

ANEXA NAȚIONALĂ DE APLICARE LA SR EN 1998-5:2004 – FUNDAȚII, STRUCTURI DE SUSȚINERE ȘI ASPECTE GEOTEHNICE

Maria ȘTEFĂNICĂ, Cornelia-Florentina DOBRESCU¹

REZUMAT

Integrarea Europeană reprezintă una din prioritățile strategice în politica cercetării-dezvoltării în perioada actuală.

Intrarea în vigoare a Anexei Naționale de aplicare a Eurocodului EN 1998-5:2004, împreună cu o serie de alte reglementări tehnice în domeniu, ca o preocupare a Comitetelor Tehnice ASRO, va constitui punctul de referință cu privire la alinierea reglementărilor românești la normele europene în domeniul ingineriei geotehnice.

Cuvinte cheie:

ABSTRACT

European integrability represents one of the strategical priority into the research-development policy during the up-to-date period.

The standardize of the National Appendix to apply of the Eurocode EN 1998-5:2004 together with a technical reglementation series into the field, as a requirement of the ASRO technical comitees, will incorporate the standard point concerning the Romanian Reglementation alignment to the European Conventions into the geotechnical engineering field.

Keywords:

1. Considerațiuni generale

Anexa Națională definește condițiile de aplicare pe teritoriul României a standardului SR EN 1998-5:2004, care reprezintă versiunea în limba română a Standardului European EN 1998-5 EUROCODE 8 – *Proiectarea structurilor pentru rezistența la cutremur, Partea 5: „Fundatii, lucrări de susținere și aspecte geotehnice”*, împreună cu anexele A, B, C, D, E și F, ratificat de Comitetul European de Standardizare CEN, în aprilie 2004 și puse la dispoziție în noiembrie 2004.

Partea a 5-a a SR EN 1998-5:2004 stabilește prescripțiile, criteriile și regulile relative la alegerea amplasamentului și a terenului de fundare, funcție de rezistența seismică a structurilor. Tratează diferitele sisteme de fundare, lucrări de susținere a terenului, cât și interacțiunea teren-structură sub efectul seismic. Astfel el completează SR EN 1997-1:2004, care nu tratează cerințele speciale ale proiectării seismice. Anexa Națională furnizează *parametrii determinați pe plan național* („Nationally Determined Parameters”) pentru următoarele articole al Standardului European

EN 1998-1:2004 pentru care este autorizată o opțiune națională:

Tabelul 1.

Referințe	Subiect
1.1 (4)	Anexe informative A, B, C, D, E și F
3.1 (3)	Coeficienți parțiali pentru proprietățile materialelor
4.1.4 (11)	Valoarea maximă a efortului limită a sensibilității la lichefiere
5.2 (2) c	Reducerea vârfului de accelerație cu adâncimea de la nivelul terenului

2. Parametri determinați la nivel național pentru utilizarea SR EN 1998-5:2004

Referințele pentru anexa națională la SR EN 1998-5:2004 au vizat aspecte legate de:

- proprietățile pământului și anumiți parametri de rezistență;
- prescripții referitoare la alegerea amplasamentului și a terenurilor de fundare cu referire la pământuri potențial lichefiabile;

- reguli în faza de concepție și dimensionare a sistemelor de fundare luând în considerare valori ale accelerațiilor de vârf înregistrate la cutremurele din România;

- anexele cu caracter informativ A, C, D și F care cuprind informații relative la:

- Coeficienții de amplificare topografică;
- Rigiditatea statică la capul piloților;
- Interacțiunea dinamică teren-structură.

Efecte generale și semnificații:

• **Capacitatea portantă în condiții seismice a fundațiilor de suprafață**

a. *Parametri de rezistență*

Art. 3.1 (3) din secțiunea a 3-a din SR EN 1998-5: 2004 precizează valori ale coeficienților parțiali (γ_M) relativ la parametri de rezistență ai pământului pentru:

- verificarea stării limită de echilibru (**EQU**);
- verificarea stării limită structurală și geotehnică (**STR, GEO**);
- verificarea la starea limită ultimă (**UPL**).

Conform SR EN 1998-5:2004, coeficien-ților parțiali de rezistență ai pământului (γ_M) se vor aplica la următorii parametri:

- coeziunea pământului nedrenat (c_u);
- rezistența la forfecare nedrenată a pământului ($\tau_{cy,u}$);
- rezistența la compresiune monoaxială (q_u) pentru roci (rezistența confinată);
- unghiul de frecare interioară exprimat în termeni de eforturi efective ($\text{tg } \Phi'$)

Coeficienții parțiali ai pământului (γ_M), atribuiți parametrilor de rezistență menționați, sunt simbolizați cu următoarele notații:

- γ_{cu} corespunzător lui c_u ;
- $\gamma_{\tau_{cy}}$ corespunzător lui $\tau_{cy,u}$;
- γ_{qu} corespunzător lui q_u ;
- $\gamma_{\Phi'}$ corespunzător lui $\text{tg } \Phi'$

În context, în proiectarea geotehnică trebuie să se verifice dacă următoarele stări limită nu sunt depășite la:

1. EQU – pierderea echilibrului structurii sau a terenului, considerat ca un corp rigid, unde rezistențele materialelor structurale și ale pământului sunt nesemnificative în asigurarea rezistenței la starea de echilibru limită. În proiectarea geotehnică, verificarea EQU se limitează la fundațiile portante rigide pe rocă și, în principiu, pentru stabilitatea globală sau probleme legate de acțiunea forțelor ascensionale;

2. STR – cedare internă și informații excesive în structură sau în materiale structurale cum ar fi, spre exemplu: pereți de subsol și sisteme de fundare indirectă (piloți) la care rezistența materialelor este semnificativă în asigurarea rezistenței structurale;

3. GEO – cedarea sau deformații excesive ale terenului, unde rezistența pământului și a rocii este semnificativă în asigurarea rezistenței generale;

4. UPL – pierderea echilibrului structurii sau terenului datorită subpresiunii induse de presiunea apei (forța ascensională) sau datorită altor încărcări verticale.

Coeficienților parțiali relativi la proprietățile de rezistență ai pământului sunt prezentați în tabelul 2.

Ca justificare a valorii parametrilor în SR EN 1998-5:2004 se precizează că valoarea parametrilor de rezistență ai pământului poate fi utilizată, în general, în condiții statice nedrenate:

- pentru pământurile coezive, parametrul optim de rezistență este rezistența la forfecare a pământului în condiții nedrenate, c_u ;
- pentru pământurile necoezive, parametrul optim de rezistență este rezistența la forfecare a pământului, ciclică nedrenată, $\tau_{cy,u}$.

În mod alternativ, se pot folosi parametri de rezistență efectivi ai pământului în condiții statice nedrenate.

Tabelul 2.

Valori ale coeficienților parțiali pentru pământuri (γ_M)

Parametri Pământului	Simbol	Coeficienți parțiali (γ_M)	
		Simbol	Valoare
Coeziunea pământului ^{a)}	c_u	γ_{cu}	1,4
Rezistența la forfecare a pământului ^{a)}	$\tau_{cy,u}$	$\gamma_{\tau cy}$	1,25
Rezistența la compresiune monoaxială	q_u	γ_{qu}	1,4
Unghi de frecare interioară în termeni de eforturi efective ^{b)}	$tg \Phi'$	$\gamma_{\Phi'}$	1,25
NOTA – ^{a)} acești coeficienți se aplică în condiții nedrenate a pământului; ^{b)} acest coeficient se aplică la $\tan \gamma_{\Phi'}$			

Urmărind valorile coeficienților parțiali pentru parametri pământului (γ_M) sub solicitări statice (tabel A.2 și A.3 din Anexa A (normativă), SR EN 1997-1:2004), considerăm că tabelul 3.1 (RO) la anexa națională din SR EN 1998-5: 2004 cuprinde valorile coeficienților parțiali cu un grad de siguranță acoperitor, întrucât experimental, sub acțiuni seismice, are loc o micșorare a rezistenței la forfecare a pământului și, respectiv, a parametrilor acestora, ceea ce ne-ar fi condus la valorile mai reduse comparativ cu solicitările statice.

b. Prescripții referitoare la alegerea amplasamentului și a terenului de fundare pentru pământuri potențial lichefiabile

Documentația întocmită pentru executarea unor obiective de investiții impun investigarea amplasamentului pentru a determina natura terenului de fundare în scopul de a evita pericolul potențial de cedare de instabilitate a pantelor, de lichefiere și de o densificare minimă.

Relativ de evaluarea susceptibilității la lichefiere se precizează la punctul 4.14 din SR EN 1998-5: 2004 că aceasta trebuie efectuată dacă terenul de fundare conține straturi extinse ori lentile groase de nisip afânat până la 20 m adâncime sub nivelul apei subterane sau când nivelul acesteia este aproape de suprafața terenului, prin metode consacrate în ingineria geotehnică, bazate pe măsurători efectuate pe amplasament și eforturile critice de forfecare ciclică (τ_e):

$$\tau_e = 0,65\alpha S\sigma_{v0} \quad (1)$$

unde:

α – este raportul între valoarea de calcul a accelerației terenului (a_g) pentru pământuri de clasa A (EN 1998-1:2004) și accelerația gravitațională, g ;

S – parametru caracteristic al tipului de pământ definit în tabelul 5.5 (EN 1998-1:2004)

σ_{v0} – efortul normal vertical total

$$\sigma_{v0} = \sigma'_{v0} + u$$

σ'_{v0} – efort normal vertical efectiv

u – presiunea apei din pori

Dacă este utilizată o corelație experimentală a efortului de forfecare (τ_e), pământul trebuie considerat ca fiind în condiții de teren orizontal de fiecare dată când forța de forfecare indusă de cutremur depășește o anumită fracțiune λ din efortul critic de forfecare ciclică despre care se știe că a cauzat în timpul cutremurelor anterioare.

Notă: Valoarea atribuită lui λ pentru a fi folosită într-o țară poate figura în anexa sa națională. Valoarea recomandată este $\lambda = 0,8$, ceea ce implică un coeficient de siguranță de 1,25.

Pe teritoriul României se utilizează valoarea recomandată $\lambda = 0,8$.

c. Reguli în faza de concepție și dimensionare a sistemelor de fundare luând în considerare valorile ale accelerațiilor de vârf înregistrate la cutremure

2 P (c) – Pentru dimensionarea sistemelor de fundare sunt impuse în SR EN 1998-5:2004 anumite

exigențe. Exigența care vizează opțiunea națională în NA este cea de la art. 5.2 P (c), care are următorul enunț:

„Dacă o creștere a amplitudinii mișcării seismice cu adâncimea este luată în considerare, această ipoteză trebuie justificată printr-un studiu adecvat și, în nici un caz, ea nu poate corespunde unui vârf al accelerației mai mic decât fracția p dată de produsul αS la suprafața terenului.“

$$p = \alpha \times S$$

unde:

α – raportul dintre valoarea de calcul a accelerației pământului pentru un tip de pământ de clasa A, a_g , și accelerația gravitațională g ;

S – parametru caracteristic al tipului de teren definit în SR EN 1998-5:2004.

Menținerea fracției $p = 0,65$ dată de produsul αS la suprafața terenului ne conduce la următorul raționament:

1. Valori ale accelerațiilor de vârf

Conform prescripțiilor în vigoare în România se stabilește accelerația terenului pentru proiectare (P 100-2006) și anume:

- accelerația terenului pentru proiectare corespunde unui interval mediu de recurență

de referință de 100 ani. Zonarea accelerației terenului pentru proiectare a_g în România, pentru evenimente seismice având intervalul mediu de recurență (al magnitudinii) $IMR = 100$ ani, este indicată în figura 1 și se folosește pentru proiectarea construcțiilor la starea limită ultimă.

- mișcarea seismică într-un punct pe suprafața terenului este descrisă prin spectrul de răspuns elastic pentru accelerații absolute;

- acțiunea seismică orizontală asupra construcțiilor este descrisă prin două componente ortogonale independente între ele; în proiectare spectrul de răspuns elastic pentru accelerații se consideră același pentru cele două componente;

- condițiile de teren sunt descrise prin valorile perioadei de control (colt) T_c a spectrului de răspuns pentru zona amplasamentului considerat.

În condițiile seismice și de teren din România pentru cutremure având $IMR = 100$ ani, zonarea pentru proiectare a teritoriului României în termen de T_c și a spectrului de răspuns în baza datelor instrumentale pentru componentele orizontale ale mișcării seismice este prezentată în figura 2.

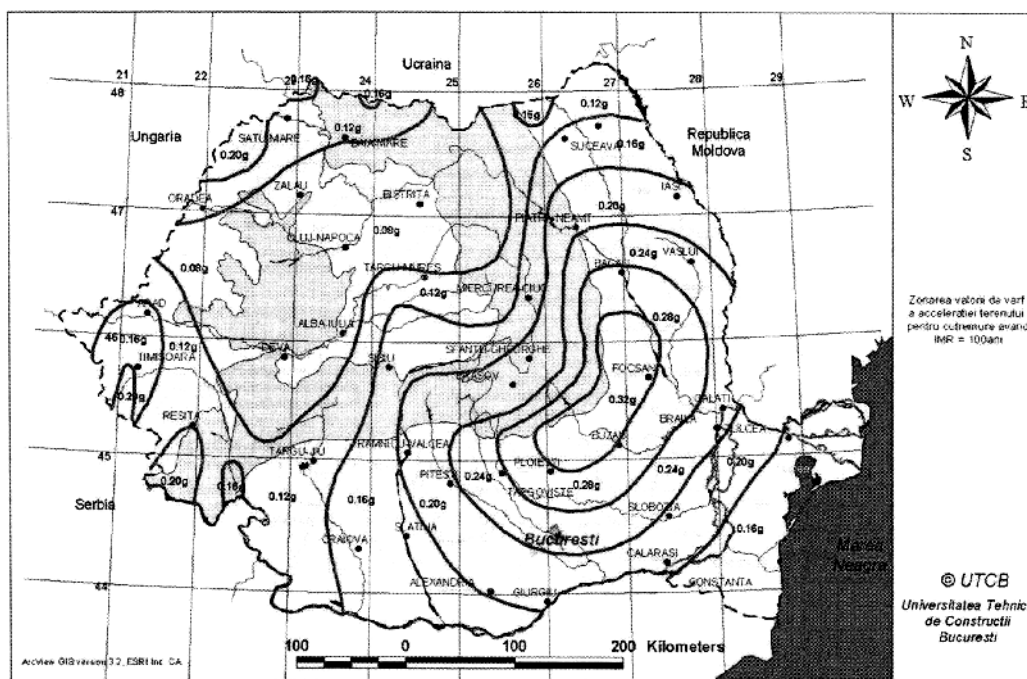


Fig. 1. Zonarea teritoriului României în termeni de valori de vârf ale accelerațiilor terenului pentru proiectare a_g pentru cutremure având intervalul mediu de recurență $IMR = 100$ ani

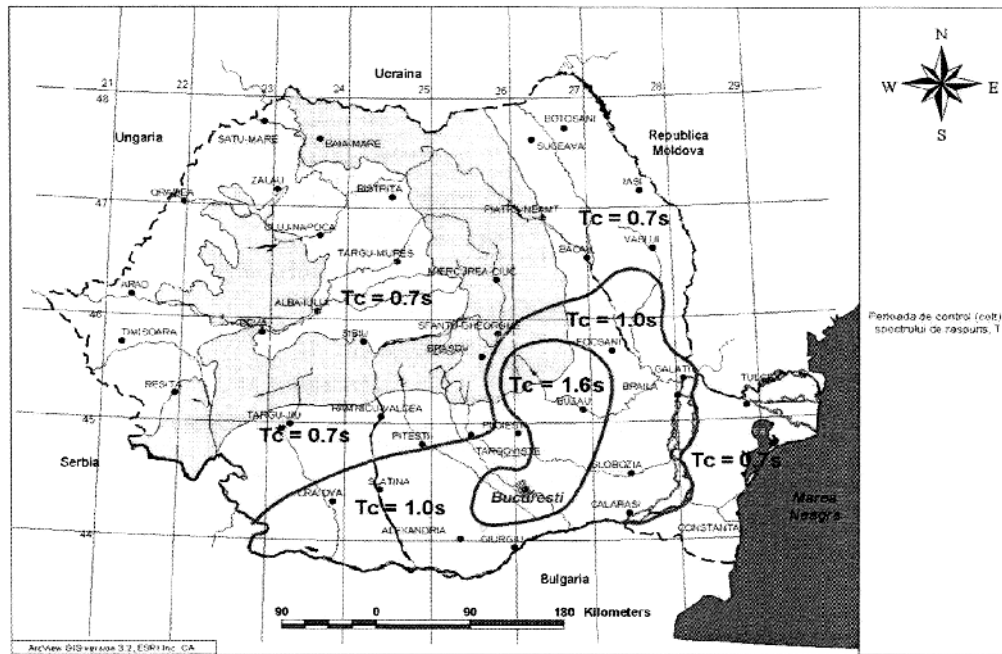


Fig. 2. Zonarea teritoriului României în termeni de perioadă de control (colt), T_c , a spectrului de răspuns

Pentru justificarea fracției din produsul αS funcție de valorile accelerațiilor de vârf (pentru $IMR = 100$ ani) s-au întocmit tabele pentru parametru S pentru 5 clase de teren și diferite localități din țară.

Calculul pentru valori extreme și pentru București este:

$$p = \alpha S = \frac{a_g}{g} \cdot S = \begin{cases} 0,08 - \text{pentru Alba Iulia} \\ 0,24 - \text{pentru București} \\ 0,32 - \text{pentru Focșani} \end{cases}$$

• Pentru spectrul de răspuns de tip 1 – vezi tabelul 3.

Cea mai mare valoare a lui $p = 0,448 < 0,65$.

În Anexa Națională s-a menținut valoarea lui $p = 0,65$ ca recomandare în SR EN 1998-5:2004.

Din rezultatele calcului cea mai mare valoare a lui p pentru orașul Focșani este 0,448, ceea ce ar permite o valoare a lui $p = 0,50$ pentru $IMR = 100$ ani.

Mențiune:

Așa cum s-a precizat în SR EN 1998-1:2004 se face recomandarea calculului lui p pentru $IMR = 475$ ani. Întrucât nu beneficiem pentru România de valori ale accelerațiilor de vârf pentru $IMR = 475$ ani, se preconizează, în noul cod de proiectare, numai pentru București o valoare a lui $a_g = 0,36$ (vezi tabelul 4).

Tabelul 3.

Localitatea	a_g	Teren	S	p	Observații
Alba Iulia	0,08	A	1,0	0,08	
		B	1,2	0,096	
		C	1,15	0,092	
		D	1,35	0,108	
		E	1,4	0,112	
București	0,24	A	1,0	0,24	
		B	1,2	0,24	
		C	1,15	0,24	
		D	1,35	0,24	
		E	1,4	0,24	
Focșani	0,32	A	1,0	0,32	$p = 0,448$
		B	1,2	0,384	
		C	1,15	0,368	
		D	1,35	0,432	
		E	1,4	0,448	

Tabelul 4.

Localitatea	a_g	teren	S	p	Observații
București	0,36	A	1,0	0,360	
		B	1,2	0,432	
		C	1,15	0,414	
		D	1,35	0,486	
		E	1,40	0,504	
Focșani	0,48	A	1,0	0,48	
		B	1,2	0,576	
		C	1,15	0,552	
		D	1,35	0,648	
		E	1,40	0,672	

În condițiile de $IMR = 475$ ani, $p = 0,672 > 0,65$, ceea ce impune în urma anchetei să se definitiveze valoarea lui p pe teritoriul României.

3. Anexele A, C, D și F, cu caracter informativ

3.1. Anexa A (informativă) – Coeficienții de amplificare topografică

Acțiunea seismică de calcul adoptată pentru verificarea stabilității pantelor este în concordanță cu conceptele fundamentale indicate în SR EN 1998-1:2004. În vederea stabilității terenului s-a ținut seama de răspunsul pantelor la acțiunea unui seism având în vedere comportamentul mecanic al pământurilor. Verificarea stabilității menționată în SR EN 1998-5:2004 se poate efectua prin metode de analiză similare cu cele din SR EN 1997-1:2004.

În context, în Anexa A (informativă) la SR EN 1998-5:2004, se menționează că în verificarea stabilității pantelor în cazul unui cutremur, acțiunea seismică se amplifică cu un coeficient de amplificare topografică notat cu S_T , dar aplicabil cu precădere numai în cazul pantelor cu neregularități pentru care se impun anumite criterii și anume:

1. Coeficienții de amplificare topografică trebuie aplicați numai în cazul versanților care prezintă neregularități topografice cu înălțimi mai mari de 30 m.

2. Pentru o înclinare medie a terenului de 15° (sau mai mică); în teren regulat nu se aplica coeficienții de amplificare topografică, cazul necesitând un studiu de analiză atunci când terenul prezintă neregularități.

Valorile coeficienților S_T sunt aplicate asupra acțiunii seismice ca în tabelul 5:

Tabelul 5.

Nr. crt.	Unități geomorfologice	Poziționarea punctelor cu aplicabilitatea lui S_T	S_T
1.	Versanți și pante izolate	Pentru puncte la vârful versantului	$\geq 1,2$
2.	Crește cu lățime mai mică decât lățimea bazei	Pentru pante cu $\beta > 30^\circ$	$\geq 1,4$
3.	Versanți și pante izolate cu strat slab la suprafață	Pentru pante cu $\beta < 30^\circ$	$> 1,2 \times 20 \%$
4.	Crește cu lățime mai mică decât lățimea bazei	Vârf cu $\beta > 30^\circ$	$\geq 1,4 \times 20 \%$
		Pante $\beta < 30^\circ$	$\geq 1,2 \times 20 \%$

Concluzie: Întrucât prescripțiile românești nu cuprind coeficienți de amplificare topografică menționăm că pe teritoriul României se poate utiliza valoarea coeficienților recomandați în Anexa A (informativă) SR EN 1998-5:2004.

3.2. Anexa C (informativă) – Rigiditatea statică la capul piloților

S-a adoptat exprimarea rigidității statice la capul piloților recomandată în Anexa C, SR EN 1998-5:2004, întrucât și pe teritoriul României în prescripțiile tehnice (STAS 2561-1) rigiditățile, forța și momentul aplicate la capul pilotului produc o deplasare și o rotație unitară, exprimată în deplasări.

În context s-a exprimat justificarea însușirii Anexei C (informativă) SR EN 1998-5:2004, conform normelor românești în vigoare.

3.3. Anexa D (informativă) – Interacțiunea dinamică teren-structură. Efecte generale și semnificații

Ca și concept, interacțiunea (sau conlucrarea) între structură și teren este fenomenul de comportare mecanică în care își aduce aportul deformarea structurii și deformarea terenului de fundare, în care se impune satisfacerea anumitor condiții de contact între structură și teren.

Interacțiunea dinamică se produce în situații în care acțiunile care provoacă fenomenul de solicitare și deformare au un caracter variabil în timp, care conduc la forțe de inerție de un ordin de mărime comparabil cu cel al celorlalte categorii de forțe (forțe exterioare date, forțe de legătură diverse).

Anexa D a SR EN 1998-5:2004 cuprinde aspecte ale interacțiunii dinamice teren-structură, exprimate prin răspunsul seismic al unor structuri flexibile fundate pe un teren deformabil.

Argumentam cele afirmate și prin criterii și parametri care influențează interacțiunea teren-structură pentru construcțiile amplasate pe un teren deformabil, conform criteriilor concrete din țara noastră.

A) Se poate afirma, deci, că interacțiunea reprezintă modul de comportare și răspuns la

încărcări a ansamblului construcție-teren, considerat ca o unitate formată din părți componente ce au caracteristici geometrice și mecanice diferite și între care există un proces continuu de redistribuire a eforturilor în timpul creșterii progresive a deformațiilor reazemelor, până la valorile finale.

În cazul acțiunii seismice, pământul își manifestă influența sub diferite aspecte și la diferite scări (figura 3).

B) Analiza fenomenelor de interacțiune dinamică structură-teren, în diversele situații posibile, presupune abordarea unei problematice complexe. În acest scop este utilă considerarea unor clasificări în raport cu o serie de criterii specifice (figura 4).

Criteriul C_1 : tipul de structură

Varietatea din acest punct de vedere este deosebit de mare, dacă se au în vedere structuri ca

cele specifice clădirilor de locuit, construcțiilor industriale, podurilor, barajelor etc. Chiar în cazul clădirilor de locuit, cărora li se acordă principala atenție în această lucrare, este binecunoscută varietatea mare de soluții posibile pentru clădiri cu pereți portanți, cu structuri în cadre, cu structuri mixte cu diferite alcătuiuri posibile.

Criteriul C_2 : tipul de sistem de fundare

Și în acest caz apare o varietate mare de situații, dacă se au în vedere fundațiile de suprafață sau de adâncime, dacă pentru fundațiile de suprafață se consideră soluții cum ar fi cutii pe radier general sau grinzi de fundare, fundații pe tălpi, fundații izolate ale stâlpilor etc.

Criteriul C_3 : tipul de teren

Aceleași lucruri se pot afirma despre terenul de fundare, dacă se au în vedere condiții de fundare

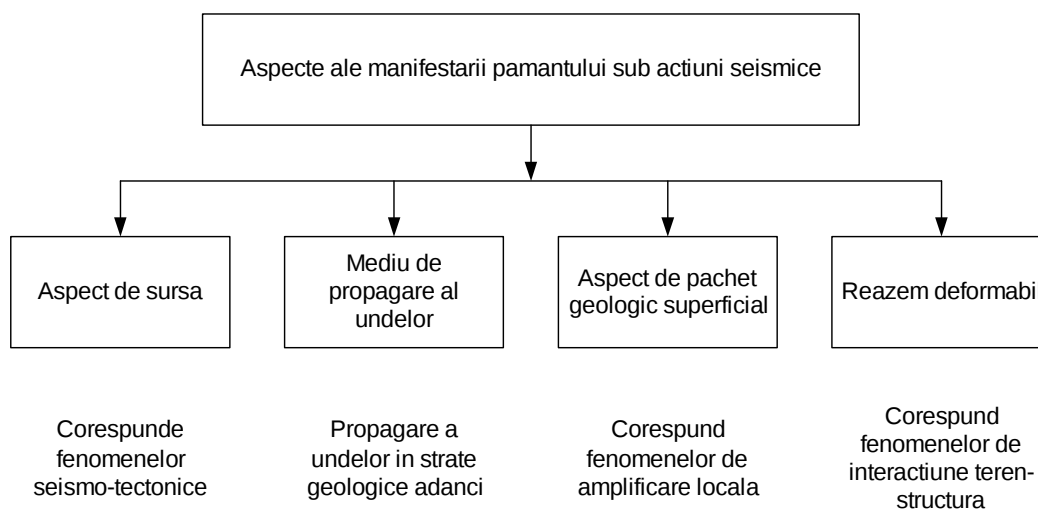


Fig. 3. Aspecte ale manifestării pământului sub acțiuni seismice

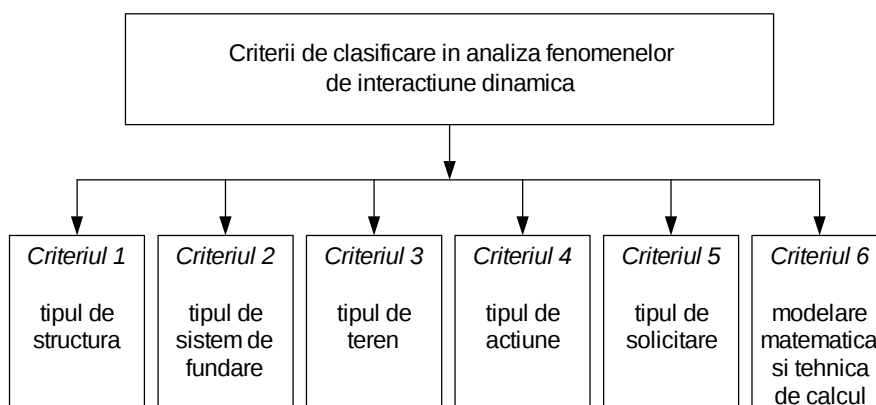


Fig. 4. Criterii de clasificare în analiza fenomenelor de interacțiune dinamică

pe rocă sau pe diferite pământuri, cu diferitele caracteristici geomecanice posibile, cu diferite stratificații posibile etc.

Criteriul C₄: tipul de acțiune

Acțiunile care trebuie considerate în fenomenele de interacțiune dinamică pot să fie de proveniență supraterană (acțiunea dinamică a vântului, acțiunea unor mașini, utilaje și echipamente industriale etc.), sau de proveniență subterană (acțiunea seismică naturală, acțiunea seismică a exploziilor etc.).

Criteriul C₅: stadiul de solicitare

Intensitatea nivelului de solicitare poate fi de așa natură încât să fie acceptabilă o analiză corespunzătoare unei comportări liniare, sau să fie necesară considerarea unor neliniarități mai mult sau mai puțin pronunțate, în special de natură fizică (mecanică, reologică).

Criteriul C₆: modelarea matematică și tehnologică de calcul

Acest criteriu se găsește într-o poziție diferită de precedentele, fiind de natură, putem spune, subiectivă. Din punct de vedere practic el este, însă, de directă importanță întrucât natura modelului matematic și tehnicii de calcul se reflectă direct în rezultatele și concluziile studiilor asupra fenomenelor de interacțiune.

C) Parametri care influențează interacțiunea teren-structură sunt prezentați în figura 5.

3.4. Anexa F (informativă) – Capacitatea portantă, în condiții seismice, a fundațiilor de suprafață

Normele românești GT 014-1997 – “Ghid de proiectare. Calculul terenului de fundare la acțiuni seismice în cazul fundării directe” – cuprind calculul terenului de fundare cu referire la capacitatea portantă a fundațiilor directe sub acțiunea seismică atât în cazul pământurilor coezive, cât și necoezive, expresii care se apropie de cele prezentate în anexa F, cu deosebirea adoptării simbolurilor prezentate în SR EN 1998-5:2004.

A fost adoptată Anexa F, iar în documentație se prezintă și calculul capacității portante din normelor românești, însoțite de exemple de calcul.

3. Concluzii

România este una dintre țările cu condițiile geotehnice dintre cele mai nefavorabile pe aproximativ 30 % din teritoriu (pământuri sensibile la umezire, pământuri aluvionare și pământuri cu umflări și contracții mari), la care se mai adaugă în unele zone și un grad de seismicitate ridicat, fapt pentru care adoptarea Anexei Naționale a SR EN 1998-5:2004 pentru condițiile concrete din țara

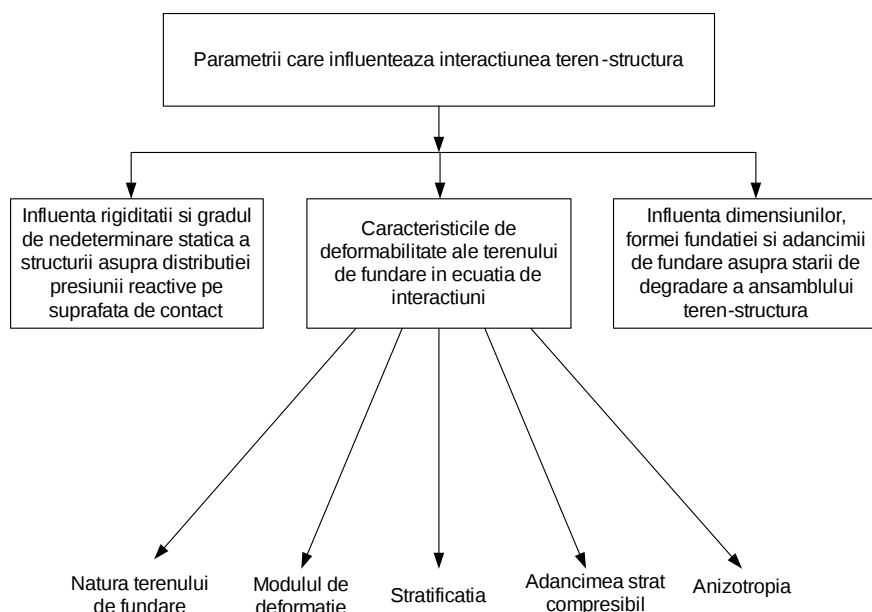


Fig. 5. Parametrii care influențează interacțiunea teren-structură

noastră impune anumite cerințe și condiții relevante privind comportarea tipurilor de pământuri menționate.

BIBLIOGRAFIE

1. EUROCODE 8 – *Proiectarea structurilor pentru rezistența la cutremur. Partea 5: "Fundații, lucrări de susținere și aspecte geotehnice"*
2. C 241-92 – *Metodologie de determinare a caracteristicilor dinamice ale terenului de fundare la sollicitări seismice*, București, vol. 9/1993
3. GP 014-97 – *Ghid de proiectare. Calculul terenului de fundare la acțiuni seismice în cazul fundării directe*, Buletinul Construcțiilor, vol. 12/1998
4. P 100-1/2006 – *Cod de proiectare seismică – Partea I: Prevederi de proiectare pentru clădiri*, Cap.4, pct. 4.4.1.7 și 4.6.2.4.
5. NP 112-2004 – *Normativ pentru proiectarea structurilor de fundare directă*
6. xxx – *Studiu INCERC-București, 1996, Măsurători dinamice în instalația de triaxial ciclic în vederea determinării caracteristicilor dinamice ale terenului din amplasamentul stației seismice în care s-au înregistrat cutremurele vrâncene din 1977, 1986 și 1990*