

Ministerul Educației și Cercetării
Universitatea Tehnică de Construcții București
Facultatea de Căi Ferate, Drumuri și Poduri



*EFFECTUL VARIAȚIEI SPAȚIALE A ACȚIUNII
SEISMICE ASUPRA STRUCTURILOR DE PODURI*

REZUMAT - TEZĂ DE DOCTORAT

Doctorand

Ing. Mircea Conțiu

Conducător științific

Prof. Dr. ing. Dan Crețu

BUCUREȘTI 2020

Lucrarea face o introducere în metodele moderne de analiză a fenomenului de interacțiune teren – structură sub acțiune seismică, dezvoltate pentru domeniul centralelor nucleare, care se aplică ulterior pe o structură de pod, adaptându-le pentru specificul acestora.

În introducere, sunt descrise și explicate efectele produse de trei dintre cutremurele pentru care neluarea în calcul a amplificării dinamice a amplasamentului a avut consecințe catastrofale:

- Vrancea 1977 (România);
- Michoacan 1985 (Mexico City);
- Kobe 1995 (Japonia).



Fig. 1 Cedarea podului nr.3 de pe autostrada Hanshin (Kobe 1995)

După un scurt istoric al domeniului interacțiunii teren – structură, se continuă cu o descriere succintă a metodologiei analizelor SSI prin metoda substructurilor dezvoltată sub coordonare lui J. Lysmer la Universitatea din Berkeley, California din anii 1970-1980.

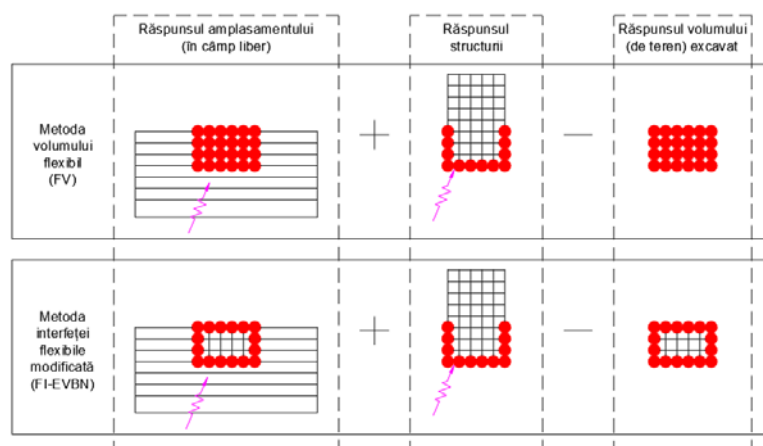
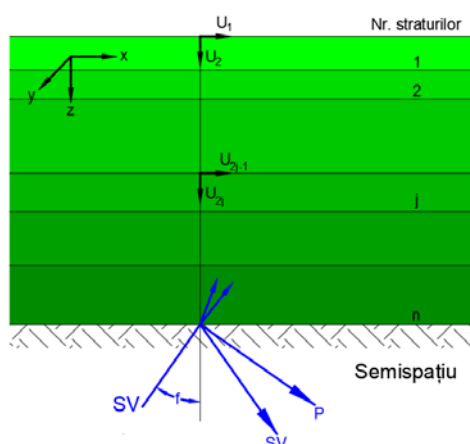


Fig. 2 Abordările de împărțire în substructuri

Se ating toate cele trei componente ale analizei:

- Răspunsul în câmp liber;



**Fig. 3 Modelul plan al propagării
undelor SV**

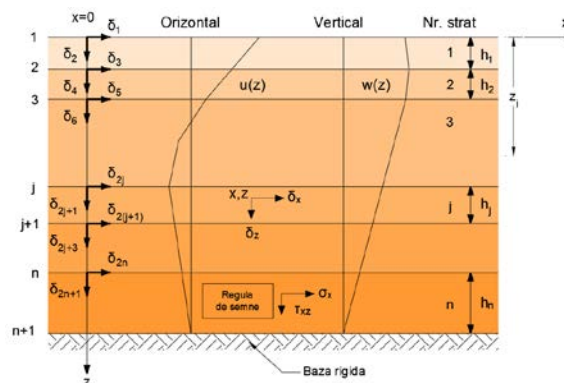


Fig. 4 Moduri de vibrație tipice pentru unde Rayleigh pe un model cu straturi de pamant orizontale

- Calculul impedanțelor în câmp liber;

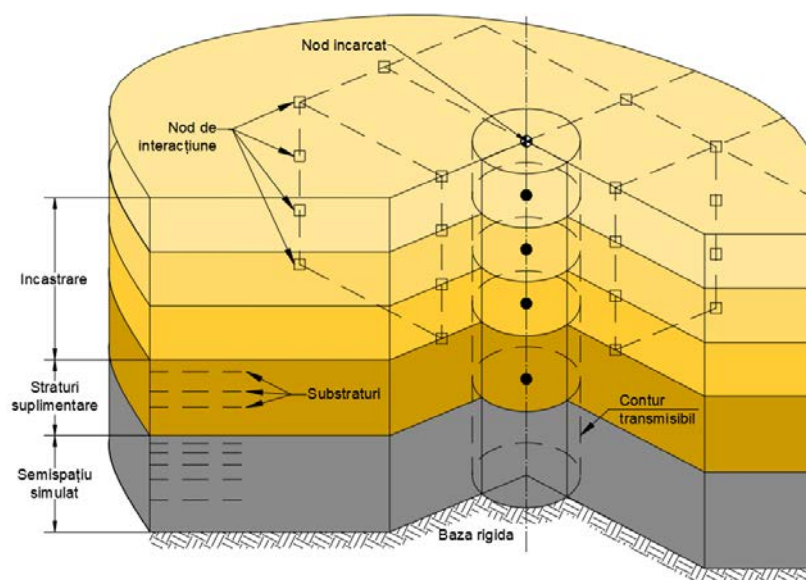


Fig. 5 Model axial simetric și tridimensional al terenului pentru calcularea matricii de impedanță

- Analiza structurală a modelului cu elemente finite.

Se continuă cu definiția și descrierea fenomenului de variație spațială a acțiunii seismice și a cauzelor apariției acestora:

- efectul atenuării, datorat distanțelor variabile de la epicentru;
- efectul incoerenței spațiale, ce se împarte în 3 elemente:
 - o efectul de propagare a câmpului de unde în plan orizontal;
 - o efectul extins al sursei, adică amestecarea tipurilor de unde și direcționalitatea sursei;
 - o a traiectoriei de propagare a undelor, adică dispersia și propagarea complexă tri-dimensională (coerență spațială și efectul variației spațiale a amplitudinii);
- condițiile variabile de sol (efecte locale ale amplasamentului).

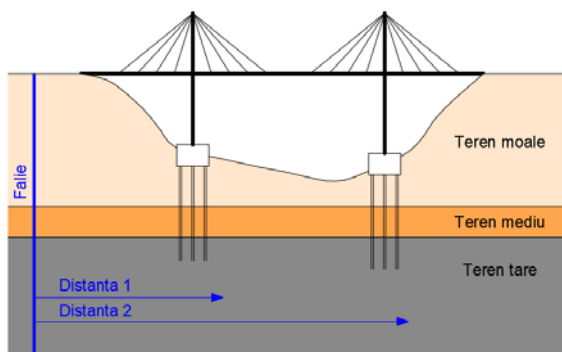


Fig. 6 Atenuarea undelor seismice

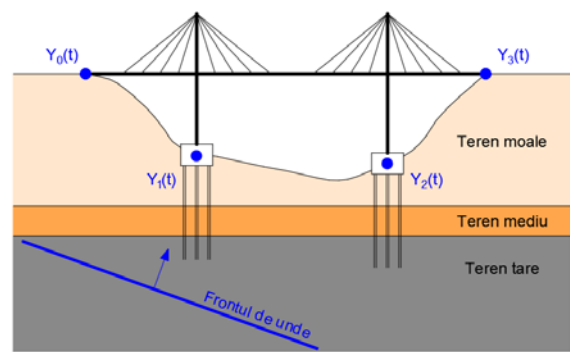


Fig. 7 Efectul de propagare a undelor

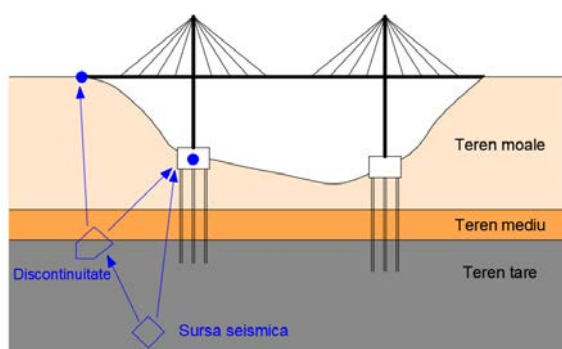


Fig. 8 Efectul complexităților întâlnite la propagarea undei de-a lungul traiectoriei sale

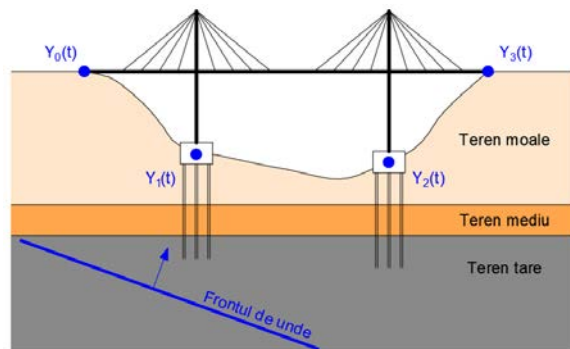
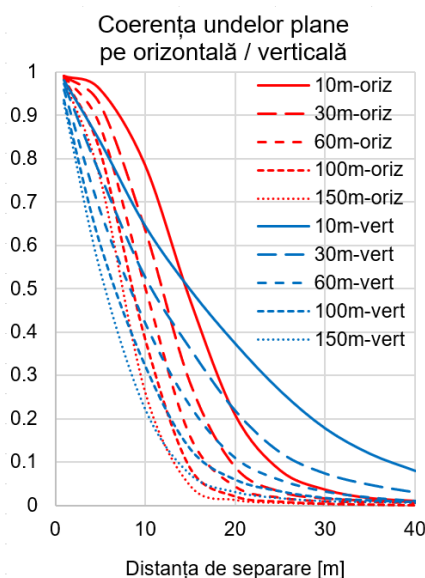


Fig. 9 Efectul extins al sursei

Ultima parte teoretică este constituită dintr-o descriere a modelelor de incoerență dezvoltate de Abrahamson prin prelucrarea măsurătorilor făcute pe rețele dense sau extinse, cu o scurtă prezentare a formulării matematice și un exemplu de funcție de coerență generată pe baza unuia dintre modelele sale.



**Fig. 10 Evoluția funcției de coerență cu variația distanței de separare –
Modelul de coerență Abrahamson 2006**

Analizele sunt realizate în ACS SASSI, un program de calcul specializat pe problema interacțiunii seismice teren-structură, care și-a stabilit o poziție de frunte în domeniu și care a plecat de la o versiunea dezvoltată de o echipă condusă de J. Lysmer de la Universitatea California din Berkeley.

În cadrul studiului de caz realizat în teza de doctorat, se aplică aceste abordări de vârf în proiectarea seismică pe o structură de pod uzuală din țara noastră. Rezultatele analizei SSI sunt comparate cu abordarea tipică de proiectare conform normelor europene. Sunt evidențiate diferențele esențiale dintre cele două abordări, în special pentru input-ul seismic incoerent, diferențe care pot fi atât de partea siguranței, când proiectarea clasică supraestimează eforturile, conducând la creșteri ale costurilor construcției, cât și de partea vulnerabilității, când proiectarea clasică nu surprinde diferite fenomene, care duc la depășiri ale capacității de rezistență, deci și o scădere a gradului de siguranță.

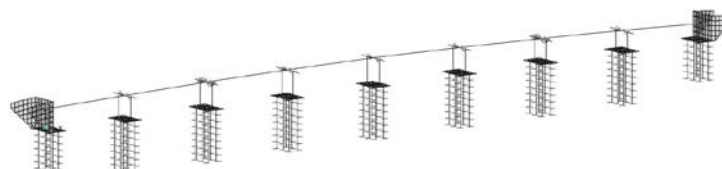


Fig. 11 Modelul de proiectare al podului

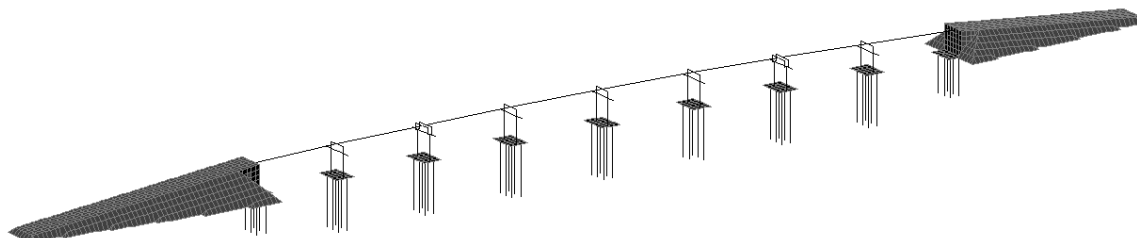


Fig. 12 Modelul SSI al podului

De asemenea, se arată că metoda simplificată de simulare a variației spațiale a acțiunii seismice conform Eurocod ratează să surprindă esențialul: caracterul dinamic și puternic aleator al câmpului de unde seismice care se propagă prin pământ.

Datorită unor probleme întâmpinate în modelul cu bare folosit în prima etapă, lucrarea continuă cu un studiu aprofundat al modelării unei fundații de adâncime, pe coloane forate de diametru mare, pentru una dintre pilele podului. Deoarece amplasamentele centralelor nucleare erau de obicei alese pe rocă sau pământuri foarte bune, nu au fost cercetate fundațiile de adâncime, nefiind necesare. Există foarte puține lucrări în care specialiștii SSI au abordat problema podurilor și în care se prezintă recomandări generale, motiv pentru care, în teza de doctorat, a fost dezvoltată și propusă o metodologie proprie de modelare.

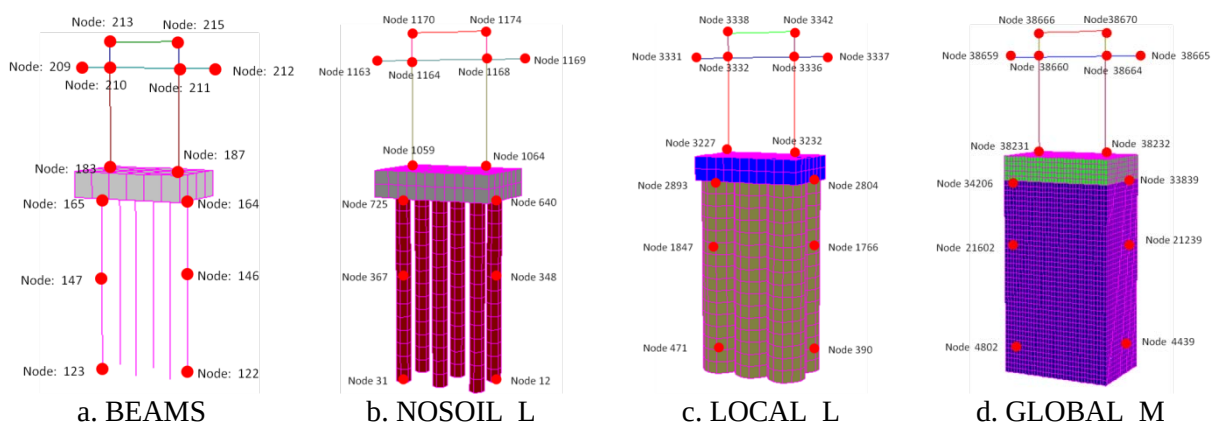


Fig. 13 Modelele fundațiilor pilelor care sunt studiate

În studiul aprofundat al unei fundații, s-a observat faptul că modelele tip stick (cu bare și plăci) pentru radier și piloți nu se comportă corect, în comparație cu modelele cu elemente finite 3D solide. Acest lucru este în concordanță cu experiența din domeniul nuclear, unde modelele stick de centrale nucleare, aveau tot timpul radierul realizat cu elemente finite de tip solid tridimensional.

S-a continuat cu considerarea unei zone de pământ în apropierea piloților și a radierului, care se comportă puternic neliniar, datorită deplasării fundației și a reflexie și refracției undelor din structura de beton foarte rigidă în comparație cu pământul.

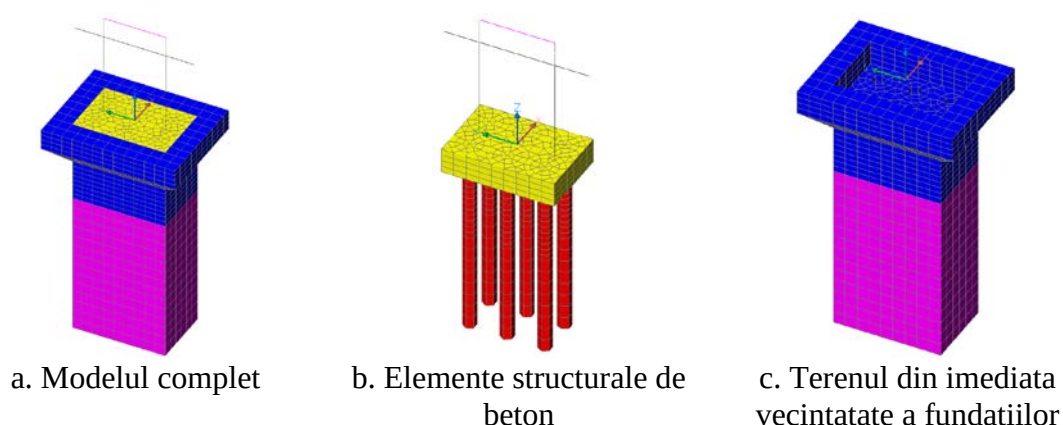


Fig. 14 Modelul pilei pentru calcule neliniare

Chiar și în această situație, forțele care se transmit axial în piloți depășeau capacitatea de frecare pe care o poate avea pământul la contactul cu piloții. Datorită lipsei unei metode specifice dezvoltată pentru abordarea SSI, studiul s-a concentrat pe crearea unui model de interacțiune pilot – teren, la interfața dintre ele, obținut din adaptarea unor metode din practica de poduri la abordarea SSI.

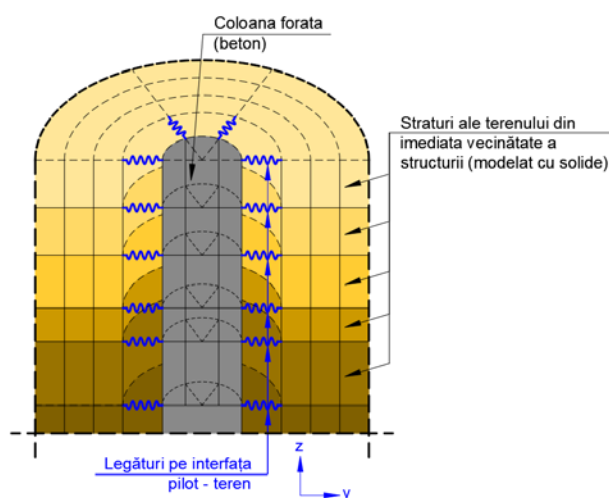


Fig. 15 Modelarea resoartelor pe interfața pilot-teren

După finalizarea acestei etape, metodologia de abordare a analizelor SSI pe fundații de adâncime și modelul folosit s-a considerat finalizată.

În ultimul pas de calcul, s-a făcut și o analiză SSI a fundației cu abordare probabilistică. Această abordare este un procedeu mai recent, fiind introdusă în normativele specifice pentru centrale nucleare doar în ultimii ani și nefiind încă folosită pe scară largă nici măcar în acel domeniu. Prin prisma unei analize probabilistice, se pot descoperi puncte sensibile ale structurii, datorită variațiilor introduse de acțiunea seismică, în parametrii pământurilor (precum rigiditatea determinată de viteza undelor S, de forfecare și P, principale sau curbele de comportare neliniară $G-\gamma$ și $D-\gamma$, modul de elasticitate transversal-deformații specifice de forfecare respectiv amortizare- deformații specifice de forfecare).

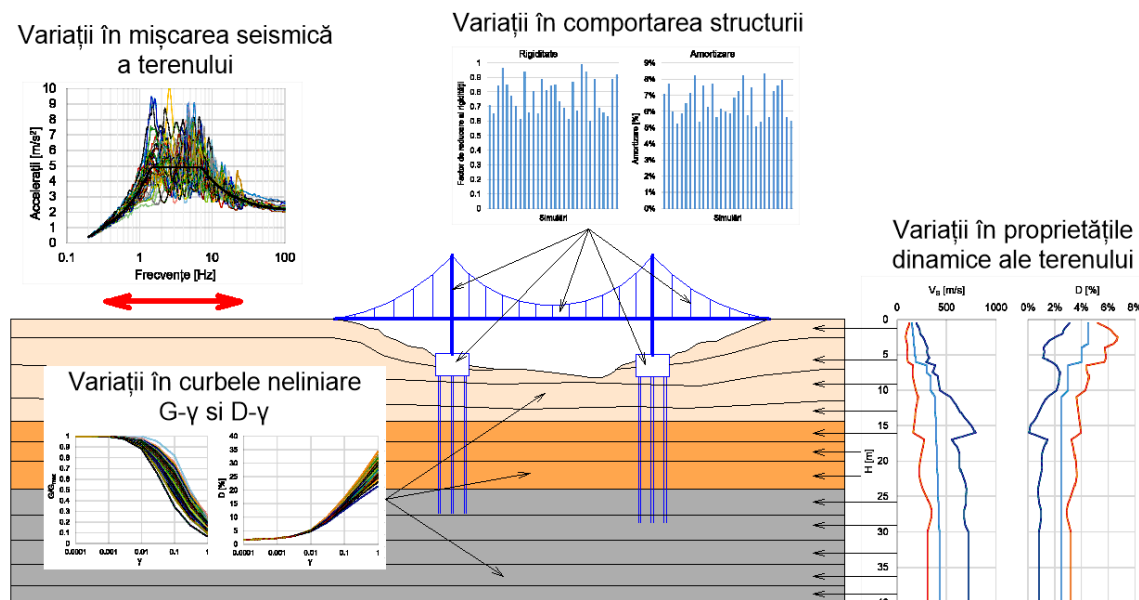


Fig. 16 Schita unei analize probabilistice SSI complete

În acest fel s-au descoperit diferențe de comportare și intensitate a răspunsului structurii între analizele SSI clasice, deterministe, și analiza SSI probabilistică. La fel ca și în cazul comparației proiectare - analiza SSI deterministă, diferențele sunt prea variate pentru a putea fi considerate printr-o abordare simplistă, cum ar fi coeficienți de siguranță.

Concluzia cea mai importantă din actualul studiu este că abordările din practica curentă pentru proiectarea seismică a podurilor nu reușesc să surprindă comportarea reală din timpul unui cutremur.

Cele mai avansate abordări care se folosesc pe podurile foarte mari și cu un grad de importanță ridicat sunt, în mod uzual, o combinație între o simulare de propagare a undelor

în câmp liber cu calcularea mișcării seismice a pământului în dreptul fiecărei fundații, determinarea impedanțelor fundațiilor și atribuirea lor prin resoarte în modelul de calcul structural. Totuși, chiar și această abordare ratează esențialul: interdependența comportării structurii și a terenului.

Lucrarea de doctorat pune la dispoziție metodologia care trebuie aplicată pentru poduri, pentru o proiectare seismică riguroasă, sigură și economică.

De asemenea, s-a făcut un prim pas legat de perfecționarea modelelor de fundații de adâncime în analizele SSI, care devin din ce în ce mai cerute și în domeniul nuclear pentru amplasarea centralelor clasice pe pământuri mai slabe sau pentru centralele nuclear de dimensiuni mici, modulare, și îngropate la adâncime mare în pământ.