectarea geotehnică. Partea 1: Reguli generale. Anexa națională
- SR EN ISO 14688-1:2004 Standard român. Cercetări și încercări geotehnice. Identificarea și clasificarea pământurilor. Partea 1: Identificare și descriere
- SR EN ISO 14688-2:2004 Standard român. Cercetări și încercări geotehnice. Identificarea și clasificarea pământurilor. Partea 2: Principii pentru o clasificare
- NP 074-2007 Normativ privind întocmirea și verificarea documentațiilor geotehnice pentru construcții. Partea I: Întocmirea și verificarea documentațiilor geotehnice pentru construcții
Partea II: Principiile, exigențele și metodele investigării terenului de fundare

1.5. Bibliografie complementară

- Frank, R., Bauduin, G., Driscoll, R., Kavvas, M., Krebs Ovesen, N., Orr, T. and Schuppener, B.: „Designers' Guide to EN 1997-1”, Thomas Telford Ltd., London, 2006.
- Manoliu, I., Marcu, A.: „Calculul fundațiilor și inginerie geotehnică. Eurocode 7 - Exemple de calcul”, Bridgeman Ltd., 1997.
- Marcu, A.: „Fundații speciale. Cercetarea terenului de fundare și determinarea caracteristicilor geotehnice de calcul”, Institutul de Construcții București, 1983.
- Marcu, A. et al.: „Cercetări pentru perfecționarea calculului terenului de fundare”, Institutul de Construcții București, 1983 (Studiu difuzat prin Institutul Central de Cercetare și Directivare în Construcții - ICCPDC)

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 și valorile parametrului geotehnic;
- pe baza măsurătorilor privind comportarea structurilor geotehnice în etapele de execuție și 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 și în laborator sunt prezentate în SR EN 1997-2:2008, anexa A și în NP 074-2007, anexele C și D.

2.2. Cerințe privind determinarea valorilor parametrilor geotehnici

2.2.1. Cerințele de bază pentru efectuarea încercărilor geotehnice pe teren și în laborator sunt indicate în SR EN 1997-2, cap. 4 și 5 și în anexele D S, precum și 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 și 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, întocmite de specialiști calificați.

2.2.3. Datele documentare privind valorile unor parametri geotehnici, bazate pe experiență comparabilă, pot fi utilizate în stabilirea valorilor parametrilor geotehnici dacă se

referă la aceleași tipuri de pământuri și pentru care este de așteptat o comportare geotehnică similară, pentru construcții similare. Se consideră cu precădere adecvate datele obținute 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 influența în mod semnificativ valorile parametrilor geotehnici

2.3.1. La stabilirea valorilor parametrilor geotehnici trebuie să se țină seama de diferențele posibile între proprietățile pământurilor determinate prin încercări pe teren sau în laborator și cele care guvernează comportarea structurii geotehnice.

Factorii care pot influența cel mai frecvent proprietățile pământurilor sunt:

- starea (nivelul) de eforturi și modul de deformare (în special asupra rezistenței la forfecare și a deformabilității),
- unele particularități structurale ale pământului respectiv (fisurile, anizotropia, existența unor particule mari),
- efectele de timp,
- efectele acțiunilor dinamice (în special ale celor seismice),
- caracterul casant sau ductil al comportării pământului supus încercării,
- metoda de execuție a structurii geotehnice,
- efectul tuturor activităților de construcție asupra terenului de fundare.

2.3.2. Ori de câte ori este necesar, trebuie aplicați coeficienți de corecție pentru convertirea rezultatelor încercărilor pe teren și în laborator în *valori derivate* care să reprezinte comportarea pământurilor în lucrarea respectivă.

3. VALORI CARACTERISTICE ALE PARAMETRILOR GEOTEHNICI

3.1. Definirea valorilor caracteristice și selectarea datelor

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

De regulă, valorile caracteristice ale parametrilor geotehnici se stabilesc pentru un *element geologic* denumit *strat*, alcătuit din pământ aparținând aceleiași formațiuni geomorfologice și aceleiași clase (conform SR EN 14688-2:2005), care prezintă o variabilitate limitată a valorilor acestor parametri.

Când în formațiunea geologică alcătuită din aceeași clasă de pământ apar porțiuni cu proprietăți distincte, se poate păstra denumirea integrală de strat, dar în cuprinsul acestuia se conturează subdiviziuni ca:

- orizonturi (delimitate în grosime),
- lentile (delimitate în plan și 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 țină seama de următoarele aspecte majore:

- existența unor informații prealabile privind geologia și hidrogeologia zonei și a altor date din proiecte anterioare,
- variabilitatea valorilor măsurate ale parametrilor și cunoștințele preexistente privind aceste date,
- volumul investigațiilor întreprinse pe teren și în laborator, numărul și 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 și extinderea investigațiilor geotehnice în terenul de fundare sunt precizate în SR EN 1997-2:2008 și NP 074-2007.

Aceste criterii se aplică, pe baza experienței și a competenței tehnice a specialistului care efectuează investigarea geotehnică, la condițiile locale de teren în funcție de caracteristicile și 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* ($X_{k \text{ inf}}$) și a *valorii caracteristice superioare* ($X_{k \text{ sup}}$) și 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 și superioare.

Modul de stabilire a valorilor $X_{k \text{ inf}}$ și $X_{k \text{ sup}}$ este dat la pct. 3.2.2 (3), cu respectarea principiului medierii 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 șir 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 $X_{k \text{ loc}}$ 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 stabilește valorile caracteristice ale parametrilor geotehnici să fie informat de către proiectantul de rezistență asupra tipului și 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) $X_{k \text{ loc}}$.

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

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

În special în cazul parametrilor de deformabilitate și ai rezistenței la forfecare încercările trebuie să urmărească reconstruirea cât mai fidelă a stării de eforturi în teren și 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 și 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 și 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 și indirecte și a măsurătorilor privind comportarea structurilor geotehnice.

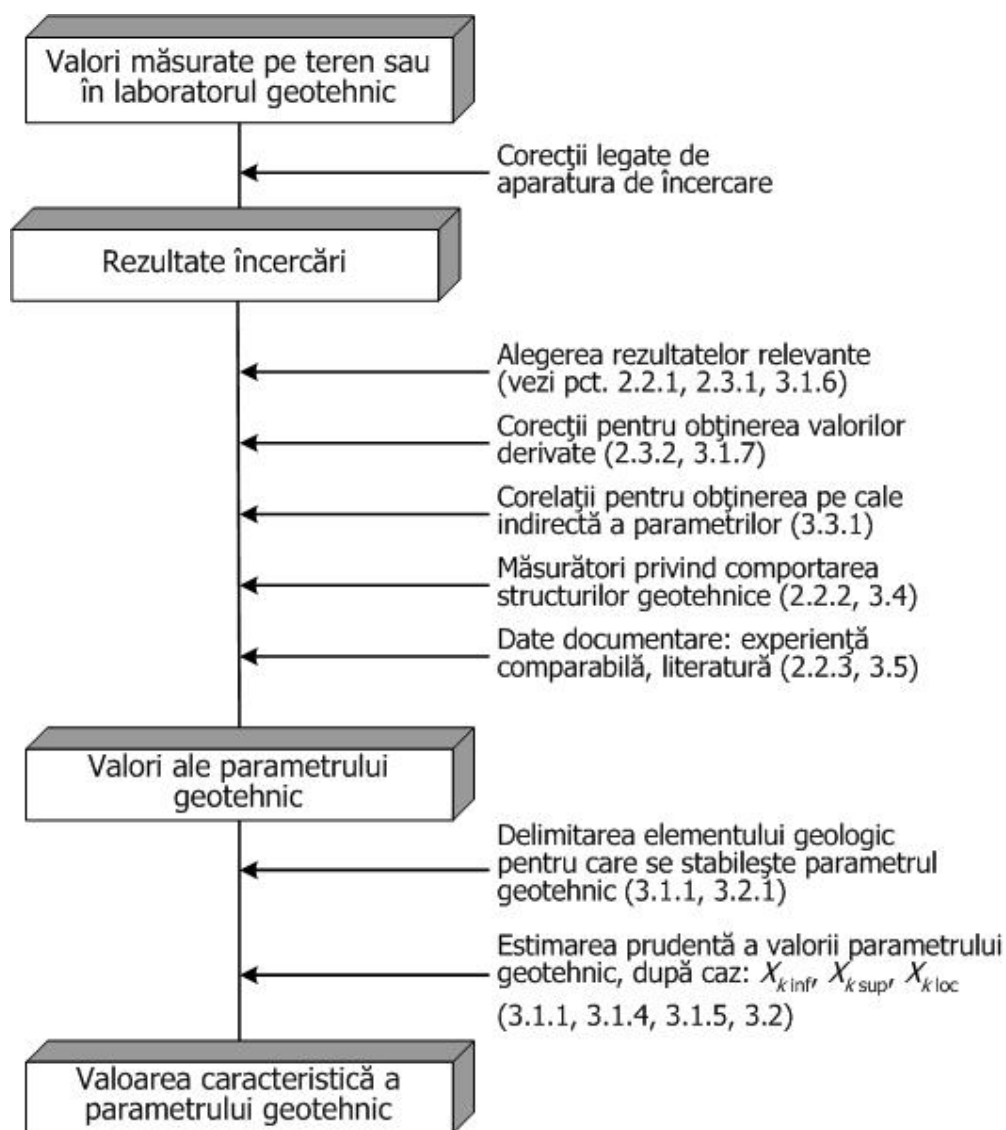


Fig. 1. Schema modului de stabilire a valorilor caracteristice ale parametrilor geotehnici

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 $X_{k\text{ loc}}$ 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 ($X_{k\text{ inf}}$) și superioară ($X_{k\text{ sup}}$) și valoarea caracteristică locală ($X_{k\text{ loc}}$) stabilite pe baza prelucrării statistice a valorilor parametrului geotehnic X .

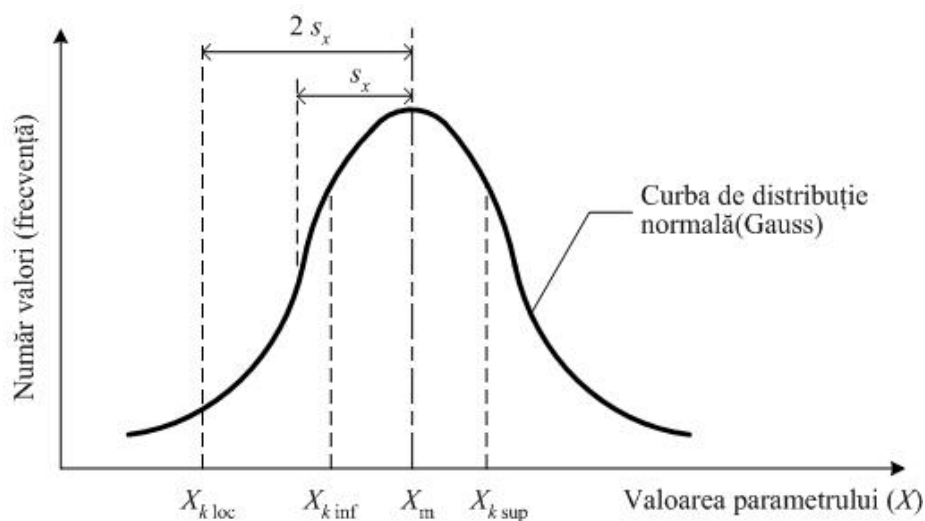


Fig. 2. Stabilirea valorilor caracteristice pe baza prelucrării statistice.
Semnificația simbolurilor corespunde relațiilor (3.1) ... (3.5')

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 1997-2:2008 și NP 074-2007, pe baza informațiilor geologice generale precum și a criteriilor de clasificare recomandate în SR EN 14688-2:2005.

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

Coeficientul de variație se calculează cu ajutorul relațiilor:

$$V_x = \frac{S_x}{X_m} \quad (3.1)$$

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

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

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 și variabilitatea altor parametri geotehnici, precum:

- conținutul în materii organice,
- conținutul de carbonați (în special Ca CO_3),
- tarea specifică suplimentară la umezire (pentru pământurile sensibile la umezire - PSU),
- umflarea liberă și presiunea de umflare (pentru pământurile cu umflări și contracții mari).

(4) În situația în care coeficienții de variație pentru un strat de pământ delimitat pe considerente geomorfologice depășesc 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 și prelucrarea statistică a unor variabile corelate (unghiul de frecare internă φ și 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 și 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 stabilește cu relația:

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

în care:

V_x și 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 și de nivelul de asigurare al mediei, dat în tabelul 3.2 ținând seama de explicațiile de la subpunctele (4) și (5).

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

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

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

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 și valorile derivate din acestea, coeficientul de variație pentru terenul respectiv nu este cunoscut în prealabil și 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 și k_n , se poate utiliza metoda „cunoștințelor 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 aceleași tipuri de pământuri pentru care este de așteptat o comportare geotehnică similară, pentru structuri geotehnice similare. Se recomandă, în acest sens, utilizarea datelor obținute pe plan local și a băncilor de date, precum și a criteriilor de similitudine a pământurilor (clasificări, amprente etc.).

În aceste situații, valorile coeficientului statistic k_n din relația (3.4), pentru același 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 și 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 $X_{k \text{ loc}}$, stabilite pentru situațiile arătate la pct. 3.1.5 se calculează cu relația:

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

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

În acest caz nu se va utiliza metoda V_x cunoscut.

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

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

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 măsurărilor 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 de specialiști calificați,
- măsurătorile se realizează de specialiști, 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 și 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 obținute prin investigații geotehnice efectuate în formațiuni geologice asemănătoare, de preferință 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, și să țină seama de precizările făcute la pct. 3.1.4 și 3.1.5 privind valorile $X_{k \text{ sup}}$, $X_{k \text{ inf}}$ și $X_{k \text{ loc}}$.

3.5.3. În anexa A6 se dau tabele de valori caracteristice pentru unele categorii de pământuri, care pot fi utilizate în condițiile 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 împărțirea valorilor caracteristice (X_k) la coeficientul parțial pentru proprietățile pământului (γ_M):

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

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

4.2. Pentru calculele la stările limită ultime, în situațiile de proiectare permanente și tranzitorii, valorile γ_M sunt date în tabelele A.2 și A.4 din SR EN 1997-1:2007.

Pentru situațiile 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 deformație 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 deformațiilor în masivul de pământ pentru starea limită de exploatare (de exemplu, prin mobilizarea parțială a rezistenței pasive a masivului de pământ) se pot accepta reduceri mai pronunțate ale parametrilor rezistenței la forfecare, față de cele rezultate conform pct. 4.1 și 4.2.

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

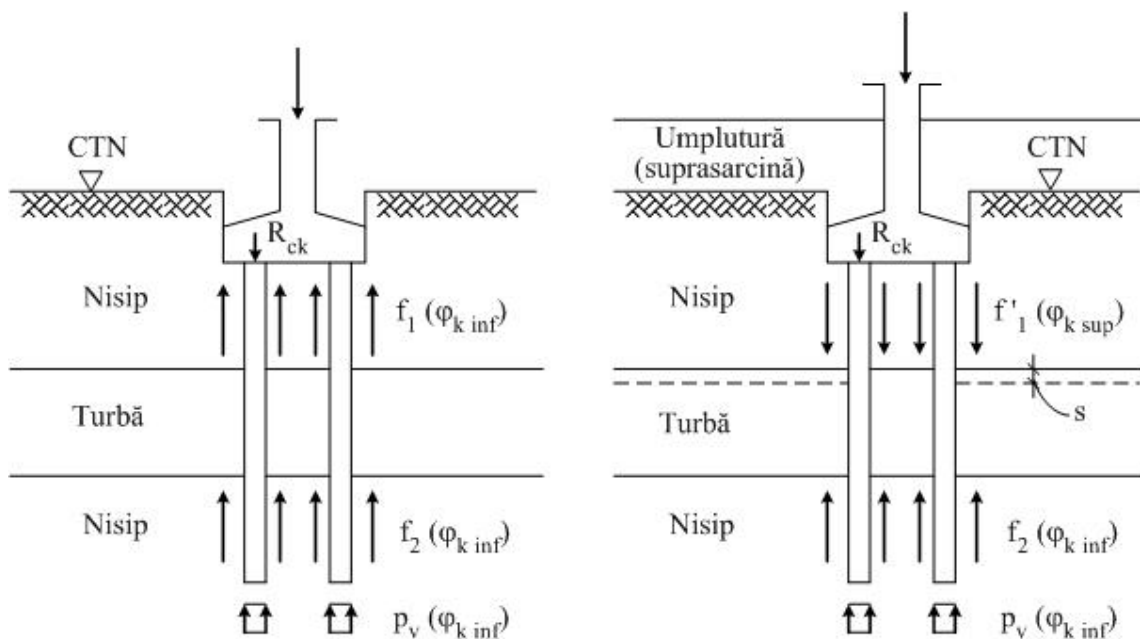


Fig. A.1.1. Utilizarea valorilor caracteristice inferioare ($\varphi_{k\ inf}$) și superioare ($\varphi_{k\ sup}$) ale unghiului de frecare internă pentru calculul capacității portante a piloților (f'_1 - frecarea negativă)

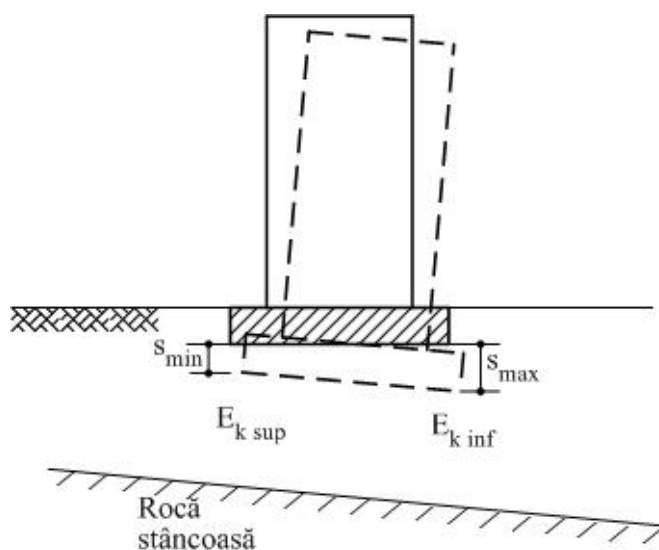


Fig. A.1.2. Utilizarea valorii caracteristice inferioare ($E_{k\ inf}$) și superioare ($E_{k\ sup}$) ale modului de deformare pentru calculul tasării diferențiate

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

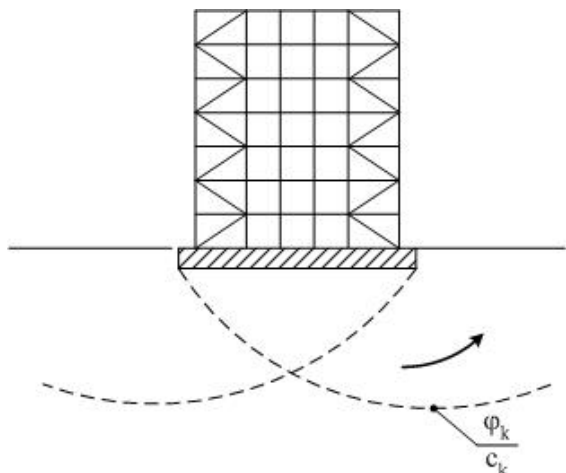


Fig. A.2.1. Verificarea capacității portante a terenului unei construcții rigide (cu capacitate mare de redistribuire a încărcărilor)

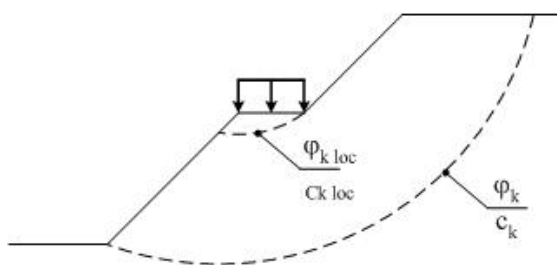


Fig. A.2.2. Verificarea stabilității generale și locale a unui taluz

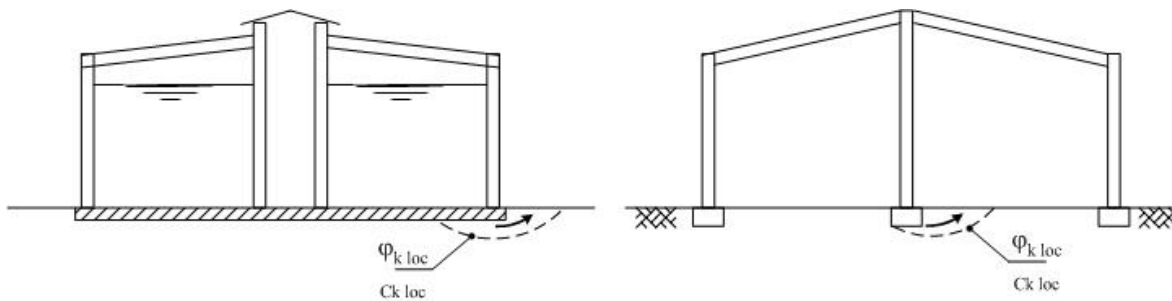


Fig. A.2.3. Verificarea la depășirea locală a capacității portante a terenului sub fundațiile unei structuri fără capacitate de redistribuire a încărcărilor

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_{oad} , cu ajutorul relației:

$$E = E_{\text{oad}} \cdot M_0 \quad (\text{A.3.1})$$

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

$$E_{\text{oad}} = \frac{\sigma_t - \sigma_g}{\varepsilon_t - \varepsilon_g}$$

în care: $\varepsilon_t, \varepsilon_g$ reprezintă deformația specifică a probei în edometru la presiunile σ_t , 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 ($I_P = 10 \dots 20$ %)	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 deformăție (fundații continue, lucrări de susținere și 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:

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

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

Parametru geotehnic	$V_{x \text{ cunoscut}}$
Greutatea volumică (γ)	0,05 ⁽²⁾
Unghiul de frecare internă în stare drenată ($\text{tg } \varphi'$)	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 lineară 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 $V_{x \text{ cunoscut}} = 0$.

**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 calculului și a transpunerii grafice.

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

$$y = ax + b \quad (\text{A.5.1})$$

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”).

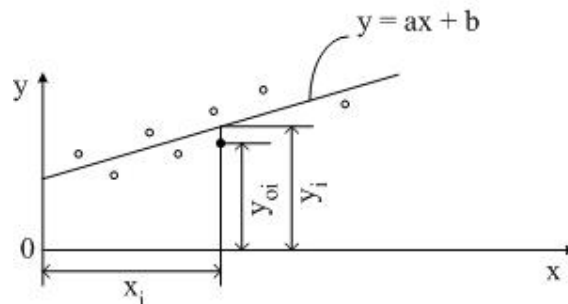


Fig. A.5.1

În consecință parametrii dreptei de regresie se deduc cu relațiile:

$$a = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_{0i} - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_{0i}}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}; \quad b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot \sum_{i=1}^n y_{0i} - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_{0i}}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}$$

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 lineară (punctele corespunzând valorilor experimentale se suprapun strict peste dreapta de regresie).

În ingineria geotehnică valori $r > 0,8$ se consideră, în general, corespunzătoare și regresiiile 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:

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

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_α	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).

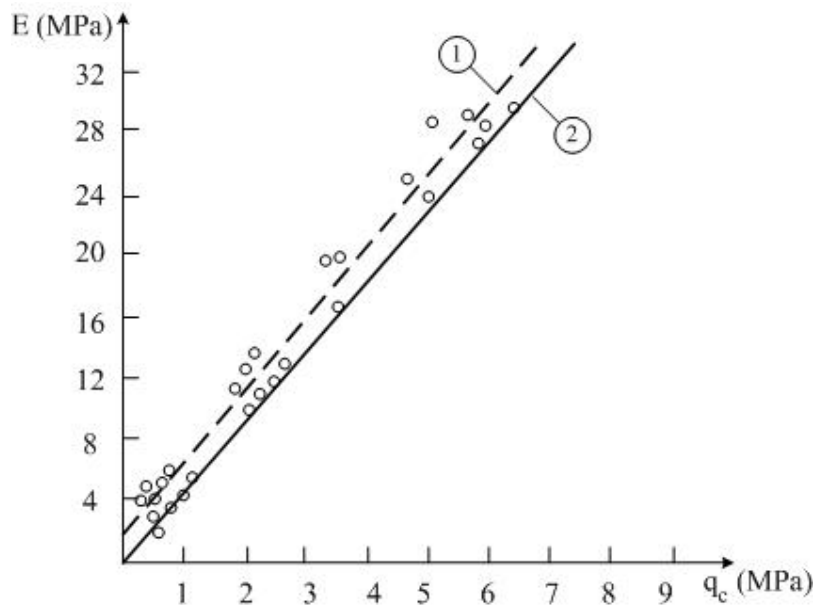


Figura A.5.2

Toate încercările s-au realizat în pământuri coezive ($I_p = 15 \dots 25\%$) 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:

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

- 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):

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

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

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

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 $I_D = 35 \dots 65 \%$	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 necoezive 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) și 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	
		φ'	c'	φ'	c'	φ'	c'	φ'	c'	φ'	c'	φ'	c'	φ'	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

- Observații:
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' și c'

A.6.3. Valorile modulului de deformație 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 deformație lineară E (în kPa) pentru pământuri nisipoase

Categoria pământului	Îndesare medie $I_D = 35 \dots 65 \%$	Îndesat și foarte îndesat $I_D > 65 \%$
Nisip cu pietriș și nisip mare și 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 deformație 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