

METODE SI MODELE NUMERICE PENTRU ESTIMAREA PROPAGARII ZGOMOTELOR LA AUTOVEHICULE

Nicolae FANTANA * , Tudor MITRAN *

· Universitatea din Oradea

ABSTRACT

This paper considers two questions: how does one know when a boundary element mesh is reliable ,and what are the advantages and potential pitfalls of various methods for sound radiation prediction.

1.INTRODUCERE

Metodele numerice ca si metoda elementului limita (EL) pot fi folosite pentru a estima sunetul emis de sistemele vibrante precum motoare, pompe si componente ale acestor sisteme (ex: capacul motorului). În mod normal, datele referitoare la vibratii si modelul numeric pentru modelul EL (elementului limita) vin dintr-o analiza a elementelor structurale finite EF a componentei sau sistemului. Acest proces implica mai multi pasi, mai întâi modelul EF(elementelor finite) trebuie „curatat” pentru a elimina toate elementele interioare, lasând numai suprafetele modelului în contact cu domeniul acustic. În al doilea rând ,orice goluri din modelul EF(elementelor finite) trebuie închise folosind elemente de limita nou definite. Acest pas este necesar deoarece altfel EL (elementului limita) va calcula sunetul emis din interiorul componentei spre exterior prin aceste goluri.

Un pas final în pregatirea modelului EL (elementului limita) este acela de a reduce cât de mult posibil rețeaua EF(elementelor finite) originala. Acest pas este important deoarece scade timpul de aflare a solutiei pentru matricea EL (elementului limita) care este proportionala cu N^2 unde N este numarul de noduri. Este posibil ca rețeaua sa nu poata fi redusa daca structura emite sunet sub frecventa de coincidenta pentru ca în acest caz este nevoie de o rețea fina pentru a rezolva datele vibratiei structurale. Totusi, pentru multe modele reducerea poate fi finalizata cu succes daca se are în vedere sa nu se „stearga” nodurile structurale în timpul reducerii. Software-ul comercial (LMS, 2000; SFE, 1998) este disponibil pentru reducerea rețelei, însa procesul necesita un grad înalt de efort si experienta din partea utilizatorului.

În ciuda reducerii rețelei EL (elementului limita) si cresterii performantelor calculatoarelor, modelele EL (elementului limita) pot necesita un timp inacceptabil de lung pentru executie daca rezultatele sunt cerute la multe frecvente. În proiectare si procesare se pierde timp suplimentar cu evaluarea fiabilitatii modelelor EL (elementului limita) si cu verificarea corectitudinii rezultatelor. Pentru analist acest timp poate fi extrem de împovarator în comparatie cu metoda elementului finit EF(elementelor finite) a carei modele ruleaza mai repede decât modelele EL (elementului limita).

Metoda EL elementului limita sufera totodata probleme de ne-unicitate si inexistentă . Aceste probleme se ridica din formularea matematica a metodei EL (elementului limita), dar pot fi remediate în timpul solutiei numerice definind puncte sau plane de elemente absorbante în interiorul rețelei. Deoarece nu sunt criteriile general acceptate pentru selectia si plasarea acestor

puncte sau plane, rămâne încă o dată estimării și experienței analistului să verifice dacă modelul este fiabil.

Odată ce analistul se hotărăște asupra unei rețele, mai multe metode EL (elementului limita) sunt disponibile pentru estimarea câmpului sonor. Cele mai întâlnite sunt metoda directă a elementului limita și metoda indirectă a elementului limita. În unele cazuri, metoda integralei Rayleigh poate fi o alternativă acceptabilă, mai ales atunci când exactitatea poate fi sacrificată pentru a câștiga un timp mai rapid de răspuns.

În această lucrare discutăm o metodă de verificare a rețelei care să-l ajute pe analist să realizeze un model EL (elementului limita) care este totodată fiabil și eficient. Această metodă constă în plasarea unor puncte sursă în interiorul rețelei EL (elementului limita) și determinarea analitică a vitezei de suprafață normală pentru fiecare nod. Condițiile de limita a vitezei sunt folosite pentru a calcula câmpul sonor la exteriorul rețelei, care este comparat cu puterea cunoscută a sunetului la punctele sursă. Folosind această abordare, o rețea EL (elementului limita) poate fi redusă (sau rafinată) pentru a obține o rețea fiabilă și totodată eficientă.

De asemenea, în această lucrare, metodele EL (elementului limita) directe și indirecte sunt comparate cu metoda integralei Rayleigh pentru cazul radiațiilor sonore de la un motor diesel. Verificarea rețelei este folosită atât pentru a valida rețeaua cât și pentru selectarea și plasarea punctelor și planelor interioare auxiliare pentru modelele EL (elementului limita).

2. UN EXEMPLU DE REDUCERE A REȚELEI

Figura 1 arată un model de element finit a unei cabine de construcții. Rețeaua este relativ uniformă, cu excepția unor mici elemente care maschează cauciucul folosit la prinderea ferestrelor. Deși imposibil de observat din exterior, modelul are un interior complicat și are mai multe deschideri și goluri. Un exemplu de rețea EL (elementului limita) pentru cabina este prezentat în figura 2. În completare la închiderea rețelei și eliminarea componentelor interioare, numărul nodurilor de suprafață a fost redus cu un factor de aproximativ cinci.

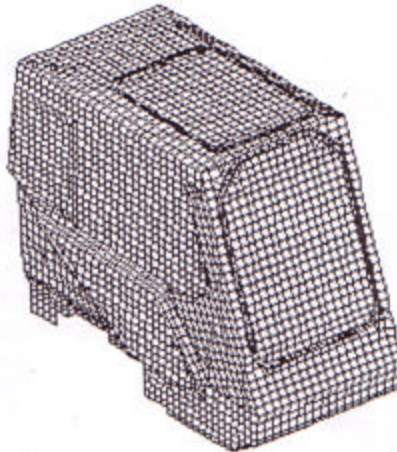


Figura 1. Modelul unui element finit al unei cabine.

3. VERIFICAREA REȚELEI

Un criteriu pentru estimarea frecvenței maxime la care se așteaptă ca o rețea să furnizeze rezultate exacte este regula celor „șase elemente per lungime de undă” (Marburg, 2000). Criteriul

este bazat pe cea mai mare dimensiune a elementului diagonal din retea, un criteriu foarte conservativ. Acest criteriu este folosit de LMS SYSNOISE (LMS, 2000)

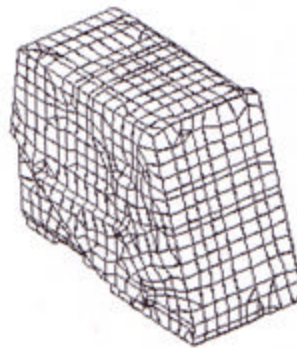


Figura 2. Reteaua EL (elementului limita) redusa a cabinei.

si are grija ca utilizatorii sa nu foloseasca o retea deasupra frecventei sale maxime. Totusi, pot exista cazuri în care un utilizator experimentat poate dori sa foloseasca o retea deasupra frecventei sale maxime, ex: daca reseaua are doar câteva elemente mari sau pentru a evita rafinarea rețelei pentru a rula la câteva frecvente deasupra frecventei maxime. O procedura avansata este necesara.

O procedura pentru verificarea rețelei EL (elementului limita), consta în plasarea unuia sau mai multor puncte sursa în interiorul rețelei, dupa cum se poate vedea în figura 3.

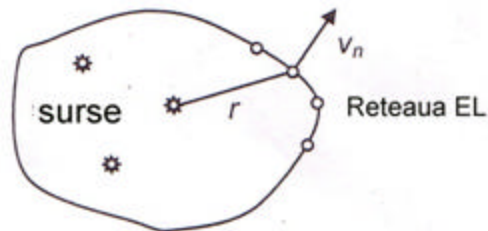


Figura 3. Procedura verificarii rețelei.

Presiunea sunetului la un nod aflat la distanta r de fiecare punct sursa este:

$$p(r) = \frac{A}{r} e^{j(\omega t - kr)}$$

(1)

unde $k = \omega/c$ este numarul undei, ω este frecventa unghiulara si c este viteza sunetului. Constanta A este selectata pentru a produce o anumita putere W a sunetului din fiecare sursa.

$$A = \sqrt{\frac{\rho_0 c W}{2\pi}}$$

(2)

unde ρ_0 este densitatea ambientala a fluidului. Viteza particulei normala la limita la un nod este

$$v_n = -\frac{1}{j\omega \rho_0} \frac{dp}{dr} \cdot \vec{n}$$

(3)

Viteza particulei în ecuația (3) este calculată la fiecare nod al rețelei și folosită ca o condiție de limită pentru soluția EL (elementului limită). Presiunea sunetului obținută din soluția EL (elementului limită) poate fi apoi comparată cu presiunea exactă a sunetului dată de ecuația (1). Este de obicei acceptabil să se compare puterea sunetului obținută din soluția EL (elementului limită) cu aceea specificată în ecuația (2), mai ales dacă rețeaua EL (elementului limită) va fi folosită numai pentru estimarea puterii sunetului.

4. EXEMPLE DE VERIFICARE A REȚELEI

Înainte de a folosi procedura de verificare a rețelei pe rețeaua cabinei din figura 2, este instructiv să o folosești pe rețele mai simple. Figura 4 arată rezultatele folosirii tehnice de verificare a rețelei pe o cutie având o rețea uniformă. Pentru acest exemplu, un singur punct sursă având o putere a sunetului de 1W (120 Db re 10^{12} W nivelul puterii sunetului) a fost folosit. Dacă se definește (arbitrar) limita superioară a frecvenței ca fiind acolo unde eroarea rețelei depășește 0.5 dB, se poate vedea din figura 4 că rețeaua uniformă a cutiei este validă până la aproximativ 700 Hz. Casuta „Max Frequency- Frecvența

Maxima” din fig. 4 corespunde criteriului celor „șase elemente per lungime de undă”. Pentru rețeaua uniformă a cutiei, criteriul erorii de 0.5 Db releva rezultate ușor mai puțin conservative.

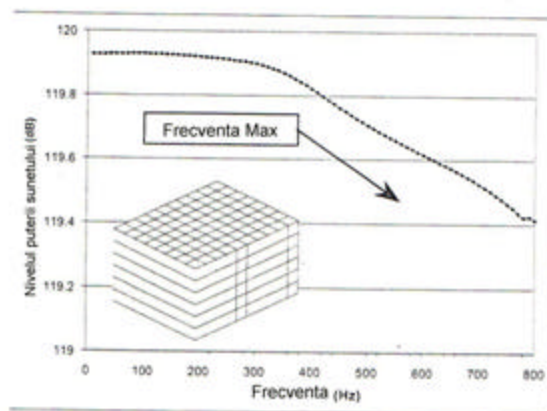


Figura 4. Verificarea rețelei pe o rețea uniformă.

Un al doilea exemplu este arătat în fig.5. Rețeaua din fig.5 constă într-o distribuție a elementelor între mari (la ecuator) și mici (la poli). Frecvența maximă calculată după mărimea maximă a unui element este de 240 Hz, dar de fapt rețeaua relevă rezultate până la aproximativ 800 Hz folosind criteriul erorii de 0.5 dB. Acest exemplu arată că regula celor „șase elemente pe lungime de undă” relevă un rezultat foarte conservativ atunci când o rețea are o rază mare de mărime a elementelor. Impactul acestei diferențe poate fi semnificativ. Pentru a face rețeaua din fig.5 folosibilă la 720, mărimea elementului trebuie redusă cu un factor de 3, aceasta va duce la o creștere cu aproximativ 9^2 în numărul de noduri și o creștere de 9^3 în timpul soluției EL (elementului limită)! Deși este un caz extrem, arată importanța minimalizării numărului de noduri a unei rețele EL (elementului limită).

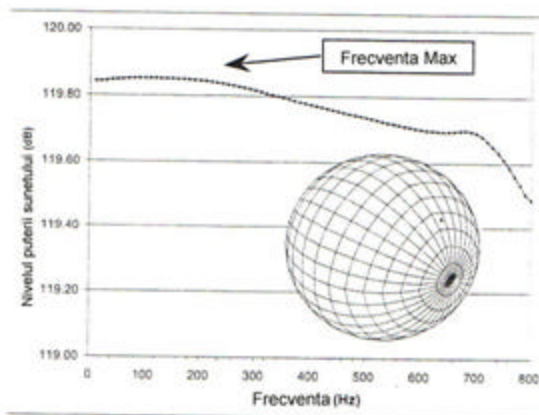


Figura 5. Verificarea rețelei pe o rețea sferică.

Un al treilea exemplu este prezentat în fig.6. Aceasta rețea constă într-o rază de dimensiuni ale elementelor aranjate pe fețe multiple legate la margini și la colțuri. Din cauza complexității motorului, rezultatele nu sunt clare la frecvențe mari. Totuși, rețeaua relevă estimări corecte ale puterii sunetului (în raza de 0,5 dB) la 1600 Hz în timp ce regula conservativă a celor „șase elemente pe lungime de undă” estimează rezultate exacte numai la aproximativ 900 Hz.

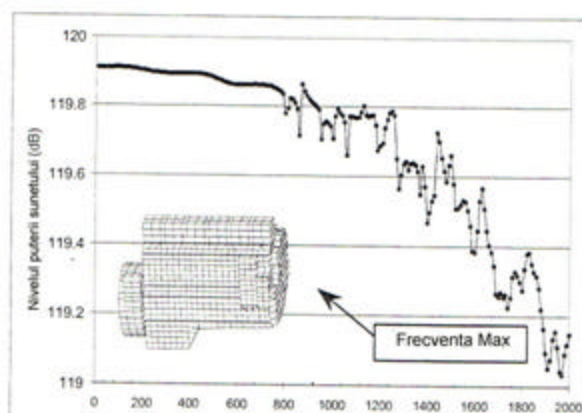


Figura 6. Verificarea rețelei pe o rețea a unui motor.

În final, procedura verificării rețelei este aplicată rețelei EL (elementului limită) în fig. 2 și unei a doua rețele EL (elementului limită) a cabinei prezentate în fig. 7. Rețelele din fig. 2 și 7 constau în 1220 și respectiv 602 noduri. Figura 8 arată rezultatele aplicării procedurii de verificare a rețelei pe aceste două rețele. Este interesant faptul că utilizând criteriul celor „șase elemente pe lungime de undă” frecvența maximă este crescută cu aproximativ 50 de procente (dublându-se numărul de noduri) dar raza folosită a frecvențelor a fost aproape dublată folosind aproape orice criteriu al erorii (nu numai 0,5 dB).

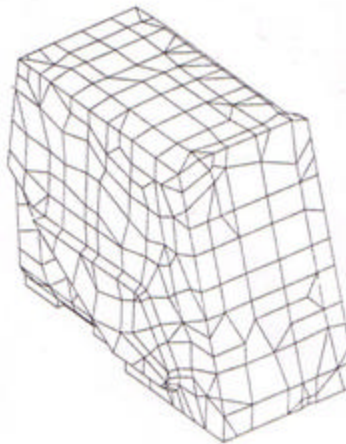


Fig.7.Reteaua EL(elementului limita) a cabinei cu 602 noduri.

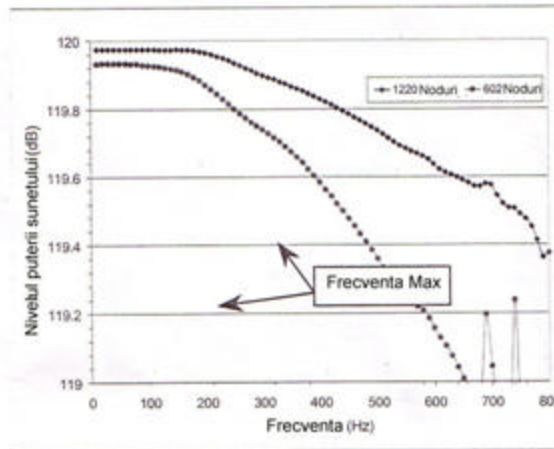


Figura 8. Verificarea rețelei pe rețelele EL (elementului limita) ale cabinei.

5. CONCLUZII

Regula celor „șase elemente per lungime” pentru estimarea frecvenței maxime a unei rețele EL (elementului limita) este recomandată pentru utilizatorii noi și ocazionali ai programelor EL (elementului limita). Totuși procedura verificării rețelei introdusă aici permite utilizatorului experimentat să fie mai agresiv în rularea programelor EL (elementului limita). Această procedură permite de asemenea utilizatorului să evalueze remediile pentru problemele de ne-unicitate și inexistența care sunt importante pentru obținerea unor rezultate valide folosind MELD (metoda elementului limita directă) și MELI (metoda elementului limita indirectă).

Metoda verificării rețelei nu este răspunsul complet la întrebare. Utilizatorul trebuie încă să se asigure că rețeaua este de ajuns pentru rezolvarea deflecțiilor operaționale a suprafeței structurii. Aceasta se realizează cel mai bine prin suprapunerea formelor de deflecție pe rețea și observare dacă numărul de noduri este suficient pentru a rezolva formele de deflecție.

6. BIBLIOGRAFIE:

1. BRÎNDEU L.- Vibratii si vibropercutii „Bazele mecanicii vibratiilor si vibropercutiilor ” Ed. Politehnica Timisoara 2001.
2. BRÎNDEU L.- Vibratii si vibropercutii „Metode si dezvoltari analitice ” Ed. Politehnica Timisoara 2005.
3. DARABONT A. s.a.-, „Combaterea poluarii sonore si a vibratiilor” Ed. Tehnica Bucuresti 1980.
4. GAFITEANU M. s. a. „Diagnosticarea vibroacustica a masinilor si utilajelor „ Ed. Tehnica Bucuresti 1989.
5. GAFITEANU M. s.a. „Vibratii si zgomote „ Ed. Junimea 1980.
6. A.F.SEYBERT s. a. „ Vehicle noise and vibration „Editet by Challen B. 2004.