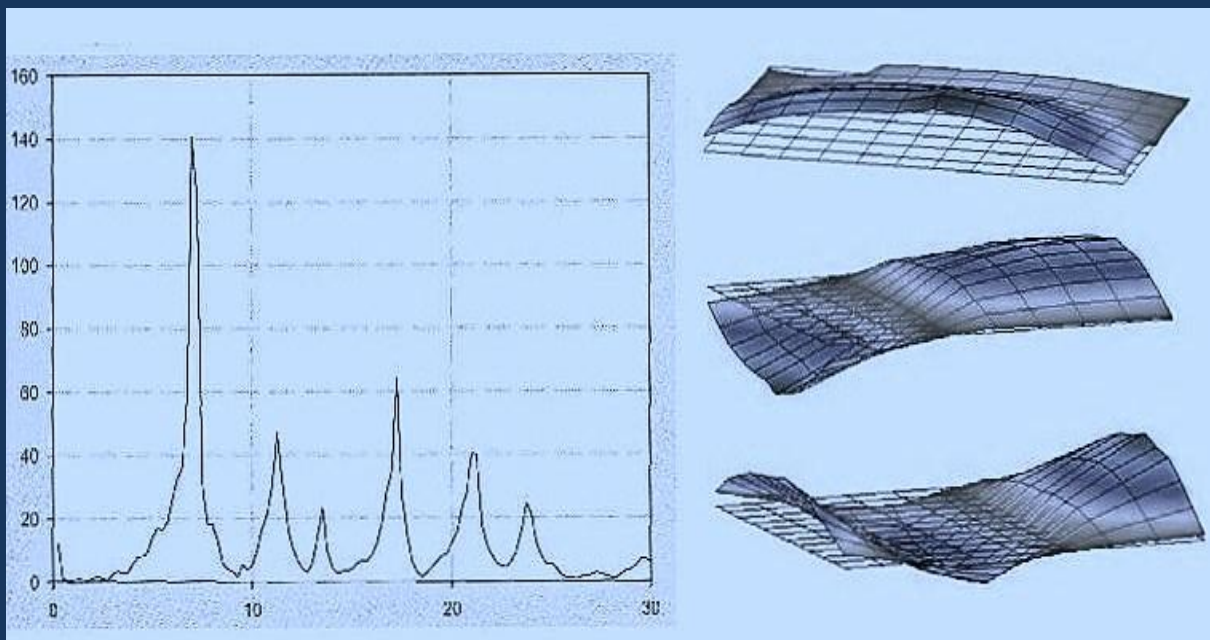




UNIVERSITATEA TEHNICA DE CONSTRUCTII BUCURESTI
FACULTATEA de CONSTRUCTII CIVILE, INDUSTRIALE SI AGRICOLE
Specializarea: INGINERIE STRUCTURALA

LUCRARE de DISERTATIE
VIBRATIILE PLANSEELOR
INDUSE de ACTIVITATI UMANE



PROFESOR COORDONATOR:
Prof. univ. dr. ing. Dan CRETU

ABSOLVENT STUDII APROFUNDATE:
ing. Iuliana-Irina STEFAN



UNIVERSITATEA TEHNICA DE CONSTRUCTII BUCURESTI
FACULTATEA de CONSTRUCTII CIVILE, INDUSTRIALE SI AGRICOLE
Specializarea: INGINERIE STRUCTURALA

VIBRATII ALE PLANSEELOR
INDUSE de ACTIVITATI UMANE

ing. Iuliana-Irina STEFAN

PREFATA

Cerinta crescanda de a folosi sisteme structurale care sa indeplineasca, pe langa conditiile esentiale de rezistenta, rigiditate si deformabilitate si conditii estetice din ce in ce mai exigente a condus, in ultimile decade, la folosirea de materiale cu rezistente marite si sectiuni reduse. Aceste sisteme structurale prezinta o sveltete sporita si, in consecinta, o mult mai mare vulnerabilitate in fata vibratiilor produse de diverse incarcari de exploatare, fenomenul fiind frecvent pentru o gama larga de structuri supuse incarcarilor dinamice.

De foarte multa vreme, inginerii structuristi incearca sa dezvolte solutii ce implica o cat mai mare viteza de executie concomitent cu costuri cat mai reduse. Aceasta filosofie a rezultat in solutii structurale mult mai suple, modificand ades starile limita ultime si de serviciu care le guverneaza comportamentul structural. Una dintre consecintele acestei tendinte in proiectare este o crestere considerabila a problemelor privind vibratiile nedorite ale planseelor.

Cresterea semnificativa a numarului constructiilor cu plansee supuse vibratiilor nedorite este cauzata ades de faptul ca un mare numar de ingineri desconsidera sau nu stiu cum sa includa in analiza structurala actiunile dinamice. Aceste plansee sunt in mod normal proiectate folosind metode statice de calcul care de multe ori nu acopera adevaratul lor comportament si omit adesea amplificari dinamice, rezultand in proiectari necorespunzatoare ce conduc in ultima instanta la vibratii si disconfortul ocupantilor.

Intensitatile inalte ale vibratiilor pot aparea in sistemele de plansee datorita excitatiei produse de activitati umane cum ar fi mersul sau gimnastica aerobica. Vibratiile excesive nu sunt in general o problema de siguranta in conceperea planseelor ci mai degraba una de disconfort. Vibratiile excesive apar in mod normal in: (a) plansee usoare; (b) sisteme de plansee cu rigiditate redusa unde frecventa proprie dominanta a planseului este apropiata frecventei excitatiei si (c) plansee cu amortizare scazuta. In timp ce masa si rigiditatea planseelor sunt in mod normal constante pe parcursul vietii structurii, amortizarea este mai greu de apreciat, pentru ca ea este in mare parte asociata elementelor nestructurale cum ar fi partitionari, pardoseli flotante, tavane suspendate etc.

Extinderea folosirii pentru planseele cladirilor a solutiilor structurale cu materiale usoare ajuge astfel sa puna in evidenta necesitatea verificarii acestora, in cadrul proiectarii la starea limita a exploatarii normale, pentru satisfacerea criteriului de confort fata de efectul vibratiilor asupra utilizatorilor.

CUPRINS

PREFATA

- 1. CONSIDERATII GENERALE _____ - 4 -**
 - 1.1. TERMINOLOGIA DE BAZA FOLOSITA IN CALCULUL VIBRATIILOR- 5 -
 - 1.2. PRINCIPII DE EVALUARE A IMPACTULUI VIBRATIEI PLANSEELOR- 8 -
 - 1.3. SURSE DE VIBRATII IN CLADIRI _____ - 10 -
 - 1.4. EFECTUL VIBRATIILOR ASUPRA OCUPANTILOR CLADIRII. FACTORI CE INFLUENTEAZA PERCEPTIA VIBRATIILOR _____ - 11 -
 - 1.5. CATEGORII ALE RASPUNSULUI UMAN _____ - 15 -
- 2. PROIECTAREA PLANSEELOR PENTRU SATISFACEREA CRITERIULUI DE CONFORT _____ - 16 -**
 - 2.1. RASPUNSUL UMAN LA MISCAREA PLANSEULUI _____ - 16 -
 - 2.2. CRITERII RECOMANDATE IN PROIECTAREA SISTEMULUI STRUCTURAL AL PLANSEELOR PENTRU ACTIUNI INDUSE DE ACTIVITATEA UMANA _____ - 22 -
 - 2.3. EVALUAREA INCARCARII DINAMICE INDUSA PLANSEELOR DE ACTIVITATI UMANE _____ - 34 -
- 3. DETERMINAREA CARACTERISTICELOR SISTEMULUI STRUCTURAL AL PLANSEULUI _____ - 43 -**
 - 3.1. CALCULUL FRECVENTEI PROPRII PRIN METODE APROXIMATIVE _____ - 43 -
 - 3.2. FRECVENTA PROPRIE A PLANSEELOR CU STRUCTURA METALICA PRIN METODE EXACTE _____ - 47 -
- 4. CONCLUZII SI RECOMANDARI – LIMITE DE ACCEPTARE PENTRU RASPUNSUL DINAMIC AL PLANSEELOR _____ - 55 -**
 - 4.1. VALORI ACCEPTABILE PENTRU NIVELUL ACCELERATIEI

PLANSEULUI _____	- 57 -
4.2. VALORI ACCEPTABILE PENTRU NIVELUL FRECVENTEI PLANSEULUI _____	- 57 -
4.3. VALORI RECOMANDABILE PENTRU NIVELUL DE AMORTIZARE AL PLANSEULUI _____	- 58 -
5. DETERMINAREA CARACTERISTICELOR DE VIBRATIE PENTRU UN SISTEM DAT _____	- 59 -
5.1. DATE INITIALE _____	- 59 -
5.2. MODELUL DE CALCUL _____	- 61 -
5.3. ANALIZA MODELULUI CONSIDERAT _____	- 63 -
5.4. CONCLUZII _____	- 68 -

BIBLIOGRAFIE

ANEXE

1. CONSIDERATII GENERALE

Miscarea planseelor cauzata de activitatile ocupantilor poate pune o problema de exploatare serioasa daca nu este luata in calcul si prevenita prin proiectarea sistemului structural. Reparatiile planseelor care vibreaza, ulterioare dării in folosinta a structurii, sunt intotdeauna foarte scumpe si ades nu pot fi facute datorita limitarilor impuse de gradul de ocupare a cladirii. Acest fapt accentueaza necesitatea de a considera potentialele probleme cauzate de vibratii in calculul initial al planseelor.

Raspunsul fiecarui individ la vibratiile induse de miscarea planseului depinde de mediu, varsta locatarului si de pozitia sa. Oamenii sunt mult mai sensibili in medii in care este liniste, cum ar fi resedintele sau birourile unde nivelul zgomotului este redus, comparativ cu, spre exemplu, un centru comercial zgomotos. Cei varstnici sunt mult mai sensibili decat adultii tineri si sensibilitatea este mai mare in cazul subiectilor care sunt asezati fata de cei aflati in pozitie verticala.

Rigiditatea si rezonanta sunt consideratiuni dominante in verificarea la starea limita de exploatare a vibratiilor pentru plansee metalice si a podurilor destinate pietonilor, primul criteriu de rigiditate cunoscut fiind mentionat acum aproximativ 180 de ani. In 1828, un tamplar englez numit Tregold a publicat o carte despre dulgherie in care scria ca barnele cu deschideri mari ar trebui sa fie "facute adanci pentru a evita inconvenienta faptului de a nu fi posibil sa te misti pe podea fara sa misti totul in incapere". Criteriul traditional de rigiditate pentru planseele metalice limiteaza sageata datorita incarcarii utile in cazul grinzilor sau barnelor ce sustin plansee tencuite la $1/360$ din deschiderea acestora. Aceasta limitare, impreuna cu raportul deschidere/inaltime restrictiv la valoarea de 24 sau mai putin, a fost aplicata pe scara larga in cazul planseelor metalice in incercarea de a controla vibratiile acestora, dar cu un succes limitat.

In mod traditional, soldatii "rup pasul" cand marsaluiesc peste poduri pentru a evita vibratiile rezonante mari, potential periculoase. Pana de curand, rezonanta a fost ignorata in calculul planseelor si al podurilor destinate traficului pietonal. Acum aproximativ 40 de ani problema a inceput sa se faca simtita datorita vibratiilor induse prin deplasarea pe plansee rezemate pe grinzi metalice care satisfaceau criteriile de rigiditate traditionale. Mai recent, activitati ritmice noi, cum ar fi gimnastica aerobica si dansurile cu impact mare cauzeaza vibratii serioase ale planseelor datorate rezonantei.

Pentru a permite inginerului structurist sa stabileasca sistemul structural al planseelor corespunzator confortului ocupantilor in cazul unei anume activitati si in cazul prezentei unor echipamente sensibile au fost concepute un numar de proceduri analitice. In general, metodele analitice implica determinarea frecventei proprii a planseului corespunzatoare primului mod de vibratie si a amplitudinii maxime a acceleratiei, vitezei sau deplasarii pentru o activitate sau excitatie de referinta.

Deasemeni se cere in mod obisnuit si o estimare a amortizarii planseului. Pentru a determina daca un sistem de planseu corespunde cerintelor de exploatare se foloseste apoi

un criteriu bazat pe o scara a confortului uman sau un echipament sensibil. O parte din metodele analitice incorporeaza aceste limite intr-o singura formula de calcul ai carei parametri sunt estimati de catre proiectant.

1.1. TERMINOLOGIA DE BAZA FOLOSITA IN CALCULUL VIBRATIILOR

Incarcari dinamice. Incarcările dinamice pot fi clasificate ca armonice, stationare, temporare si de tip impulsiv asa cum se poate observa din Figura 1.1. Incarcările armonice sau sinusoidale sunt asociate de obicei cu utilajele ce se rotesc. Vibratiile periodice sunt produse de catre activitati umane ritmice, cum ar fi dansul sau gimnastica aerobica si de catre echipamentele care induc actiuni de tip impact. Vibratiile periodice apar din miscarile locatarilor si includ mersul si alergarea. Sariturile singulare si impactul produse de tocurile pantofilor sunt exemple de incarcari de tip impulsiv.

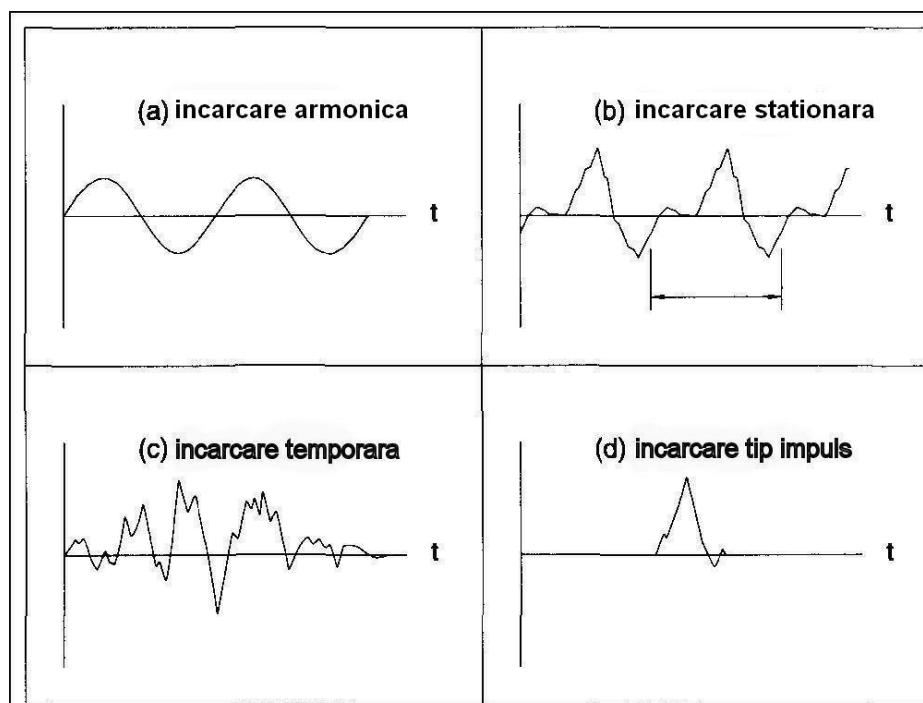


Figura 1.1 – Tipuri de incarcari dinamice

Perioada si frecventa. Perioada este timpul, masurat de obicei in secunde, intre niveluri de varf succesive ale evenimentelor care se repeta. Perioada este asociata cu functii armonice sau sinusoidale, asa cum se poate observa din figurile 1.1(a) si 1.1(b). Frecventa este inversa perioadei si este masurata de obicei in Hz (hertzi sau cicluri pe secunda).

Miscarea stationara si miscarea tranzitorie. Daca un sistem structural este supus unei actiuni armonice continue (vezi Figura 1.1(a)), miscarea rezultata va avea frecventa si amplitudine maxima constante si este cunoscuta ca miscare stationara. Daca un sistem structural real este supus unui impuls singular, amortizarea sistemului va face ca miscarea sa scada in intensitate, asa cum se poate vedea si din Figura 1.2 – aceasta este un tip de miscare tranzitorie.

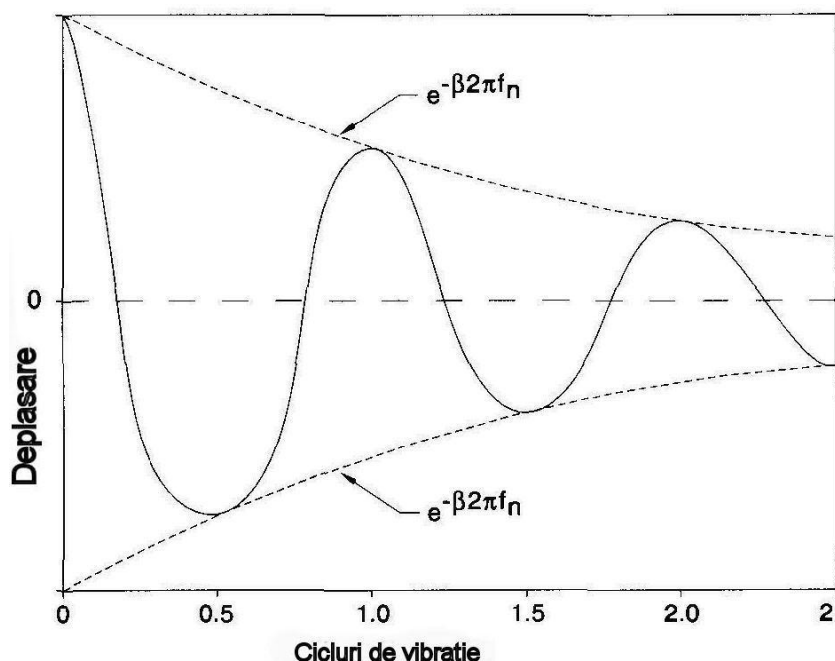


Figura 1.2 – Descresterea vibratiei datorita amortizarii

Frecventa proprie si vibratia libera. Frecventa proprie este frecventa la care un corp sau un sistem structural vibreaza cand acesta este deplasat si apoi repede eliberat. Vibratia acestuia este cunoscuta ca vibratie libera. Sistemele structurale au un numar mare de frecvente proprii dintre care cea care implica gradul cel mai inalt de preocupare este cea mai joasa sau “fundamentala”.

Amortizare si amortizare critica. Amortizarea se refera la pierderea de energie mecanica a unui sistem care vibreaza. Amortizarea este exprimata de obicei ca procent sau ca fractiune din amortizarea critica. Amortizarea critica este cea mai mica amortizare vascoasa pentru care un sistem ce vibreaza liber ajunge in stare de repaos fara sa oscileze dupa ce a fost deplasat din starea de echilibru si eliberat.

Rezonanta. In cazul in care frecventa unei actiuni asupra unui sistem structural este egala cu frecventa proprie a acestuia, apare fenomenul cunoscut sub numele de rezonanta. In cazul rezonantei, amplitudinea miscarii poate deveni foarte mare.

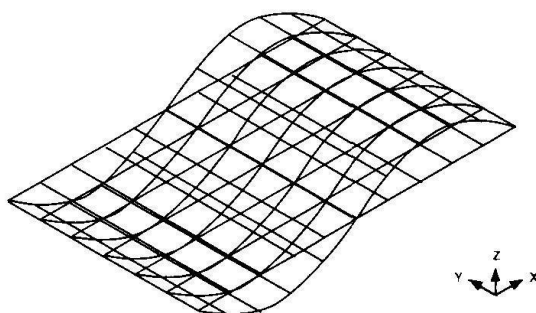
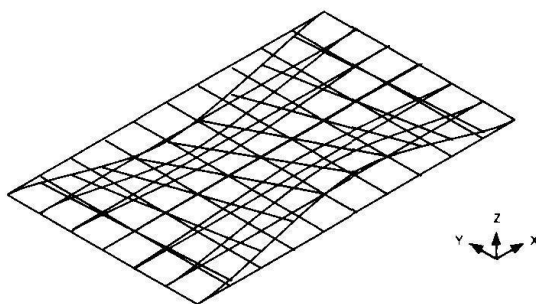
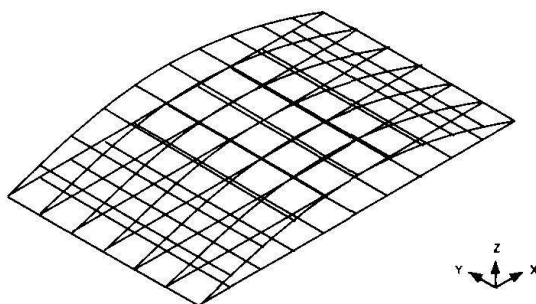
Frecventa pasilor. Frecventa pasilor este frecventa aplicarii piciorului sau picioarelor pe podea – mers, dans sau aerobic.

Armonica. O armonica este un multiplu intreg al frecventei aplicarii fortei repetitive (multiplu intreg al frecventei pasilor intr-o activitate umana sau multiplu intreg al frecventei de rotatie a unei masinarii cu piston).

Forma modala. Cand sistemul structural al unui planseu vibreaza liber intr-un anume mod, deplasarea sa pe verticala urmeaza o anume configuratie sau forma modala. Fiecare frecventa proprie are o forma modala asociata ei. In Figura 1.3 pot fi observate cateva forme modale tipice.



a) grinda



b) planseu

Figura 1.3 – Moduri tipice de vibratie a planseelor

Analiza modala. Analiza modala se refera la metoda de calcul analitica sau experimentală folosită pentru determinarea frecvențelor și formelor modale ale structurilor, dar și răspunsurile modurilor individuale la o acțiune dată.

Spectrul. Un spectru reprezintă variația amplitudinii maxime în raport cu frecvența componentelor de vibrație care contribuie la încărcare sau mișcare. Figura 1.4 este un exemplu de spectru de frecvențe.

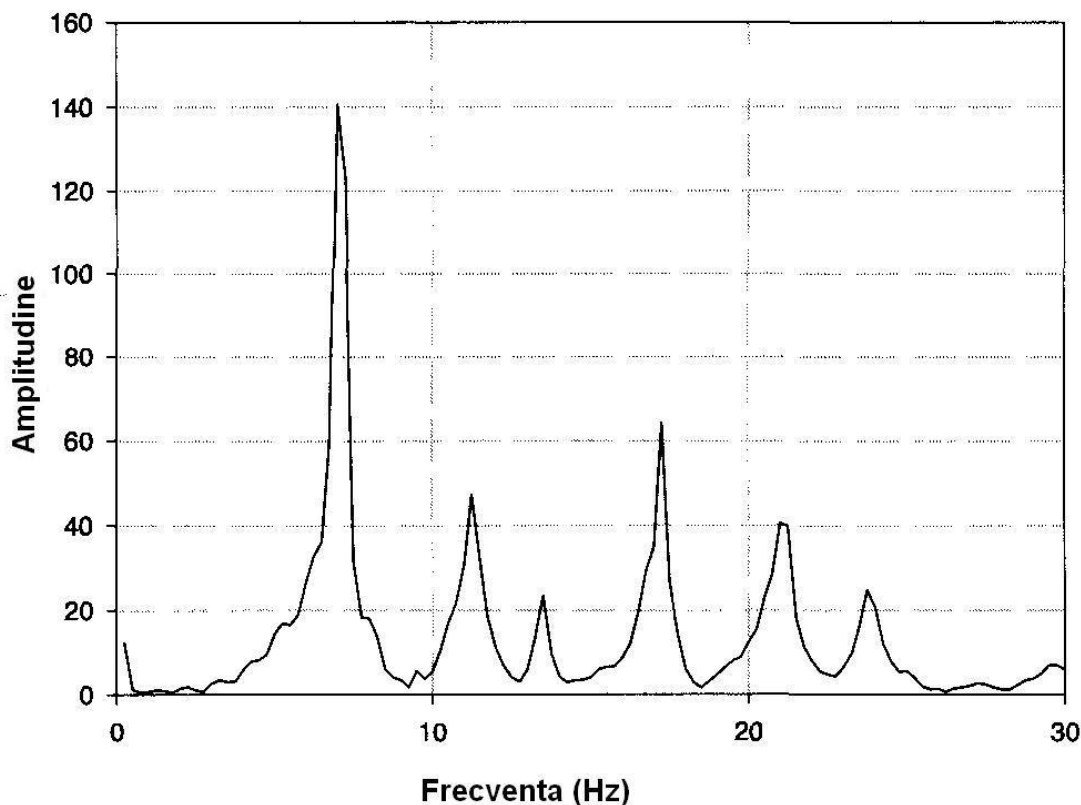


Figura 1.4 – Spectru de frecvențe

1.2. PRINCIPII DE EVALUARE A IMPACTULUI VIBRAȚIEI PLANSEELOR

Deși criteriul disconfortului uman în cazul vibrațiilor este cunoscut de mulți ani, numai recent aplicarea acestuia în calculul planseelor a devenit o chestiune practică. Acest lucru este motivat de faptul că problema este complexă, încărcarea complexă și răspunsul sistemului este complicat, incluzând un număr mare de moduri de vibrație. Cercetarea și experiența au dovedit totuși că problema poate fi suficient simplificată încât să furnizeze criterii practice de proiectare.

Cele mai multe probleme în vibrația planseelor implică acțiuni repetitive cauzate de mașini sau de activități umane cum ar fi dansul, gimnastica aerobă sau mersul, deși în cazul mersului lucrurile sunt puțin mai complicate decât în celelalte cazuri, pentru că

actiunea isi schimba pozitia la fiecare pas. In unele cazuri, forta aplicata este sinusoidala sau aproape sinusoidala.

Codul de calcul AISC – Ghid de proiectare pentru otel nr. 11: *Vibratia planseelor datorita activitatii umane* explica in detaliu tehnicile ingineresti de calcul si de evaluare necesare. Aceste tehnici folosesc acceleratia, ca procent din acceleratia gravitationala, pentru a masura perceptia miscarii planseelor. Spre exemplu, nivelul de toleranta pentru medii linistite, rezidente, birouri, biserici etc. este de 0.5% din acceleratia gravitationala (0.005g).

Nivelul de toleranta al vibratiei este estimat ca functie de frecventa vibratiei dar si de acceleratia acesteia. Nivelul de toleranta al acceleratiei creste pe masura ce mediul devine mai linistit. De exemplu, nivelul de toleranta a vibratiilor in cazul oamenilor ce practica gimnastica aerobica (activitati ritmice) este de zece ori mai mare decat in cazul in care s-ar afla intr-un birou linistit. Pentru a folosi aceasta scara, trebuie calculate frecventa proprie a planseului si acceleratia estimata pentru o anume activitate.

Acceleratia unui planseu depinde de activitatea desfasurata, de frecventa proprie a planseului, de masa care se misca atunci cand planseul vibreaza si amortizarea acestuia. Acceleratia planseului creste direct proportional cu energia activitatii desfasurate si este, in consecinta, mai mare in cazul gimnasticii aerobice decat in cazul mersului. Acceleratia scade invers proportional cu greutatea – acceleratia unui planseu din beton usor va fi mai mare in cazul desfasurarii aceleiasi activitati decat cea a unui din beton cu greutate normala. Acceleratia scade invers proportional cu amortizarea.

Evaluarea sistemului structural al unui planseu in vederea unui potential disconfort cauzat de vibratii are nevoie in primul rand de estimarea cu grija a greutatii suportate de planseu intr-o zi curenta. Un planseu incarcat la limita nu va prezenta niciodata probleme; cei mai multi ocupanti se plang cand planseul cu probleme este slab incarcat. In calculul la vibratii nu se recomanda folosirea valorilor de calcul pentru incarcari permanente si din echipamente mecanice si nici pentru incarcarea utila.

Frecventa este rata de vibratie a planseului si este exprimata in cicluri pe secunda (Hz). Un planseu are in general o frecventa intre 3Hz si 20Hz. Pentru un ochi de placa de 9 x 9 m dintr-o cladire de birouri, frecventa este de 5-8Hz. Frecventa depinde de deschidere (de obicei cu cat este mai mare deschiderea, cu atat mai mica este frecventa) si de greutatea suportata de planseu (cu cat este mai greu planseul si incarcari ce actioneaza asupra sa, cu atat mai joasa este frecventa) – in consecinta, un planseu din beton cu greutate normala va vibra cu o frecventa mai joasa decat un planseu din beton usor. Cand frecventa depaseste 15Hz, asa cum se intampla in cazul deschiderilor mici (spre exemplu mai mici de 4m), vibratiile planseului nu sunt in general simtite.

Amortizarea este pierderea de energie datorita frecarilor intre componentele planseului sau a armaturilor din planseu. Amortizarea face ca un planseu ce vibreaza liber sa ajunga iarasi in stare de repaos si este de obicei exprimata ca procent din amortizarea critica. Amortizarea critica este considerata ca fiind amortizarea necesara pentru a aduce un

sistem in stare de repaos intr-o jumatate de ciclu. Amortizarea planseelor este de obicei intre 2% si 5%. Valoarea mai joasa apare in cazul planseelor ce sustin putine elemente ne-structurale, cum ar planseele cladirilor de birouri sau bisericilor. Valoarea mai mare apare in cazul planseelor ce sustin partitionari pe toata inaltimea. Un planseu dintr-o cladire de birouri ce sustine partionari mobile, cu inaltimea egala cu jumatate din inaltimea etajului, are o amortizare de aproximativ 3%.

O atentie deosebita trebuie acordata planseelor din cladirile de birouri cu spatii largi, fara partitionari fixe si cu incarcari mici. Aceasta situatie poate rezulta intr-un planseu cu probleme daca proiectarea nu este facuta corect. Deasemeni, planseele cu incarcari de calcul mari si incarcari reale mici nu au aceeasi amortizare cu planseele proiectate pentru incarcari normale in cladiri de birouri. In acest caz ar trebui folosite valori inferioare in estimarea amortizarii (exp. 1 – 2 %).

Proiectarea planseelor ce sustin activitati ritmice, dansuri, gimnastica aerobica, etc. necesita considerarea intregii structuri, nu numai a planseelor in sine. Asemenea activitati induc niveluri mari de energie intregii structuri si pot cauza miscari suparatoare ale planseului chiar si la o oarecare distanta de locul unde se produce activitatea.

Pentru a evita vibratiile suparatoare ale planseelor ce sustin activitati ritmice, frecventa proprie fundamentala trebuie sa fie deasupra frecventelor asociate armonicelor activitatii si acceleratiei de toleranta. Aceleratia de toleranta este functie si de activitatea ritmica si de ocupanta afectata. Spre exemplu, cand sunt luate in calcul dansul si cina, acceleratia de toleranta este 0.02g. Nivelul de toleranta creste la 0.05g pentru participantii la concerte sau evenimente sportive.

Planseele ce sustin echipament sensibil, cum ar fi echipamentul dintr-un bloc operator, microscopae electronice si echipament pentru fabricarea micro-electronicelor, trebuie sa fie foarte rigide si grele. Mijloacele pentru a acomoda echipamentul sensibil sunt deja disponibile dar necesita de obicei specialisti in domeniu pentru a obtine o proiectare satisfacatoare.

1.3. SURSE DE VIBRATII IN CLADIRI

Vibratiile in cazul cladirilor de tip civil pot fi cauzate de mai multe categorii de factori, dintre care pot fi enumerate:

- anumite activitati care genereaza forte dinamice (cu caracter de impuls sau miscare periodica): dans, gimnastica ritmica/aerobica, concerte, spectacole culturale sau sportive etc.;
- deplasarea oamenilor pe plansee (mers);
- functionarea necorespunzatoare a unor echipamente electromecanice (ascensoare, aparate de climatizare) sau chiar a unor obiecte electrocasnice.

Vibratiile cauzate de diferite actiuni asupra cladirilor pot fi clasificate in baza criteriului de disconfort cauzat ocupantilor in urmatoarele grupe:

- vibratii ce nu sunt simtite de catre ocupanti;
- vibratii percepute de catre ocupanti dar care nu afecteaza gradul de confort al acestora;
- vibratii percepute de catre ocupanti si care afecteaza confortul acestora;
- vibratii ce pot duce la afectarea sanatatii ocupantilor.

Vibratiile inregistrate in cladiri se mai pot clasifica si in functie de durata, astfel:

- vibratii care se amortizeaza dupa ce au atins valoarea maxima, denumite *vibratii tranzitorii* (caderea unui obiect greu);
- vibratii care se manifesta pe perioade lungi cu sau fara pauza, denumite *vibratii continue* sau *intermitente* (vibratii provocate de grupuri care se deplaseaza).

1.4. EFECTUL VIBRATIILOR ASUPRA OCUPANTILOR CLADIRII. **FACTORI CE INFLUENTEAZA PERCEPTIA VIBRATIILOR**

Vibratiile au un efect suparator asupra oamenilor atunci cand frecventa acestora se gaseste in domeniul frecventelor proprii ale organelor interne ale ocupantilor.

Nivelul perceptiei umane a vibratiilor si gradul acestora de sensibilitate este influentat de o suma de factori, printre care se pot enumera:

- (a) *Pozitia corpului uman.* Se considera sistemul de coordonate al corpului uman asa cum este el in Figura 1.5. In acest caz, axa 'x' defineste directia spate-catre-piept, axa 'y' defineste directia dreapta-stanga iar axa 'z' pe cea picioare / sezut – catre – cap. Conform ISO, intervalul de frecvente pentru care factorul uman este sensibil la acceleratia vibratiilor variaza intre 4Hz si 8Hz in cazul vibratiilor de-alungul axei 'z' si intre 0 si 2Hz in cel al vibratiilor pe directiile 'x', respectiv 'y'. In timp ce axa 'z' a vibratiilor este cea mai importanta in proiectarea spatiilor destinate birourilor si a altor spatii de lucru, toate cele 3 axe devin important atunci cand proiectarea are in vedere spatii rezidentiale sau hoteliere unde trebuie luat in calcul confortul in timpul somnului. Se observa astfel ca efectul neplacut al vibratiei variaza in acelasi timp cu frecventa ei dar si de directia acesteia in raport cu corpul;
- (b) *Caracteristicile sursei de vibratii*, cum ar fi amplitudinea, frecventa si durata;
- (c) *Timpul de expunere.* Dupa cum se poate observa din Figurile 1.6 si 1.7, toleranta factorului uman la vibratii descreste intr-un mod caracteristic odata cu cresterea timpului de expunere;
- (d) *Caracteristicile sistemului structural al planseului*, cum ar fi frecventa proprie a acestuia (rigiditate, masa) si amortizarea lui;

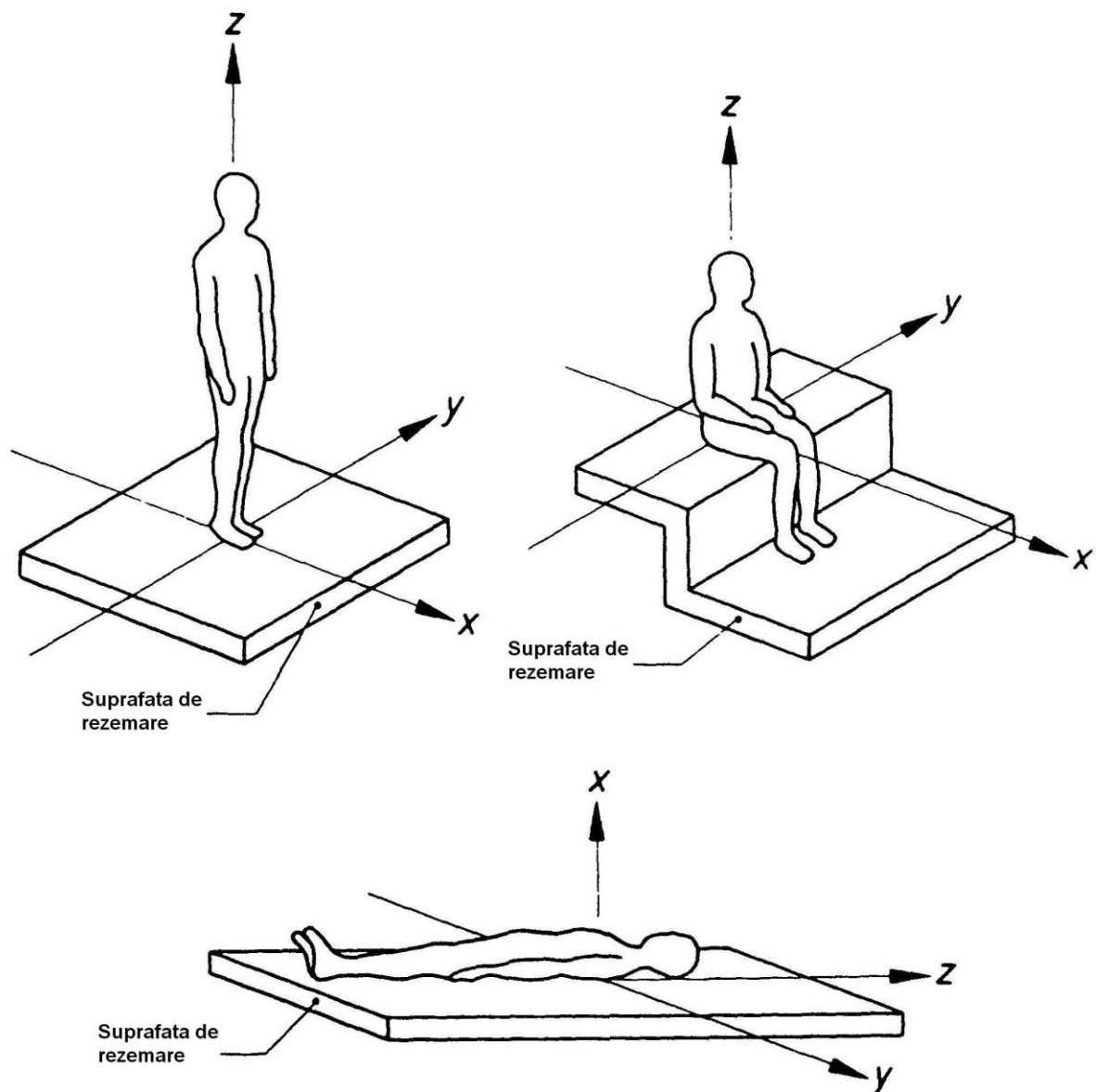


Figura 1.5 – Directiile de sensibilitate la actiunea vibratiilor

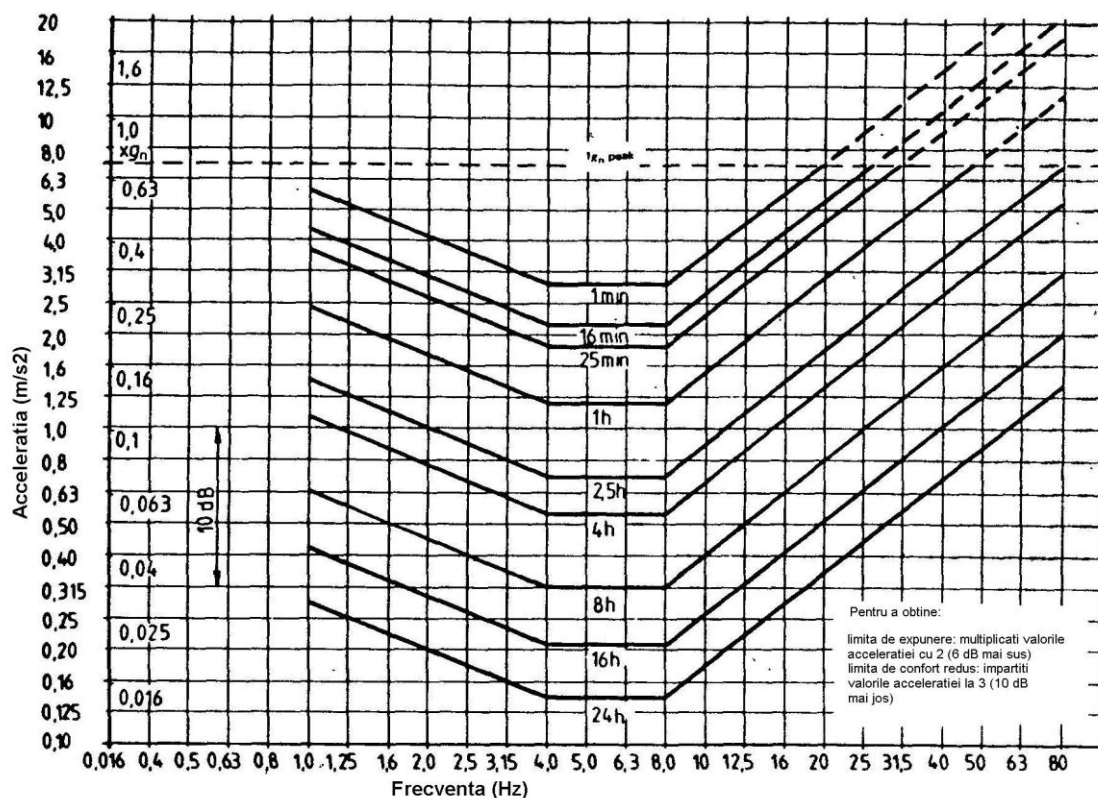


Figura 1.6 – Limitele de acceleratie longitudinale (a_z) in functie de frecventa si timpul de expunere (“pragul indemanarii scazute datorita oboselii”)

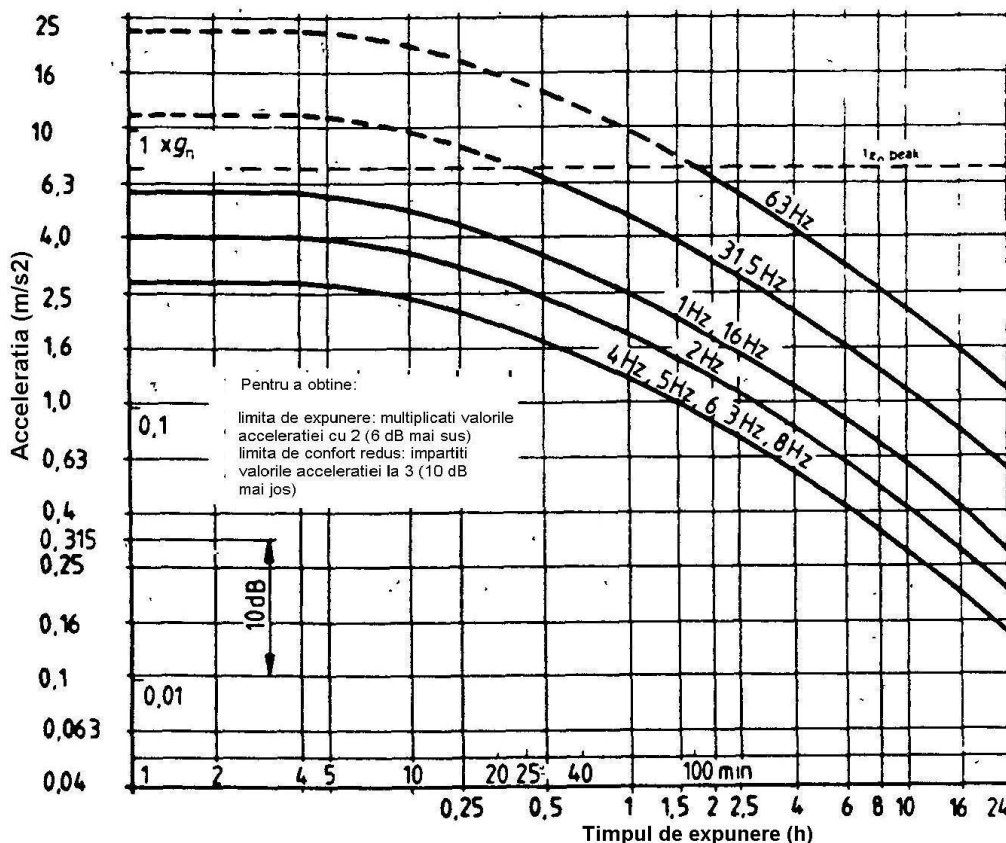


Figura 1.7 – *Limitele de acceleratie longitudinala (a_z) in functie de timpul de expunere si frecventa (“pragul indemanarii scazute datorita oboselii”)*

- (e) *Nivelul de expectanta.* Vibratia este cu mult mai mica in cazul in care ea este comuna, este expectata si anticipata in ambientul respective. Deoarece oamenii se asteapta la mai multe vibratii in ateliere decat in holurile hotelurilor, se pot adapta mult mai usor in primul caz decat in cel de-al doilea. Nelinistea si disconfortul pot fi reduse daca ocupantilor li se fac cunoscute in prealabil vibratiile si cauza lor si daca sunt asigurati ca acestea nu le pot afecta siguranta.
- (f) *Tipul de activitate in care subiectii sunt implicati.* Nivelul perceperii vibratiilor variaza in functie de natura activitatii in care subiectul este implicat depinzand de caracteristicile ei (munca de birou, mese festive, mers sau dans).

In norma britanica parametrii care influenteaza limitele acceptabile ale confortului sunt caracterizati ca fiind:

- (a) *Ambianta* : ambienta linistita sau activa (locuinta, birou, spatiu comercial, spatiu de invatamant, etc).
- (b) *Frecventa vibratiilor*: acceleratiile din domeniul frecventelor inalte (<40Hz) sunt mai putin separatoare.
- (c) *Durata* : vibratiile de scurta durata cu frecvente inalte sunt acceptate mai usor.

- (d) *Constientizarea / prevenirea* : miscarile vibratorii a caror producere este asteptata sunt acceptate mai usor.
- (e) *Momentul producerii vibratiilor*: o miscare produsa noaptea este mai neplacuta, deranjeaza mai mult, decat o miscare similara produsa ziua.

Standardul ISO 2361-2 evidentiaza, in ordinea gravitatii acestora, trei niveluri de consecinte ale vibratiilor asupra oamenilor:

- afectarea confortului;
- afectarea capacitatii de munca;
- afectarea sanatatii.

1.5. CATEGORII ALE RASPUNSULUI UMAN

Standarul ISO clasifica raspunsul uman la vibratii in trei categorii:

- (a) limita dincolo de care gradul de confort este redus (“pragul confortului redus”)
- (b) limita dincolo de care scade eficienta muncii (“pragul indemanarii scazute datorita oboselii”)
- (c) limita dincolo de care sunt puse in pericol sanatatea si / sau siguranta (“pragul de expunere”)

Aceasta categorisire a rezultat in urma unor diverse studii din industria de transport si reflecta in general un nivel de toleranta mult mai mare decat cel corespunzator unui mediu constituit dintr-o constructie, cladire. Conform standardului ISO 2631 – 2:

“S-a observat din experienta ca in multe tari plangerile privind vibratiile in cladiri rezidentiale vin de cele mai multe ori din partea ocupantilor atunci cand magnitudinile vibratiilor depasesc cu putin limitele de perceptie. In general, magnitudinile satisfacatoare sunt legate de minimul plangerilor din partea ocupantilor si nu sunt determinate de nici un alt factor, cum ar fi sanatatea si eficienta muncii. Intr-adevar, in practica in toate cazurile magnitudinile se considera in asemenea maniera incat sa nu existe nici o posibilitate de oboseala sau alte simptome induse de vibratii.”

Categorisirea raspunsului uman facuta de Murray este mult mai orientata catre proiectare si deci mai utila. Murray defineste patru categorii de raspuns dintre care primele doua sunt acceptabile din punct de vedere al proiectarii:

- (a) vibratia, desi prezenta, nu este perceputa de catre ocupanti;
- (b) vibratia este perceputa dar nu este suparatoare;
- (c) vibratia supara si deranjeaza;
- (d) vibratia este atat de severa incat provoaca daune de sanatate ocupantilor.

2. PROIECTAREA PLANSEELOR PENTRU SATISFACEREA CRITERIULUI DE CONFORT

2.1. RASPUNSUL UMAN LA MISCAREA PLANSEULUI

Raspunsul uman la miscarea planseului este un fenomen extrem de complex, implicand magnitudinea miscarii, mediul ce inconjoara sensorul si sensorul uman. O miscare continua (permanenta) poate fi mai suparatoare decat o miscare cauzata de un impact ne-frecvent (tranzitoriu). Pragul de perceptie a miscarii planseului intr-un mediu aglomerat poate fi mai mare decat pentru un apartament linistit. Reactia cetatenilor in varsta de la al 50-lea etaj poate fi considerabil diferita fata de cea a unui adult tanar ce locuieste la al 2-lea etaj al unui complex de apartamente, in cazul in care ei sunt supusi aceleiasi miscari.

Standardul ISO 2631-1 furnizeaza un numar de curbe de baza pentru perceptia umana bazate pe viteza si acceleratia planseului. Conform ISO, cand intensitatea vibratiilor este mai jos de aceste curbe, se inregistreaza rar plangeri din partea ocupantilor. Cu toate acestea, nu inseamna ca valorile aflate deasupra curbelor de baza vor da in mod automat nastere unor senzatii neplacute ocupantilor. Deoarece magnitudinea considerata satisfacatoare depinde de circumstante, standardul ISO recomanda niveluri satisfacatoare ale vibratiilor in termeni de multipli ai acestor curbe de baza. Curbele de baza pentru acceleratiile spate-catre-piept si lateral-catre-lateral sunt ilustrate in Figurile 2.1 si 2.2.

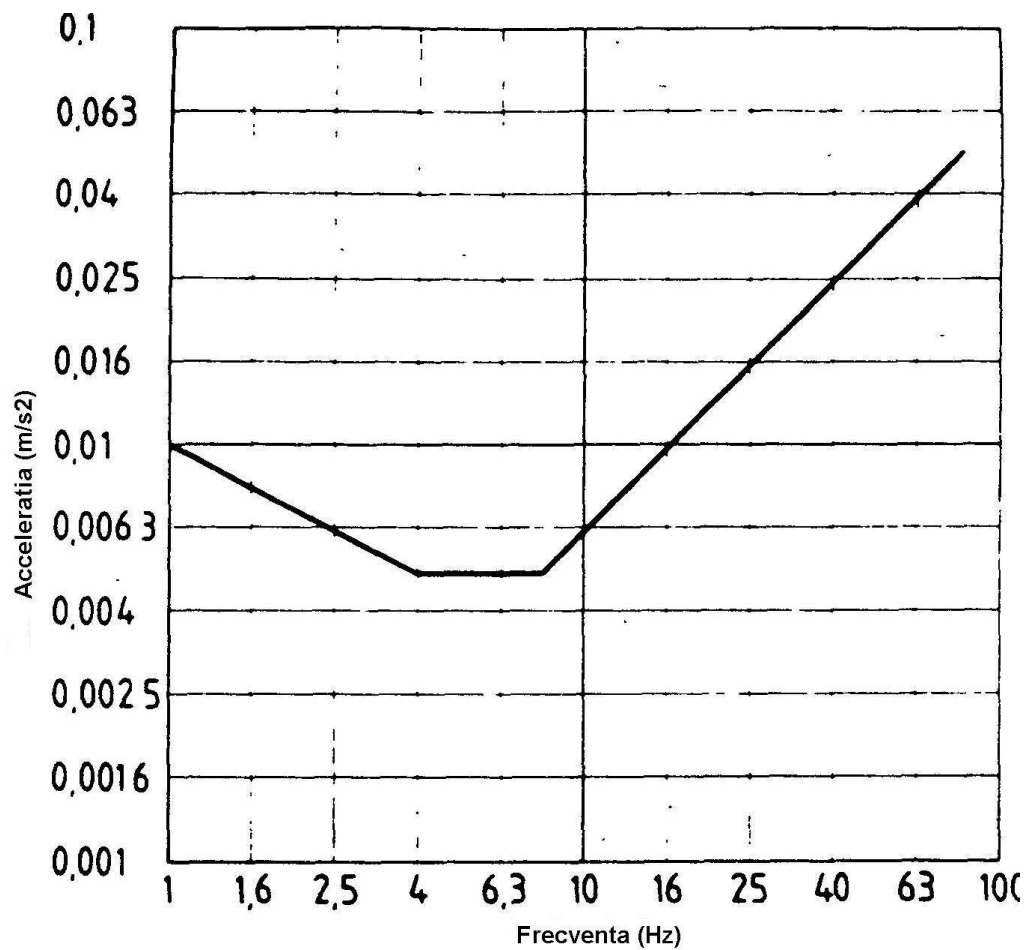


Figura 2.1 – Curba de baza pentru acceleratii pe axa de vibratie 'z' a cladirii

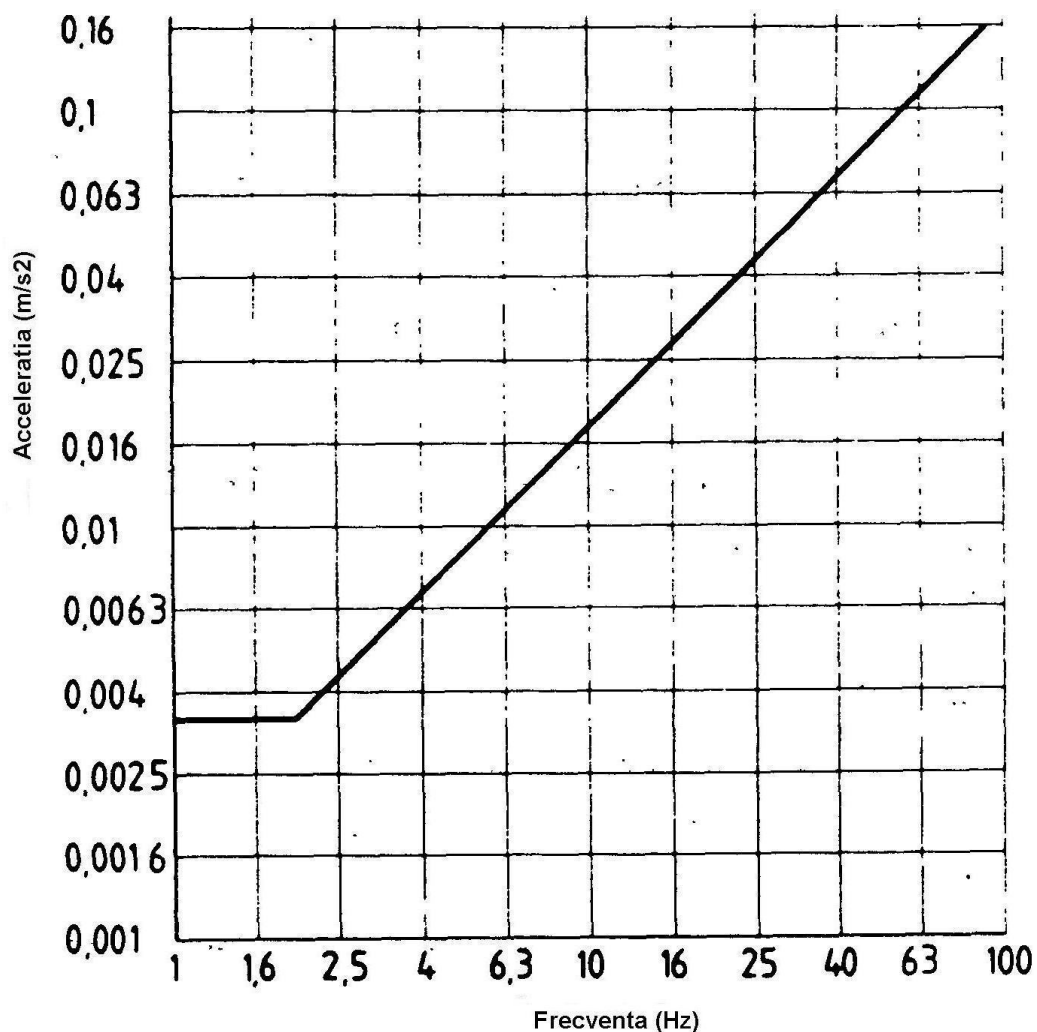


Figura 2.2 – Curba de baza pentru acceleratii pe axele de vibratie 'x' si 'y' ale cladirii

In termeni de raspuns uman, ISO clasifica vibratiile in doua grupe:

- (a) *tranzitorii* (numite deasemena si vibratii *impulsive*)
- (b) *continue* sau *intermitente*.

Vibratiile tranzitorii sunt definite ca o dezvoltare rapida catre o valoare mare de varf, urmata de o scadere rapida din amortizare, cum ar fi vibratiile cauzate de caderea unui obiect greu pe planseu. Vibratia tranzitorie poate sa consiste deasemeni din cateva cicluri de vibratie ce au aproximativ aceeasi amplitudine sub ipoteza unei durate scurte (mai putin de doua secunde).

De cealalta parte, vibratia stationara este vibratia care ramane neintrerupta pe toata perioada de timp considerata. Vibratia intermitenta este definita ca o succesiune de vibratii, fiecare avand durata scurta, separate de intervale in care magnitudinea vibratiei este mult mai mica (vibratii cauzate de un grup de persoane in mers sau de catre lifturi).

Intr-o anexa a standardului ISO 2631 – 2, este prezentat un set de factori de multiplicare pentru curbele de baza ISO. Acesti factori conduc la magnitudini ale vibratiilor mai jos de care probabilitatea de reactie este scazuta si sunt prezentati in Tabelul 2.1.

Tabelul 2.1 - Factori de multiplicare folositi in cateva tari pentru a specifica magnitudinile satisfacatoare ale vibratiilor cladirii in raport cu raspunsul uman (ISO 2631 - 2: 1989)

LOC	MOMENT	Vibratii stationare sau intermitente	Vibratii tranzitorii (excitatie ce apare de cateva ori pe zi)
Zone de lucru critice (spitale, blocuri operatoare, laboratoare de mare precizie)	zi	1	1
	noapte		
Spatii rezidentiale	zi	2 - 4	30 - 90
	noapte	1.4	1.4 - 20
Spatii birouri	zi	4	60 - 128
	noapte		
Ateliere	zi	8	90 - 128
	noapte		

- 1) Tabelul conduce la magnitudini ale vibratiei sub a caror valoare probabilitatea de reactie este scazuta;
- 2) Tabelul include de asemenea vibratii cvasi – stationare cauzate de socuri repetate. Socul este definit conform ISO 2041: 1975, clauza 3 si este de multe ori mentionat ca o vibratie tranzitorie (impulsiva);
- 3) Magnitudinile vibratiilor tranzitorii in blocuri operatoare si spatii de lucru critice sunt caracteristice perioadelor de timp in care se defasoara interventii chirurgicale sau o munca critica. In alte conditii, magnitudini ale vibratiilor corespunzatoare spatiilor rezidentiale pot fi considerate satisfacatoare in ipoteza ca exista agremente si avertizari;
- 4) In zonele rezidentiale variatiile tolerantelor la vibratii sunt foarte mari. Valorile specifice depind de factori culturali si sociali, atitudini psihologice si interferenta probabila cu intimitatea;
- 5) Legatura intre numarul de evenimente dintr-o zi si magnitudini nu este inca foarte bine stabilita. In lipsa unor cercetari aprofundate privind toleranta umana la vibratii, se recomanda folosirea relatiei de mai jos pentru cazul in care survin mai mult de trei evenimente pe zi. Acest lucru implica multiplicarea prin factorul $F_n = 1.7 N^{-0.5}$, unde N este numarul de evenimente dintr-o zi. Aceasta ecuatie de legatura nu se aplica atunci cand valorile sunt mai mici decat cele furnizate de factorii pentru vibratii continue.
- 6) Pentru evenimente discrete a caror durata depaseste 1s, factorii pot fi ajustati prin multiplicarea cu un factor de durata, F_d :
 $F_d = T^{-1.22}$, pentru plansee din beton armat si $1 < T < 20$

$F_d = T^{-0.32}$, pentru plansee din lemn si $1 < T < 60$

unde T este durata evenimentului, in secunde si poate fi estimata din 10 puncte procentuale (- 20 dB) din histograma miscare – timp.

- 7) In excavatiile de roca dura, unde procesele subterane cauzeaza vibratii cu frecventa inalta, in unele tari se considera satisfactor pentru zonele rezidentiale un factor de 128;
- 8) Magnitudinile vibratiilor tranzitorii in spatii pentru birouri si ateliere nu ar trebui crescute fara a considera posibilitatea unei afectari importante a activitatii desfasurate.
- 9) Vibratiile rezultate in urma operarii a diverse procese, cum ar fi utilaje cu cadere sau zdrobire ar putea fi incluse intr-o categorie diferita fata de cele corespunzatoare atelierelor si considerate mai sus.
- 10) Prin dublarea magnitudinii sugerate pentru vibratiile stationare sau intermitente si a celor si pentru cele tranzitorii repetate (a patra coloana) se pot isca pareri adverse ce pot creste semnificativ daca aceste valori sunt marite de patru ori (acolo unde este posibil se pot consulta curbele de raspuns apropiate)

In multe situatii acelasi spatiu dintr-o cladire, resedinta sau hotel, spre exemplu, poate fi folosit si pentru pozitia verticala a corpului si pentru cea orizontala. In aceste cazuri, ISO 2631 – 2 sugereaza folosirea unui standard combinat ce reprezinta combinatia cea mai defavorabila a conditiilor pe axele ‘z’ si ‘x’ / ‘y’. Curbele standard combinate pentru raspunsul in acceleratii sunt prezentate in Figura 2.3.

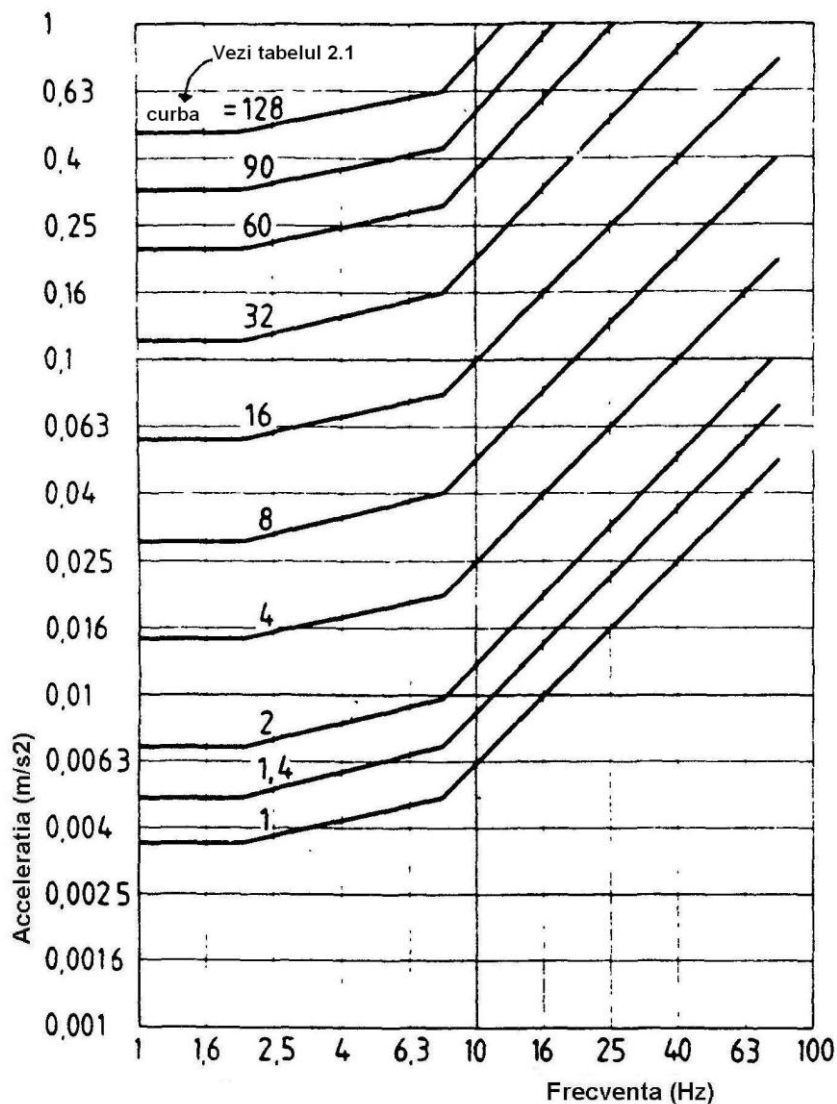


Figura 2.3 – Curbe combinate ale criteriilor pentru vibratiile in cladiri

Reactia oamenilor ce percep vibratiile depinde foarte mult de activitatea intreprinsa de acestia la momentul respectiv. Ocupantii birourilor si cladirilor rezidentiale nu agreeaza vibratiile ce pot fi percepute distinct (acceleratia de varf aproximativ 0.5%g) dar cei implicati in activitati ce necesita miscare vor tolera vibratii de 10 ori mai intense (5% g sau chiar mai mult). Oamenii care iau cina langa un ring de dans, care ridica greutati langa o sala de gimnastica aerobica sau stau intr-un centru comercial, vor accepta vibratii cu o valoare in intervalul celor mentionate anterior (aproximativ 1.5% g). Gradul de sensibilitate aferent oricarei destinatii depinde deasemeni de durata vibratiei si de distanta fata de sursa. Limitele mentionate mai sus sunt pentru frecvente cuprinse intre 4Hz si 8Hz. Dincolo de acest interval, oamenii tolereaza niveluri mai mari ale acceleratiei, asa cum se poate observa si din Figura 2.4.

2.2. CRITERII RECOMANDATE IN PROIECTAREA SISTEMULUI STRUCTURAL AL PLANSEELOR PENTRU ACTIUNI INDUSE DE ACTIVITATEA UMANA

Proiectarea planseelor pentru satisfacerea criteriului de confort fata de vibratiile produse de miscarea oamenilor pe plansee are in vedere doua aspecte:

- (a) Evitarea fenomenelor de rezonanta care pot fi provocate de anumite activitati generatoare de forte dinamice armonice sau implusuri.
- (b) Limitarea parametrilor vibratiilor produse de deplasarea oamenilor pe plansee.

Trebuie insa mentionat ca de obicei planseele proiectate pentru evitarea fenomenelor de rezonanta nu satisfac automat si cerintele de limitare a vibratiilor cauzate de mersul oamenilor astfel incat verificarile acestora folosind criteriile aferente sunt intotdeauna necesare.

Reducerea efectelor vibratiilor cvasi-permanente induse de echipamente generatoare de vibratii se realizeaza prin introducerea unor elemente izolatoare intre echipament si planseu, impiedicand sau limitand astfel transmiterea vibratiilor in intreaga cladire.

In cazul vibratiilor produse de miscarea persoanelor pe plansee acest procedeu nu mai poate fi aplicat si este evident ca singura solutie este separarea eficienta, prin masurile adoptate la proiectare, a frecventelor proprii ale cladirii si ale planseului de frecventele miscarilor care constituie excitatia.

In cazul cladirilor obisnuite avand deschideri mici si medii si plansee executate din beton armat sau din profile metalice cu boltisoare de caramida, rigiditatea realizata implicit prin caracteristicile materialului si sistemului structural este suficienta pentru a evita domeniul frecventelor generatoare de disconfort (in marea majoritate a cazurilor frecventele proprii sunt mai mari de 10÷12Hz). In cazul deschiderilor mari ale constructiilor existente cu plansee din lemn, se manifesta insa, in foarte multe cazuri, vibratii suparatoare chiar si in conditii normale de exploatare a acestora (circulatia oamenilor in incaperi).

In cazul cladirilor moderne, realizate cu materiale usoare ce au rezistente superioare, fenomenul este favorizat de mai multi factori:

- marirea deschiderilor;
- scaderea greutatii proprii a planseului;
- reducerea rigiditatii planseului;
- reducerea amortizarii specifice (de cele mai multe ori prin lipsa compartimentarilor sau a unor compartimentari cu suficienta rigiditate).

Folosirea la o scara din ce in ce mai larga a sistemelor structurale cu elemente fabricate din materiale usoare (metal si lemn) pentru planseele cladirilor a pus in evidenta

necesitatea verificarii acestora, in cadrul proiectarii la starea limita a exploatarii normale (SLEN), pentru satisfacerea *criteriului de confort* al utilizatorilor fata de efectul vibratiilor.

Acest criteriu poate fi redat prin corelarea domeniilor de variatie a parametrilor de care depinde raspunsul uman la o miscare generatoare de vibratii: acceleratia si / sau viteza miscarii si intervalul de frecvente in care acestea se produc.

Corelarea acestor domenii precum si limitele lor sunt notiuni destul de greu de evaluat cu precizie deoarece nivelul de "*acceptare*" sau "*neacceptare*" este, in general, subiectiv si depinde in mod esential de particularitatile de sensibilitate ale utilizatorilor si de contextul in care se produce miscarea respectiva, asa cum s-a putut vedea si din enuntarea facuta in capitolul 1.4.

Din aceste motive, indicatiile cantitative furnizate de diferite studii si reglementari trebuie sa fie considerate ca avand mai mult un caracter orientativ, granita intre cele doua domenii – *acceptabil / inacceptabil* - fiind insuficient de bine precizata.

2.2.1. CRITERIUL ISO

Pentru necesitatile de proiectare curenta, criteriul de confort poate fi determinat folosind standardul ISO 2631 – 2. Acesta defineste coeficientii de multiplicare corespunzatori factorilor de mediu ambiant mentionati in Tabelul 2.1 (valorile fiind acceptate in mai multe tari) precum si o curba de baza pentru acceleratiile acceptabile in functie de frecventa miscarii.

Reprezentarea sintetica a criteriului ISO a fost facuta sub forma unei singure diagrame (pentru inlesnirea folosirii criteriului in proiectare) care include atat diagrama de baza cat si curbele rezultate prin aplicarea coeficientilor de amplificarea pentru principalele functiuni afectate.

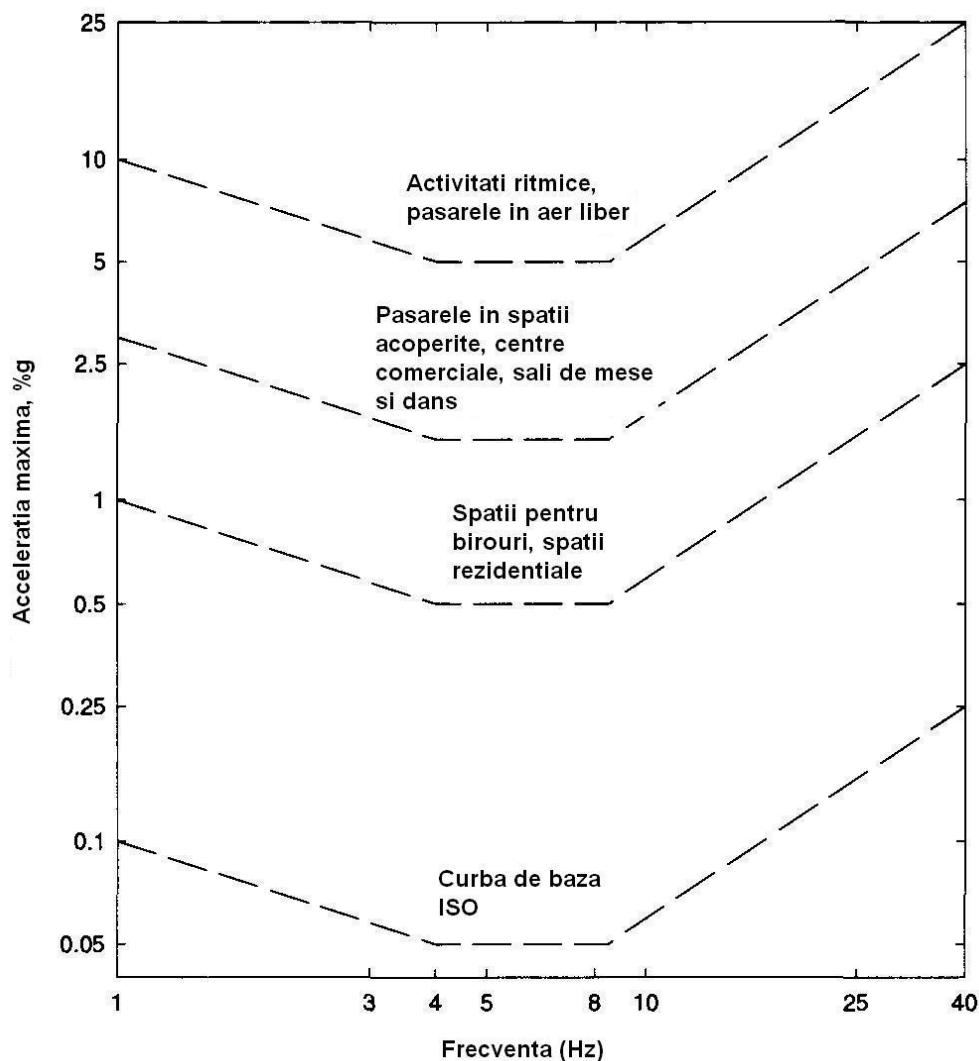


Figura. 2.4 – Acceleratii recomandate pentru estimarea confortului uman in cazul vibratiilor cauzate de activitati umane (Allen si Murray, 1993; ISO 2631-2: 1989)

2.2.2. CRITERIUL DE ACCEPTABILITATE AL LUI MURRAY – DETERMINAREA AMORTIZARII NECESARE

Murray furnizeaza o procedura iterativa pentru stabilirea potentialelor probleme cauzate de vibratia planseelor in spatii rezidentiale si de birouri iar pentru a simplifica aplicarea acestei tehnici s-au publicat tabele de calcul. Metoda se bazeaza pe masuratori ad-hoc si studii asupra raspunsului uman efectuate pentru aproximativ 100 de sisteme de planseu. In cazul spatiilor comerciale se recomanda insa folosirea unui criteriu sugerat in cadrul unui comitet ad hoc al ASCE [1986] si prezentat mai tarziu in aceasta lucrare.

Tabelul 2.2 - Intervale recomandate pentru valorile disponibile ale amortizarii planseelor

Sursa	Amortizare	Comentariu
planseu normal	1% - 3%	limita inferioara este pentru placi subtiri din beton cu agregate usoare; limita superioara este pentru dale groase din beton cu agregate normale
tavan	1% - 3%	limita inferioara este pentru tavane suspendate; limita superioara pentru sisteme de tencuiala pe sindrila atasate grinzilor
sisteme mecanice	1% - 10%	depinzand de cantitate si modul de prindere
partitionari	10% - 20%	daca sunt prinse de planseu in trei sau mai multe puncte si distanta dintre ei nu include mai mult de 5 grinzi de planseu

Procedura pentru aplicarea criteriului de acceptabilitate al lui Murray este urmatoarea:

- (1) estimarea amortizarii totale disponibile, D_{disp} . In Tabelul 2.2 sunt listate estimarile amortizarii disponibile facute de Murray si bazate numai pe observatii empirice. Daca amortizarea disponibila totala este mai mare de 8 – 10%, grinda este satisfacatoare si nu sunt necesare alte investigatii.
- (2) calculul proprietatilor sectiunii compuse si a primei frecvente proprii a grinzii, f . Daca valoarea lui f este mai mare de 10Hz, sectiunea grinzii este satisfacatoare indiferent de valoarea amortizarii.
- (3) calculul amplitudinii maxime initiale a grinzii, A_{0t} , data de impactul standard al tocului:

$$A_{0t} = (DLF)_{\max} \times \left(\frac{L^3}{80EI_t} \right) \quad (2.1)$$

unde toate unitatile sunt kip – inch si $(DLF)_{\max}$ este factorul de incarcare dinamica. Valorile DLF pentru diverse frecvente proprii sunt listate in Anexa 1.

- (4) contabilizarea contributiei rigiditatilor grinzilor adiacente prin estimarea numarului efectiv total de grinzi, N_{ef} , unde:

$$N_{ef} = 2.97 - 0.0578 \left(\frac{S}{h} \right) + 2.56 \times 10^{-8} \left(\frac{L^4}{I_t} \right) \quad (2.2)$$

unde S este distanta intre grinzi si h este grosimea efectiva a placii, amandoua marimile fiind exprimate in inchii (vezi figura 3.1)

(5) reducerea lui A_{0t} prin impartire N_{ef} pentru a obtine o valoare modificata a amplitudinii initiale, A_0 , valoare ce ia in considerare rigiditatea grinzilor adiacente. la contabilizarea contributiei rigiditatilor grinzilor adiacente:

$$A_0 = \frac{A_{0t}}{N_{ef}} \quad (2.3)$$

(6) estimarea nivelului de amortizare necesar, D_{nec} :

$$D_{nec} = 35A_{0f} + 2.5 \quad (2.4)$$

(7) compararea valorilor pentru D_{disp} si D_{nec} :

daca $D_{disp} \leq D_{nec} \Rightarrow$ sectiunea considerata pentru grinda este satisfacatoare

daca $D_{disp} \geq D_{nec} \Rightarrow$ se recomanda redimensionarea sectiunii (2.5)

Daca amortizarea disponibila nu poate fi estimata, Murray sugereaza folosirea valorilor prezentate in Anexa 1.

Tabelul 2.3 - Tabel de comparatii pentru amortizarea necesara

Intervalul de valori pentru amortizarea necesara	Comentarii
$D_{nec} \leq 3.5\%$	sistemul este satisfacator chiar daca suprafetele rezemate nu prezinta partitionari fixe
$3.5\% \leq D_{nec} \leq 4.2\%$	proiectantul trebuie sa ia in calcul cu grija mediul de lucru si utilizarea intentionata
$D_{nec} > 4.2\%$	proiectantul trebuie sa poata identifica o sursa exacta de amortizare sau sa furnizeze amortizare aditionala pe cale artificiala pentru a se asigura ca sistemul de planseu corespunde cerintelor; daca acest lucru nu poate fi indeplinit, este necesara redimensionarea

2.2.3. RECOMANDAREA ELLINGWOOD PENTRU MEDII COMERCIALE

Un criteriu pentru sistemele de planseu ale spatiilor publice, spre exemplu planseele centrelor comerciale a fost recomandat ca parte a unui raport inaintate de catre comitetul ad-hoc ASCE pe tema cercetarii sigurantei in exploatare. Acest criteriu se considera satisfacut daca sageata maxima a unei forte de aplicata in orice punct al planseului nu depaseste 0.5mm. Pentru a minimiza posibilitatea rezonantei datorata

mersului si Murray si Asociatia Canadiana de Standardizare recomanda ca frecventa vibratiei planseelor spatiilor comerciale sa fie pastrata deasupra valorii de 8Hz.

2.2.4. CRITERIUL DE EVALUARE WISS-PARMELEE

In urma unui studiu de laborator efectuat asupra a 40 de subiecti, Wiss si Parmelee au dedus o formula empirica prin care se coreleaza raspunsul factorului uman de amplitudinea deplasarii maxime a sistemului, A_0 , frecventa proprie a acestuia, f_n si amortizarea disponibila, D_{disp} , astfel incat:

$$R = 5.08 \left[\frac{f_n A_0}{(D_{disp})^{0.217}} \right] 0.265 \quad (2.6)$$

unde R este evaluarea raspunsului mediu, interpretata astfel:

$$R = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} imperceptibil \\ slab \cdot perceptibil \\ perceptibil \cdot in \cdot mod \cdot distinct \\ puternic \cdot perceptibil \\ sever \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Factorul de evaluare Wiss-Parmelee a fost adoptat de catre United States Department of Housing and Urban Development (Departamentul de Dezvoltare Rezidentiala si Urbana a Statelor Unite) drept criteriu de acceptabilitate pentru sisteme la care a fost stabilita o limita de $R < 2.5$. Aceasta metoda a fost insa criticata pentru ca nu a luat in calcul toti parametrii.

2.2.5. SCARA REIHER-MEISTER MODIFICATA

Inca din anul 1931, Reiher si Meister au raportat rezultat ale propriilor investigatii privind perceptia umana in cazul vibratiei permanente. Aceasta scara a fost modificata de Lenzen in anii '60 pentru a putea fi aplicata si sistemelor de planseu cu amortizare slaba ($< 5\%$ din amortizarea critica). Scara rezultata ce coreleaza perceptia umana cu frecventa proprie si amplitudinea deplasarii poarta denumirea de „Scara Reiher-Meister modificata”. Aceasta scara este utilizata frecventa impreuna cu o metoda aditionala (exp. Criteriul de acceptabilitate al lui Murray) pentru a lua decizii in situatii situate la granita intre limite valorice. Principalul inconvenient al acestei scari este lipsa unei consideratii explicite a

amortizarii, amortizarea reprezentand cel mai important factor implicat intr-un asemenea calcul.

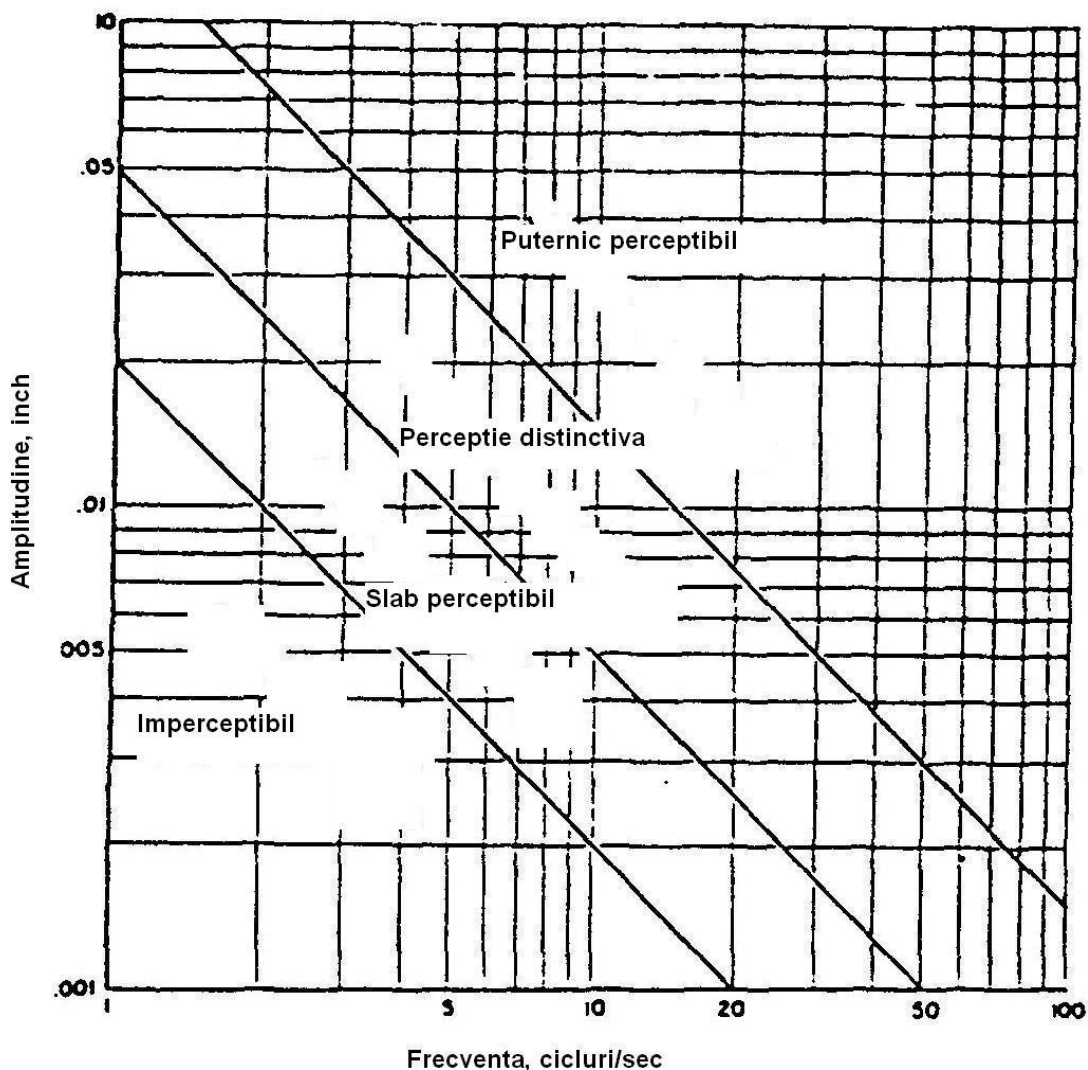


Figura 2.5 – Graficul scarii Reiher-Meister modificata

2.2.6. SCARA ASOCIATIEI CANADIENE DE STANDARDIZARE (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION – CSA)

Bazandu-se pe studiile aprofundate efectuate de catre Allen si Rainer, Asociatia Canadiana de Standardizare (Canadian Standards Association – CSA) a adoptat un criteriu al sensibilitatii la vibratia planseelor pentru spatii administrative si de invatamant, criteriu ce a fost publicat in Anexa G a standardului S16.1-1974 – Steel Structures for Buildings – Limit States Design (Structuri metalice pentru constructii civile – Calcul prin Metoda

Starilor Limita). Acest criteriu stabileste limite ale acceleratiei de varf a planseului in functie de frecventa proprie si amortizarea disponibila (vezi Figura 2.6).

Potrivit acestui criteriu, valoarea de varf a acceleratiei, γ , poate fi estimata din amplitudinea corespunzatoare deplasarii maxime, A_0 , presupunand un raspuns armonic pentru prima frecventa proprie a planseului:

$$\gamma = (2\pi f)^2 A_0 \quad (2.8)$$

Graficul din Figura 2.6 consta intr-o curba de baza pentru vibratia continua si trei curbe limita pentru vibratiile datorate mersului, corespunzatoare amortizarilor disponibile de 3%, 6% si 12%. Un sistem de planseu care se incadreaza in partea inferioara curbei corespunzatoare amortizarii sale poate fi considerat satisfacator.

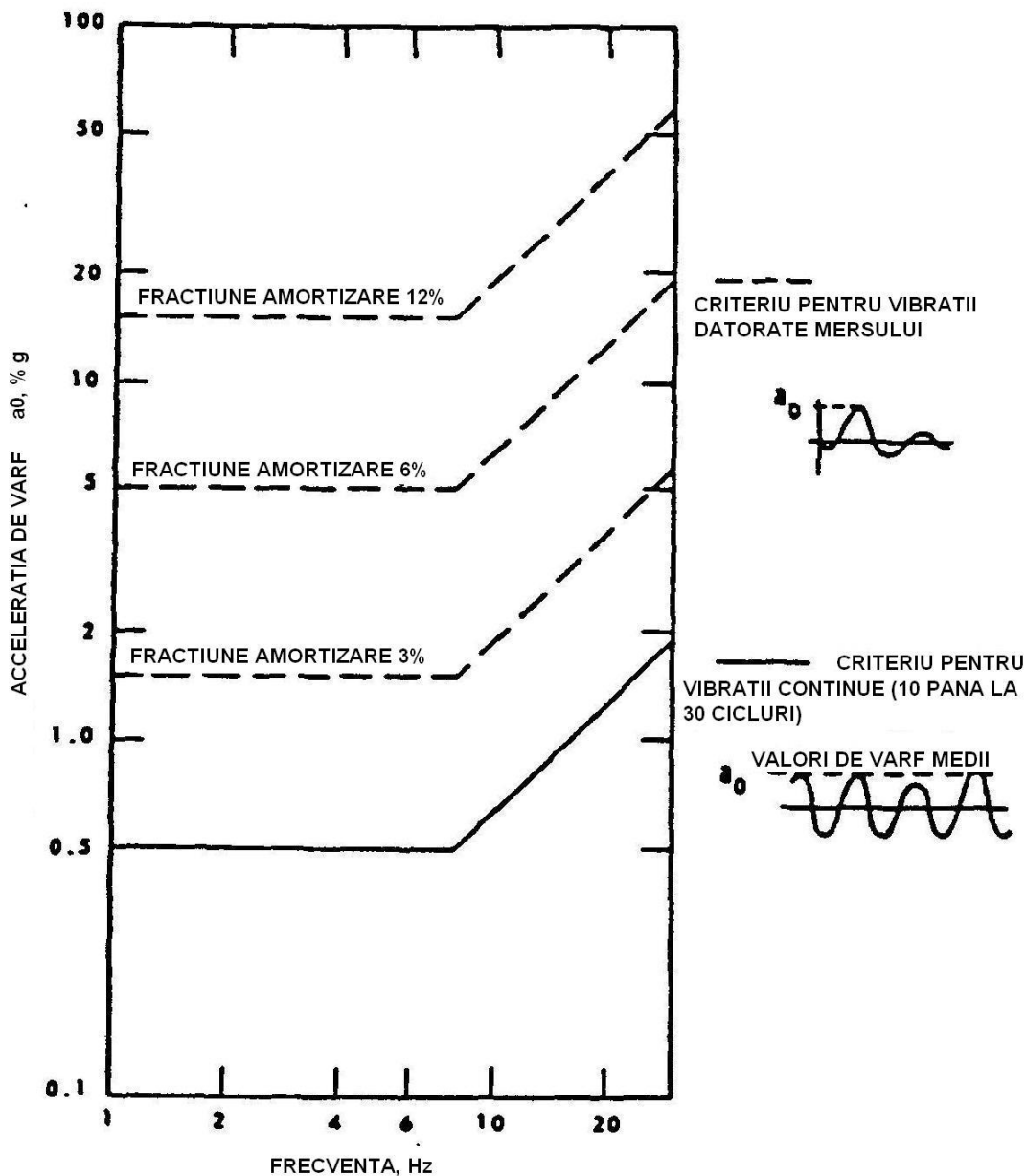


Figura 2.6 – Graficul criteriului de sensibilitate elaborat de CSA

2.2.7. CRITERIUL TOLAYMAT

Tolaymat a revizuit rezultatele sistemelor studiate de Murray ca baza pentru elaborarea criteriului sau de acceptabilitate si a sugerat un nou sistem de evaluare ce are pretentia ca furnizeaza o mai buna corelare intre rezultatele experimentelor si nivelurile raportate ale perceptiei umane.

Comparativ cu marea majoritate a metodelor prezentate in aceasta sectiune, bazate pe studiul impactului unui singur toc, Tolaymat a folosit o serie de asemenea impacturi

pentru a simula excitatia cauzata de mers. Potrivit acestei abordari, un sistem poate fi considerat acceptabil daca satisface cel putin una din urmatoarele doua conditii:

$$\frac{A_2}{A_0} \leq 1.15, \text{ si } A_{\max} \leq 0.015 \quad (2.9)$$

$$(A_{\max})x(f) \leq 0.050 \quad (2.10)$$

unde A_0 si f au fost definite anterior, A_2 este amplitudinea maxima a celui de-al doilea impact al tocului si A_{\max} este amplitudinea maxima absoluta a impactului tocului, ambele marimi fiind exprimate in inch. Desi la prima vedere aceasta abordare poate parea simpla, determinarea marimilor A_2 si A_{\max} necesita in generala calculul unui sistem cu un singur grad de libertate (exp. grinda unui planseu) suspus unei excitatii generale (exp. o serie de impacturi), procedura inadecvata calculului manual.

2.2.8. VIBRATIA PLANSEELOR DATORATA ACTIVITATILOR RITMICE

Activitatile ritmice coordonate, cum ar fi dansul, participarea publicului in arene si sali de concerte si, cel mai important, gimnastica aerobica, pot induce planseelor nivele nedorite ale vibratiilor. In cazul activitatilor ritmice, disconfortul uman este cauzat in principal de comportamentul rezonant sau aproape-rezonant. Abordarea cea mai rationala a acestui fenomen este furnizarea unei suficiente distante intre frecventa proprie a sistemului de planseu si frecventele dominante exercitate de actiunile umane planificate, pentru o asigurare rezonabila impotriva rezonantei. Facilitatile multi-functionale, cum ar fi salile de gimnastica aerobica si spatiile de birouri sustinute de acelasi sistem de planseu pun cele mai mari dificultati in dimensionarea pentru evitarea vibratiilor, cele mai complete indrumari asupra acestui subiect fiind elaborate de Allen. Recomandarile sale se reflecta in criteriile de exploatare suplimentate recent de catre National Building Code of Canada (Codul National de Constructii din Canada).

Desi pentru majoritatea activitatilor ritmice, considerarea primei armonice (frecventa principala) a activitatii este suficienta, in cazul gimnasticii aerobice si a altor exercitii ce implica sariturile cele de-a doua si a treia armonica pot avea contributii semnificative si trebuie sa fie considerate in analiza sistemului. In Figura 2.7 se poate observa fenomenul de rezonanta cu a treia armonica a unui planseu cu o frecventa proprie de 6.7Hz in cazul unei activitati ce are o frecventa de 2.25Hz

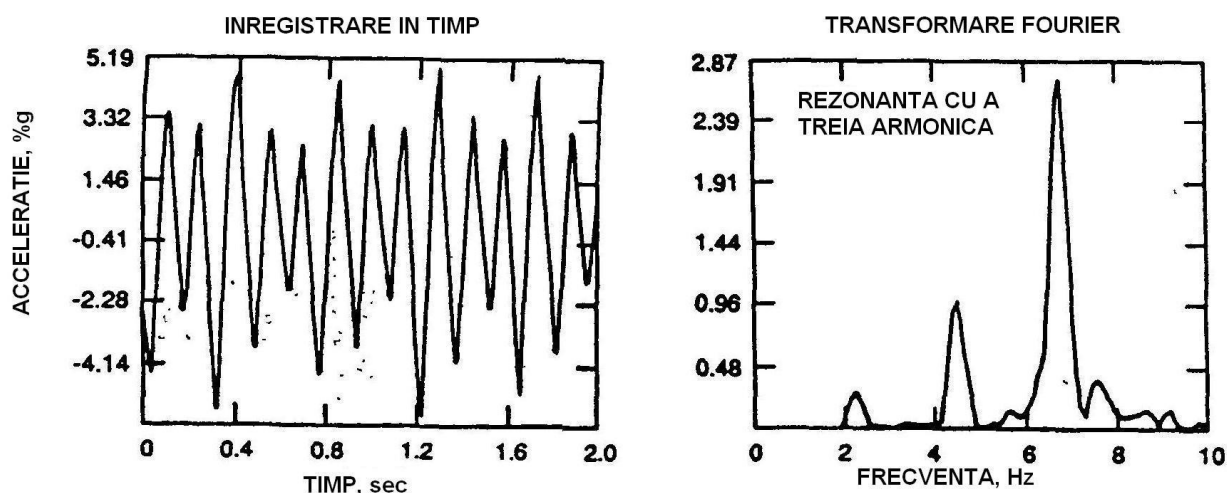


Figura 2.7 – Vibratia unui planseu cu o frecventa proprie de 6.7Hz datorata activitatii aerobice avand frecventa de 2.25Hz

Potrivit lui Allen

„ Rezonanta este factorul cel mai important ce afecteaza vibratiile date de gimnastica aerobica la fel cum frecventa proprie este cel mai important parametru de calcul. Problema este sa indepartezi frecventa proprie de cele trei armonice.”

Pasii in calculul pentru prevenirea vibratiilor planseelor supuse activitatilor ritmice pot si sintetizati in felul urmatoar:

- (1) determinarea intervalului dominant de frecvente ale actiunii pentru fiecare tip de activitate (vezi Tabelul 2.5); de observat este faptul ca pentru gimnastica aerobica si exercitiile de sarituri trebuie considerate primele trei armonice;
- (2) selectarea unei limite maxime acceptabile pentru acceleratia planseului, a_0 ; se folosesc valorile recomandate in Tabelul 2.6 sau graficele ISO discutate anterior;
- (3) selectarea unui factor pentru incarcarea dinamica (Tabelul 2.5); estimarea greutatii distribuite a participantilor, W_p ; cand numai o parte din deschidere este folosita pentru activitatea respectiva, incarcarea W_p poate fi estimata prin considerarea incarcarii totale de pe deschiderea partial incarcata si distribuirea uniforma a acesteia pe intreaga deschidere; Tabelul 2.5 poate fi folosit pentru deducerea unei valori rezonabile pentru W_p ;

Tabelul 2.5 - Parametri recomandati in calculul pentru activitati ritmice

Activitatea	Frecventa actiunii, f_f [Hz]	Greutatea participantilor, w_p [kgf]	Factor al incarcarii dinamice, α	Incarcarea dinamica, αw_p [kgf]
Dansuri	1.5 - 3.0	5.67	0.50	2.84
Concert animat sau eveniment sportiv	1.5 - 3.0	14.20	0.25	3.55
Aerobic	2 - 2.75	1.90	1.50	2.85
prima armonica	4 - 5.50	1.90	0.60	1.14
a doua armonica	6 - 8.25	1.90	0.10	0.19
a treia armonica				

- (4) calculul incarcarii totale a planseului prin adunarea incarcarii sustinute de acesta in mod curent si a incarcarii W_p ;
- (5) calculul frecventei proprii a sistemului de planseu, f , folosind o metoda corespunzatoare cum sunt cele descrise in prezenta lucrare;
- (6) verificarea criteriului de mai jos pentru frecventa proprie minima a sistemului:

$$f \geq f_f \sqrt{1 + \frac{1.3}{a_0/g} \frac{\alpha w_p}{w_t}} \quad (2.11)$$

unde a_0/g este acceleratia limita descrisa la pasul (2), exprimata in procente din acceleratia gravitacionala; factorul 1.3 tine de aceleasi criterii prezentate la punctul (2);

In cazul gimnasticii aerobice si exercitiilor de sarituri trebuie considerate primele trei armonice ale frecventei actiunii. Cu toate acestea, deoarece aceste armonice se aduna, factorul 1.3 din Relatia (2.11) trebuie majorat la 2.0. Astfel, criteriul guvernant in cazul gimnasticii aerobice devine:

$$f \geq (i) f_f \sqrt{1 + \frac{2.0}{a_0/g} \frac{\alpha w_p}{w_t}} \quad (2.12)$$

unde $i=1, 2, 3$ este numarul armonice. Conditia (2.12) trebuie satisfacuta pentru fiecare dintre cele trei armonice.

Mai departe Allen recomanda evaluarea cu mai multa grija a sistemelor de planseu din ansambluri de ocupanta ce nu indeplinesc criteriile enuntate in Tabelul 2.6.

Tabelul 2.6 - Valori recomandate ale limitei acceleratiilor in cazul vibratiilor datorate activitatilor ritmice

Spatii afectate de vibratie	Limita de acceleratie, %g
spatii administrative si rezidentiale	0.4 - 0.7
restaurante, sali de dans, sali de forta	1.5 - 2.5
gimnastica aerobica si activitati ritmice	4 - 7
spatii cu functiune mixta ce gazduiesc si gimnastica aerobica	2

Tabelul 2.7 - Valori minime recomandate pentru frecventa naturala a planseelor

Tipul de planseu	Sali de dans* Sali de gimnastica**	Stadioane, arene**
planseu compozit (otel - beton)	9	6
planseu din beton armat	7	5
planseu din lemn	12	8

* acceleratie limita de varf 0.02g

** acceleratie limita de varf 0.05g

2.3. EVALUAREA INCARCARI DINAMICE INDUSA PLANSEELOR DE ACTIVITATI UMANE

Una din principalele dificultati in analiza planseelor supuse la valori mari ale incarcarii dinamice induse de activitatea umana consta in considerarea maselor aferente, deoarece acest parametru controleaza caracteristici importante ale sistemului structural, cum ar fi frecventa fundamentala. Daca acest parametru nu este considerat in mod corespunzator, raspunsul dinamic al sistemului poate fi determinat intr-un mod eronat.

Criteriul cel mai des folosit este considerarea masei umane ca masa adaugata la masa globala a structurii, ceea ce implica o crestere a masei si o reducere a frecventei fundamentale. In baza a cateva lucrari publicate anterior pe aceasta tema se poate verifica insa ca in cazul unui grup de oameni ce executa sarituri cu ambele picioare ridicate simultan sau in timpul activitatilor in care durata contactului oamenilor cu structura este relativ scurta, masa umana nu vibreaza impreuna cu masa sistemului structural. Se poate observa astfel ca in acest caz actiunea umana poate induce sistemului structural incarcari dinamice cu valori mari fara a avea vreun aport semnificativ in ceea ce priveste masa.

Primul pas in analiza dinamica consta astfel in identificarea si precizarea diverselor frecvente ale actiunilor induse de oameni. Se considera initial frecventele actiunilor induse

de oameni care merg si care alearga. Prin cercetari anterioare s-a demonstrat interdependenta parametrilor cum ar fi viteza mersului, marimea (deschiderea) pasului, l_{pas} si frecventa pasilor, f_{pas} , o parte dintre aceste valori fiind prezentate in Tabelul 2.8.

Tabelul 2.8 - Frecvente ale incarcarii induse de actiunea umana

Incarcarea dinamice indusa de activitatea umana	Viteza, v [m/s]	Deschiderea pasului, l_{pas} [m]	Frecventa, f_{pas} [Hz]
mers lent	1.1	0.6	1.7
mers normal	1.5	0.7	2.0
mers rapid	2.2	1.0	2.3
alergare normala	3.3	1.3	2.5
alergare rapida	5.5	1.7	3.2

In Standardul Canadian pentru proiectarea constructiilor cu structura metalica (Canadian Standard 1995), se precizeaza ca indivizii sau grupurile de oameni pot genera actiuni periodice ce au frecvente intre aproximativ 1.0Hz si 4.0Hz, valori ce sunt insa acoperite in tabelul anterior.

2.3.1. ACTIUNEA ASUPRA PLANSEELOR GENERATA DE MERS

Criteriul de proiectare recomandat in cazul actiunii asupra planseelor produsa de mers, metodele pentru a estima caracteristicile necesare ale planseului si procedeele de calcul au fost cel dintai propuse de catre Allen si Murray (1993).

Pentru a modela impulsul generat de mersul unei persoane, s-a definit impactul standard al tocului ca fiind impulsul generat de o persoana cantarind 63.5kg ce-si sustine greutatea pe varfurile degetelor de la picioare avand tocele ridicate aproximativ 6.5cm de la sol si care isi aseaza apoi brusc si cu putere tocele pe sol. In Figurile 2.8 si 2.9 s-au trasat curbele corespunzatoare impactului tocului descris anterior, respectiv a raspunsului tipic al unui planseu la un asemenea impact.

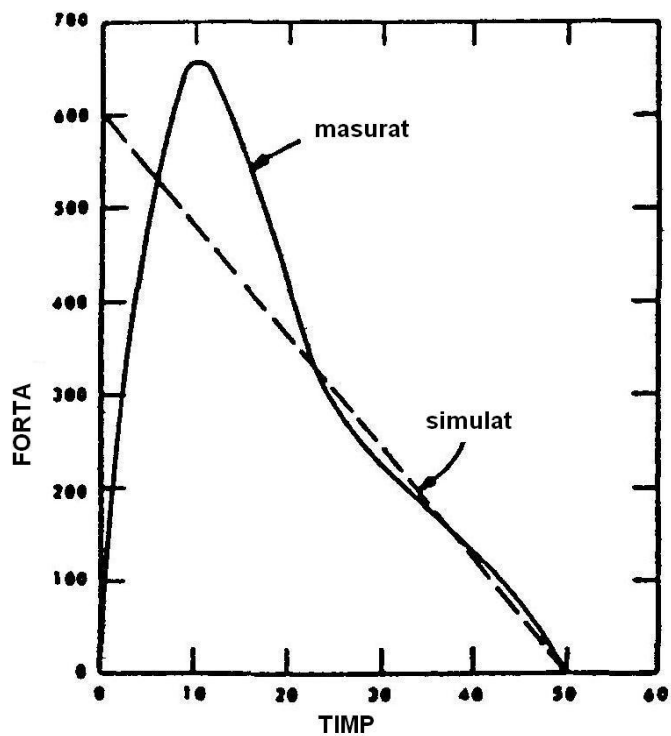


Figura 2.8 – Curba valorilor medii ale forței pe unitatea de timp in cazul impactului tocului

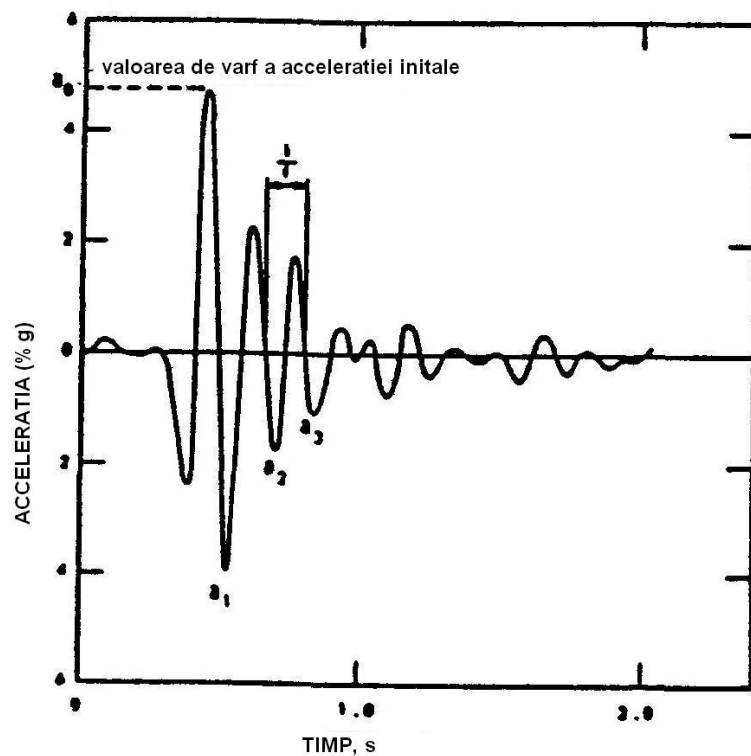


Figura 2.9 – Raspunsul tipic al planseului la impactul tocului

Criteriul cel mai des utilizat in prezent difera de abordarile anterioare, bazate pe “impactul tocului”. Desi criteriul propus pentru actiunea cauzata de mers este cumva mai complex decat criteriile anterioare, el are o arie mai larga de aplicabilitate si rezulta in proiectarea unor sisteme structurale pentru plansee mai economice dar acceptabile.

Criteriul folosit este bazat pe raspunsul dinamic al unui planseu tip steel-deck la actiunea indusa de mers si poate fi folosit pentru a evalua sistemele structurale ce sustin birouri, centre comerciale, pasarele si alte ocupante similare (Allen si Murray 1993).

Criteriul a fost dezvoltat folosind urmatoarele:

- Limitele acceleratiei asa cum sunt ele recomandate de International Standards Organisation (ISO 2631-1, 1989), ajustate pe functiunea ce se intentioneaza a o avea planseul. Standardul ISO sugereaza limite in functie de acceleratia RMS ca multiplu al curbei de baza aratata in Figura 2.4. Multiplii criteriului propus, care exprimat prin acceleratia de varf, sunt 10 pentru birouri, 30 pentru centre comerciale si pasarele interioare si 100 pentru pasarele exterioare. In scopul proiectarii, limitele se pot presupune a varia intre 0.8 si 1.5 ori valoarea recomandata depinzand de durata vibratiei si de frecventa evenimentelor ce produc vibratii.
- O componenta armonica in functie de timp ce corespunde frecventei fundamentale a planseului:

$$F_i = P \cdot \alpha_i \cdot \cos(2\pi \cdot i \cdot f_{pas} \cdot t) \quad (2.13)$$

unde:

- P – greutate persoana, luata ca 0.7 kN (70 kg)
- α_i – coeficient dinamic pentru componenta armonica
- i – multiplu armonic pentru frecventa pasilor
- f_{pas} – frecventa pasilor

Valorile recomandate pentru α_i sunt date in Tabelul 2.8

Tabelul 2.8

Frecvente ale actiunii (f) si coeficienti dinamici (α_i)						
armonica l	persoana mergand		sala de gimnastica		grup de dans	
	f [Hz]	α_i	f [Hz]	α_i	f [Hz]	α_i
1	1.6-2.2	0.5	2-2.75	1.5	1.5-3	0.5
2	2.2-4.4	0.2	4-5.5	0.6	-	-
3	4.8-6.6	0.1	6-8.25	0.1	-	-
4	6.4-8.8	0.05	-	-	-	-

- O functie de raspuns rezonanta avand forma:

$$\frac{a}{g} = \frac{R \cdot \alpha_i \cdot P}{\beta \cdot W} \cdot \cos(2\pi \cdot i \cdot f_{pas} \cdot t) \quad (2.14)$$

unde:

- a/g – raport între acceleratia planseului și acceleratia gravitacionala;
- R – factor de reducere;
- β – factor de amortizare modala;
- W – greutatea efectiva a planseului.

Factorul de reducere R ia în considerare faptul că o mișcare permanentă rezonantă nu poate fi obținută în cazul mersului și că persoana care merge și cea care este deranjată de vibrații nu sunt în același timp în locul unde deplasarea modală este maximă. Se recomandă ca R să fie luat 0.7 pentru pasarele și 0.5 pentru planșee cu configurație modală pe două direcții.

Pentru evaluare, acceleratia de varf datorată mersului poate fi estimată din Relația (2.14) selectând armonica cea mai joasă, 1, pentru care frecvența acțiunii se potrivește frecvenței proprii a planseului. Acceleratia de varf este apoi comparată cu limita corespunzătoare dată în Figura 2.4. Pentru proiectare, Relația (2.14) poate fi simplificată prin aproximarea relației între coeficientul dinamic și frecvența, f , aratăta în Figura 2.10 prin formula $\alpha = 0.83 \exp(-0.35f)$. Folosind această substituție se obține următorul criteriu de proiectare simplificat:

$$\frac{a_p}{g} = \frac{P_0 \cdot \exp(-0.35 f_n)}{\beta \cdot W} \leq \frac{a_0}{g} \quad (2.15)$$

unde:

- a_p/g – acceleratia de varf estimată (în funcție de g);
- a_0/g – acceleratia limită din Figura 2.1;
- f_n – frecvența proprie a planseului;
- P_0 – o forță constantă egală cu 0.29kN pentru planșee și 0.41kN pentru pasarele.

Numaratorul $P_0 \exp(-0.35 f_n)$ din Inegalitatea (2.15) reprezintă o forță armonică efectivă datorată mersului ce rezultă într-un răspuns rezonant la frecvența proprie a planseului, f_n . Inegalitatea (2.15) reprezintă același criteriu de proiectare ca și cel propus de Allen și Murray (1993) singura diferență fiind formatul său.

Mișcarea datorată deformației cvasi-stactice și vibrația impuls dată de pasire pot deveni situații mult mai critice decât rezonanța dacă frecvența proprie a planseului este mai mare de 8Hz. Pentru a descrie în mod aproximativ vibrația impuls dată de pași, limita de accelerație a_0/g nu mai crește odată cu frecvența deasupra valorii de 8Hz, cum ar fi crescut dacă am fi folosit Figura 2.4. Cu alte cuvinte, porțiunea orizontală a curbelor între 4Hz și 8Hz din Figura 2.4 este extinsă spre dreapta dincolo de valoarea 8Hz.

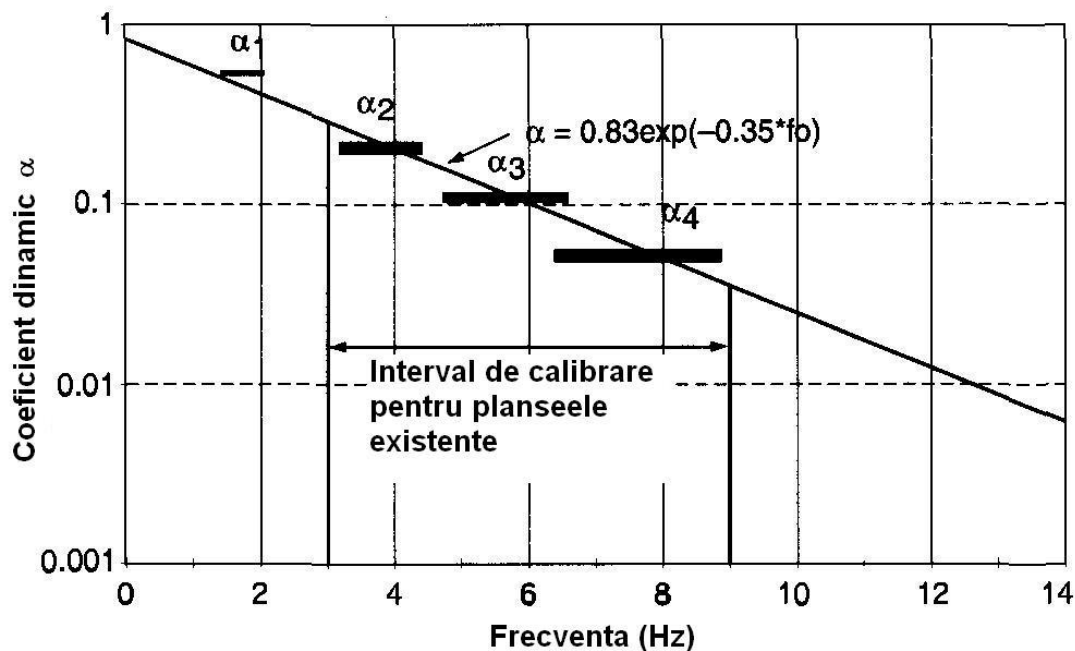


Figura 2.10 – Variatia coeficientului dinamic, α , in raport cu frecventa

Pentru a descrie miscarea datorata variatiei deformarii statice, se introduce o rigiditate statica minima de 1kN/mm sub actiunea unei forte concentrate si o verificare aditionala daca frecventa depaseste 9-10Hz. Criterii si mai severe pentru rigiditatea statica sub forte concentrate se folosesc in cazul in care planseul sustine echipamente sensibile. In cazul in care planseul sustine echipamente sensibile, se folosesc criteriile si mai severe pentru rigiditatea statica sub actiunea unei forte concentrate.

2.3.2. ACTIUNEA ASUPRA PLANSEELOR GENERATA DE ACTIVITATI RITMICE

Criteriile pentru proiectarea planseelor pentru activitati ritmice au fost dezvoltate recent (Allen 1990, NBC 1990). Aceste criterii se bazeaza pe raspunsul dinamic al sistemelor structurale la activitatile ritmice distribuite pe tot planseul sau doar pe o parte din acesta. Criteriile pot fi folosite pentru a evalua sisteme structurale ce sustin sali pentru gimnastica aerobica, dans, diverse evenimente pentru care incarcarea planseului este cunoscuta. Figura 2.11 arata o inregistrare a unei incarcari dinamice si spectru asociat acesteia pentru opt oameni ce sar cu o frecventa de 2.1Hz.

Acceleratia de varf a unui planseu datorata unei forte ritmice armonice este obtinuta din solutia clasica presupunand ca structura planseului are un singur mod de vibratie (Allen 1990):

$$\frac{a_p}{g} = \frac{1.3 \cdot \alpha_i \cdot \frac{w_p}{w_t}}{\sqrt{\left[\left(\frac{f_n}{f}\right)^2 - 1\right]^2 + \left(2\beta \cdot \frac{f_n}{f}\right)^2}} \quad (2.16)$$

unde:

- a_p/g – acceleratia de varf estimata (in functie de g);
- α_i – coeficient dinamic (vezi Tabelul 2.5);
- w_p – greutatea efectiva a utilizatorilor distribuita pe planseu si masurata pe unitate de suprafata;
- w_t – greutatea efectiva pe unitate de suprafata din suprafata planseului, incluzand ocupantii;
- f_n – frecventa proprie a planseului;
- f – frecventa actiunii;
 = $i \cdot f_{pas}$, unde f_{pas} este frecventa pasilor;
- β – factor de amortizare.

Relatia (2.12) poate fi simplificata in felul urmatoare:

La rezonanta ($f_n = f$):

$$\frac{a_p}{g} = \frac{1.3}{2\beta} \cdot \frac{\alpha_i \cdot w_p}{w_t} \quad (2.17a)$$

Deasupra rezonantei ($f_n > 1.2f$):

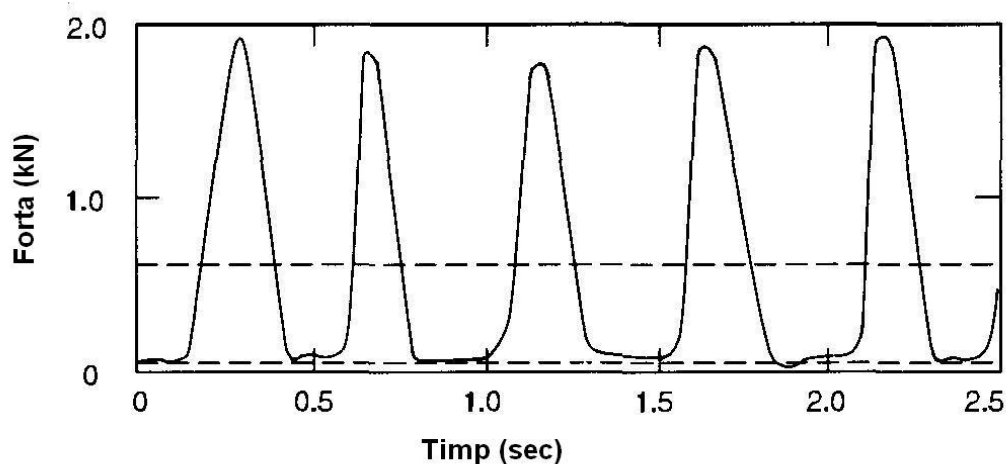
$$\frac{a_p}{g} = \frac{1.3}{\left(\frac{f_n}{f}\right)^2 - 1} \cdot \frac{\alpha_i \cdot w_p}{w_t} \quad (2.17b)$$

Cele mai multe probleme apar daca o frecventa unei actiuni armonice, $f = i \cdot f_{pas}$, are o valoare egala sau apropiata de frecventa proprie a planseului, f_n , in care caz acceleratia este determinata folosind Relatia (2.17a). Vibratiile generate de armonice inferioare (prima sau a doua) pot fi totusi considerabile iar acceleratia pentru armonica inferioara este determinata folosind Relatia (2.17b). Acceleratia maxima efectiva, considerand toate armonicile, poate fi estimata folosind urmatoarea regula de combinare (Allen 1990):

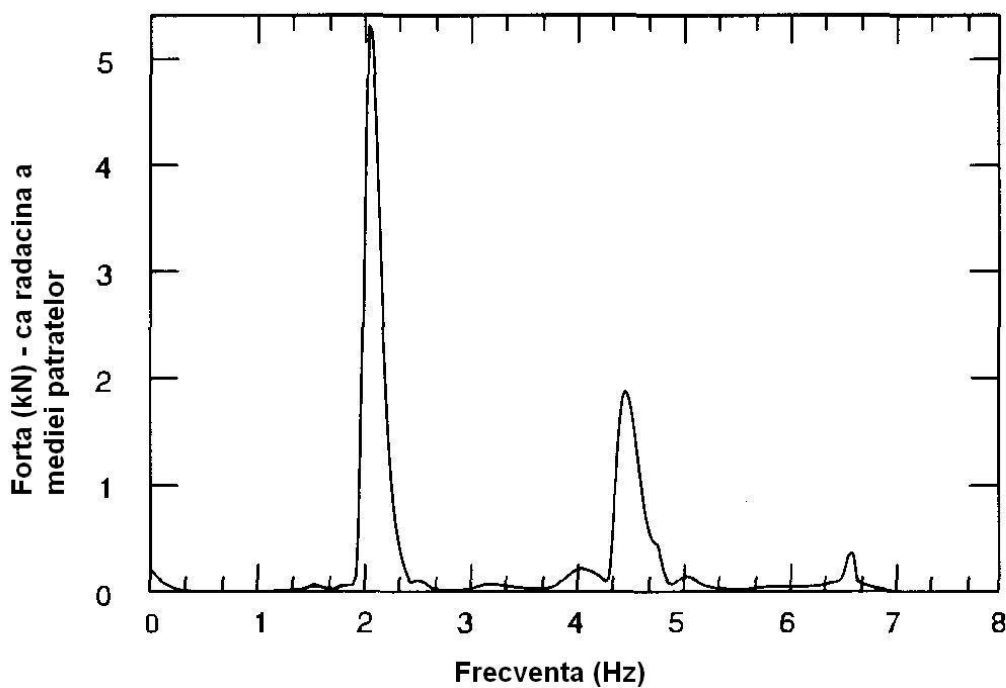
$$a_m = [\sum a_i^{1.5}]^{1/1.5} \quad (2.18)$$

unde:

- a_i – acceleratia de varf corespunzatoare armonicii ‘i’;



a) Inregistrare timp



b) Spectru

Figura 2.10 – Exemplu de funcție aferentă încărcării și spectru pentru o activitate ritmică

Aceleratia efectivă maximă determinată folosind Relatia (2.18) poate fi comparată valoarea limită a accelerației corespunzătoare acțiunii generate de oameni care iau parte într-o activitate ritmică (aproximativ 5% g din Figura 2.4). S-a observat însă, din experiență, că multe probleme privind vibrația clădirilor datorită mișcărilor ritmice privesc mai cu seamă utilizatorii

mai sensibili din cladire, in special pe cei ce se afla in imediata vecinatate a arealului de desfasurare a respectivei activitati. Pentru acesti utilizatori, acceleratia efectiva maxima, a_m , calculata pentru planseul ce sustine miscarea ritmica, trebuie redusa corespunzator formei modului de vibratie al sistemului structural, inainte de a o compara cu acceleratia limita din Figura 2.4.

Actiunea dinamica indusa de activitatile ritmice prezinta tendinta unor valori semnificative iar vibratia rezonanta este in general prea intensa pentru a putea fi redusa prin cresterea amortizarii sau a masei. Acest lucru inseamna ca in vederea proiectarii, frecventa naturala a sistemului, f_n , trebuie sa fie mai mare decat frecventa f a celei mai inalte armonice ce poate cauza vibratii rezonante. Relatia (2.15b) poate fi inversata pentru a furniza urmatorul criteriu de proiectare (Allen 1990a):

$$f_n \geq f \cdot \sqrt{\left(1 + \frac{k}{a_0/g} \cdot \frac{\alpha_i \cdot w_p}{w_i}\right)} \quad (2.15)$$

unde:

- a_0/g – acceleratia limita (0.05 sau mai putin daca sunt afectati utilizatorii sensibili);
- k – constanta (1.3 in cazul dansului, 1.7 in cazul unui concert live sau evenimente sportive, 2.0 in cazul gimnasticii aerobice).

Analiza corecta folosind Relatiile (2.17) si (2.18) poate furniza o indrumare mai buna decat Relatia (2.19) cum ar fi pentru cazul in care rezonanta cu armonica cea mai inalta este acceptabila din cauza ca masa sau incarcarea ochiului de placa sunt suficiente.

3. DETERMINAREA CARACTERISTICELOR SISTEMULUI STRUCTURAL AL PLANSEULUI

Cel mai important parametru pentru calculul la starea limita de exploatare in cazul vibratiilor si proiectarea sistemelor structurale metalice ale planseelor este frecventa proprie. Calculul frecventei proprii fundamentale a unui element de constructie se poate face prin metode exacte sau prin metode aproximative.

3.1. CALCULUL FRECVENTEI PROPRII PRIN METODE APROXIMATIVE

Calculul frecventei proprii a elementelor structurale folosind formule aproximative care sunt usor de aplicat si a caror precizie este considerata suficienta pentru situatiile curente este preferat datorita numarului mare de date inexacte/aproximate care intervin in calculele de acest gen.

In lucrarile de dinamica structurilor se pot gasi expresiile frecventei fundamentale a elementelor structurale de baza (grinzi si placi) cu mase uniform distribuite si/sau concentrate.

Pentru elementele simple de structura, calculul frecventei modului fundamental f_1 (in Hz) se poate face direct din relatia de baza ale dinamicii:

$$f_1 = \frac{C}{\sqrt{\Delta_{st}}} \quad (3.1)$$

unde:

- Δ_{st} – sageata statica maxima, in "cm" produsa de incarcarea totala prezenta pe elementul structural in momentul in care se produce excitatia.

Aceasta sarcina poate fi:

- incarcarea de exploatare (valoarea normata), in cazul cladirilor de locuit (locuire individuala sau colectiva) si cladirilor de birouri fara posibilitati de aglomerare a persoanelor; se recomanda in acest caz ca incarcările de exploatare sa fie luate in calcul numai cu fractiunea de lunga durata (n^d din STAS 101010/OA-77 , tab.5)
- incarcarea de calcul, in cazul cladirilor unde sunt posibile aglomerari importante de persoane.
- C – coeficient care depinde de tipul elementului structural si de schema statica a acestuia.

In lucrarea „Control of Floor Vibration” (National Research Council of Canada, dec.1998), Allen recomanda pentru inlesnirea calculului in situatiile curente, relatia de mai jos:

$$f_1 = \frac{18}{\sqrt{\Delta_{st}}} \quad (3.1a)$$

unde:

- Δ_{st} – sageata statica maxima a intregului ansamblu al planseului (placa, grinzi, stalpi) produsa de incarcarea totala sustinuta de acesta.

3.1.1. CALCULUL FRECVENTEI PROPRII A GRINZILOR

Pentru calculul primei frecvente proprii a grinzilor, valorile coeficientului "C" din Relatia (3.1) se iau din Tabelul 3.1:

Tabelul 3.1

Schema statica a grinzii	Masa uniform distribuita "m"	Masa concentrata "M" in pozitie oarecare
Simplu rezemata	5.6	5.0
Dublu incastrata	5.6	5.0
Consola	6.2	5.0

Sageata statica Δ_{st} se calculeaza cu metodele staticii constructiilor.

Pentru grinzile cu masa uniform distribuita "m" si cu o masa concentrata "M" intr-o pozitie oarecare se inlocuieste "M" cu o masa echivalenta data de relatia $M_{echiv} = M + \alpha mL$, unde "L" este deschiderea grinzii.

Pentru unele cazuri particulare curente, expresiile masei echivalente sunt:

- grinda simplu rezemata cu masa M la mijlocul deschiderii: $M_{echiv} \cong M + 0.5mL$;
- grinda dublu incastrata cu masa M la mijlocul deschiderii: $M_{echiv} \cong M + 0.4mL$;
- grinda in consola cu masa M la varful consolei: $M_{echiv} \cong M + 0.25 mL$.

Pentru frecventele modurilor 2 si 3, calculul se conduce conform metodelor dinamicii structurilor.

3.1.2. CALCULUL FRECVENTEI PROPRII A PLACILOR

In cazul placilor cu incarcare uniform distribuita (p), avand raportul laturilor cuprins intre $L_2/L_1 = 1.0 \div 2.0$, simplu rezemate sau incastrate pe toate laturile, calculul frecventei proprii a modului fundamental se poate face, cu suficienta precizie, folosind relatia :

$$f_1 = \frac{6.30}{\sqrt{\Delta_{st}}} \quad (3.2)$$

unde:

- Δ_{st} – sageata statica in centrul placii (in cm) sub incarcarea "p".
 Calculul sagetii Δ_{st} se face cu formulele cunoscute pentru calculul placilor elastice.

Frecventa proprie a modului fundamental al unei placi dreptunghiulare din beton armat cu laturi L_1 si L_2 ($L_1 \leq L_2$) si grosime "h" se poate determina si direct, din teoria generala a dinamicii placilor elastice, cu relatia

$$f_1 = C_{pl} \frac{h^{3/2}}{L_1^2} \sqrt{\frac{E_b}{p}} \quad (3.3)$$

unde:

- E_b – modulul de elasticitate longitudinal al betonului, in N/mm^2 ;
- p – incarcarea de proiectare pe placa, pentru SLEN, in kN/m^2 ;
- h – grosimea placii, in m;
- L_1 – latura scurta a placii, in m;
- C_{pl} – coeficient care tine seama de raportul $\mu = L_1/L_2$ si de conditiile de rezemare pe contur ale placii date in Tabelul 3.2;

Tabelul 3.2

$\mu = \frac{L_1}{L_2}$	Simplu rezemata pe toate laturile	Incastrata pe toate laturile
1/1	91.7	167.1
1/2	57.3	114.1
1/3	51.0	107.7

In cazul placilor cu alte conditii de rezemare sau pentru frecventele modurilor superioare, calculul se face cu metodele generale ale dinamicii placilor elastice.

3.1.3. CALCULUL FRECVENTEI PROPRII A PLANSEELOR MIXTE (TIP 'STEEL-DECK')

Pentru determinarea frecventei proprii a planseelor cu structura mixta (grinzi metalice si placa din beton armat) se folosesc urmatoarele ipoteze:

- (1) placa din beton armat si grinda metalica lucreaza ca un sistem compozit indiferent de numarul de conectori dintre cele doua elemente;
- (2) grinda este modelata ca un sistem cu un singur grad de libertate (SGDL);
- (3) momentul de inertie transformat (I_t) este calculat folosind ipotezele lui Murray.

Asa cum a fost indicat si de catre Allen, este recomandabil ca prima frecventa proprie (fundamentala) a sistemului, f , sa fie calculata in baza deformatiei:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\text{rigiditate}}{\text{masa}}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{\Delta}} \quad (3.4)$$

unde:

- Δ – sageata la mijlocul deschiderii a unui sistem SGDL echivalent sub greutatea proprie iar g este acceleratia gravitacionala ($386.4\text{in}/\text{sec}^2$). Pentru un planseu cu sistem structural mixt Δ poate fi aproximat prin:

$$\Delta = \frac{\Delta_B + \Delta_G}{1.3} + \Delta_S \quad (3.5)$$

unde:

- Δ_B – sageata din incovoiere si forta taietoare a unei grinzi secundare;
- Δ_G – sageata grinzii principale din incovoiere si forta taietoare in zona reazemului grinzii secundare;
- Δ_S – scurtarea reazemului constituit dintr-un stalp sau un perete.

Constanta 1.3 din relatia de mai sus se aplica si in cazul grinzilor simplu rezemate si in cel al grinzilor incastrate. Pentru console incastrate se va folosi valoarea de 1.5. In calculul lui Δ grinzile continue sau cu reazeme articulate trebuie tratate ca grinzi simplu rezemate deoarece in reazeme exista noduri de vibratie.

Daca deformatiile din forta taietoare sunt neglijabile, atunci momentul de inertie transformat al grinzii secundare poate fi estimat pentru estimarea frecventei proprii a acesteia:

$$f = K \sqrt{\frac{gEI_t}{WL^3}} \quad (3.6)$$

unde:

- $K = \pi/2$ pentru grinzi simplu rezemate.
Valorile lui K pentru diferite tipuri de rezemare sunt date in tabele.
- I_t – momentul de inertie transformat pentru sectiunea compusa a grinzii;
- E – modulul de elasticitate al otelului;
- L – deschiderea grinzii;
- W – incarcarea totala sustinuta de grinda.

De obicei in aceasta valoare a greutatii este inclusa si o parte din incarcarea utila sustinuta (aproximativ 10% pana la 25% din valoarea totala de calcul a incarcarii utile).

Pentru calculul valorii I_t , grosimea efectiva a placii (h) se presupune egala cu grosimea unei placi rectangulare avand aceeasi greutate cu placa reala, incluzand betonul din striurile tablei cutate si greutatea acesteia (vezi Figura 3.1).

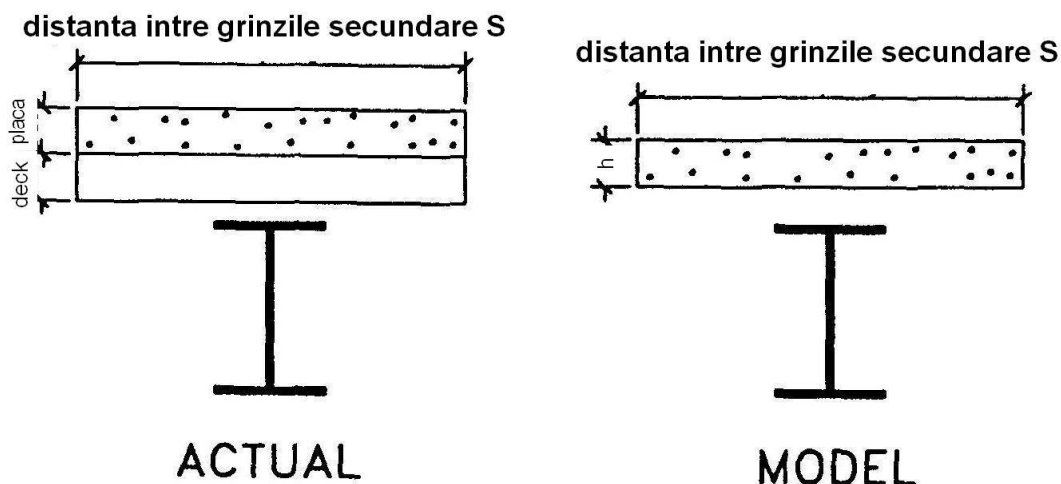


Figura 3.1 – Modelul grinda in „T” pentru calculul momentului de inertie transformat

Efectul flexibilitatii reazemelor constituite din grinda principala si stalp asupra frecventei proprii a sistemului mai poate fi exprimat si prin relatia urmatoare:

$$\frac{1}{f^2} = \frac{1}{(f_b)^2} + \frac{1}{(f_g)^2} + \frac{1}{(f_s)^2} \quad (3.7)$$

unde f_b , f_g si f_s sunt frecventele naturale ale grinzii secundare, grinzii principale si stalpului, calculata fiecare separat.

Trebuie notat faptul ca sistemele structurale ale planseelor sunt complexe si au frecvente proprii complexe. Procedeele simplificate prezentate anterior furnizeaza in mod obisnuit o estimare buna a primei frecvente proprii. Cu toate acestea, in functie de activitatea considerata, aceasta frecventa nu este neaparat cea mai importanta. Spre exemplu, pentru activitati ne-ritmice (exp. mers) este foarte improbabil ca reazemele constituite din stalpi sa aiba o participare semnificativa in raspunsul structurii. In asemenea cazuri, frecventele naturale ce prezinta interesul major sunt cele ale grinzii secundare luata singular si a sistemului grinda secundara – grinda principala. Pe de alta parte, toate cele trei frecvente proprii (grinda secundara, grinda secundara + grinda principala, grinda secundara + grinda principala + reazem) trebuie considerate in cazul activitatilor ritmice.

FRECVENTA PROPRIE A PLANSEELOR CU STRUCTURA METALICA PRIN METODE EXACTE

In cele ce urmeaza se vor trasa criteriile de baza in vederea estimarii frecventei naturale pentru planseele sustinute de sisteme de grinzi metalice, incluzand efectele continuitatii.

3.2.1. RELATII FUNDAMENTALE

Plansele sustinute de sisteme metalice sunt in general sisteme pe doua directii ce pot avea cateva moduri de vibratie cu valori apropiate ale frecventelor. Frecventa proprie a unui mod de vibratie critic, rezonant cu armonica frecventei pasilor ar putea fi, in consecinta, dificil de estimat. Pentru a determina proprietatile modului critic de vibratie se poate folosi analiza modala, dar sunt factori care sunt dificil de incorporat modelului structural (actiunea complexa, conditiile de rezemare si discontinuitatile, partitionari alte elemente nestructurale etc.). Un planseu neterminat cu deschideri uniforme poate avea o varietate larga de tipare ale configuratiilor modale extinsa pe toata suprafata sa, dar partitionarile si alte elemente nestructurale tind sa constranga miscarile dinamice semnificative pe arii locale in asemenea maniera incat planseul va vibra local ca un planseu singular ce lucreaza pe doua directii. Pentru determinarea frecventei proprii fundamentale a vibratiei verticale se recomanda folosirea relatiilor prezentate in cele ce urmeaza.

Planseul se presupune a consta dintr-o placa de beton rezemata pe un sistem de grinzi metalice care reazema la randul lor pe pereti sau grinzi principale sustinute de stalpi. Frecventa proprie, f_n , a unui mod critic de vibratie este estimata considerand mai intai separat modul de vibratie al unui panou rezemat pe o retea de grinzi si pe cel al unui panou sustinut de grinzi principale si combinand apoi rezultatele. In mod alternativ, frecventa naturala poate fi estimata folosind metoda elementului finit.

Frecventele naturale ale panoului rezemat pe retea de grinzi si celui rezemat pe grinzi principale pot fi estimate din relatia frecventei proprii fundamentale pentru o grinda simplu rezemata incarcata uniform:

$$f_n = \frac{\pi}{2} \cdot \sqrt{\left[\frac{g \cdot E \cdot I_t}{wL^4} \right]} \quad (3.8)$$

unde:

- f_n – frecventa proprie fundamentala, in Hz
- g – acceleratia gravitacionala, 9.8m/s^2
- E – modulul de elasticitate al otelului;
- I_t – momentul de inertie transformat; momentul de inertie transformat efectiv, daca sunt incluse deformatiile din forta taietoare;
- w – incarcarea uniform distribuita pe grind a pe unitatea de lungime (valori normate pentru incarcările permanente si utila);
- L – deschiderea grinzii.

Frecventa modurilor sau sistemelor combinate poate fi estimata folosind relatia Dunkerley:

$$\frac{1}{f_n^2} = \frac{1}{f_j^2} + \frac{1}{f_g^2} \quad (3.9)$$

unde:

- f_j – frecventa panoului rezemat pe retea de grinzi secundare;
- f_g – frecventa panoului rezemat pe grinzi principale.

Relatia (3.8) mai poate fi scrisa:

$$f_n = 0.18 \sqrt{\frac{g}{\Delta}} \quad (3.10)$$

unde:

- Δ - deformatia maxima a elementului in raport cu rezemele datorata incarcarii sustinute ($\Delta = 5wL^4 / 384E_sI_s$)

Uneori pentru a determina valoarea lui Δ este nevoie de a include si deformatiile din forta taietoare.

Relatia pentru modul de vibratie combinat, daca se considera ca si reseaua de grinzi si grinzile principale sunt simplu rezemate, relatia Dunkerley mai poate fi scrisa:

$$f_n = 0.18 \sqrt{\frac{g}{\Delta_j + \Delta_g}} \quad (3.11)$$

unde:

- Δ_j si Δ_g – deformatiile datorate incarcarii sustinute pentru reseaua de grinzi secundare, respectiv grinzile principale.

Cladirile inalte pot avea frecvente verticale ale stalpilor suficient de joase incat sa poata cauza probleme serioase de rezonanta cu activitatea ritmica. In aceste cazuri, Relatia (3.4) este modificata pentru a include efectul stalpilor:

$$f_n = 0.18 \sqrt{\frac{g}{\Delta_j + \Delta_g + \Delta_c}} \quad (3.12)$$

unde:

- Δ_c – scurtarea axiala a stalpului datorata incarcarii sustinute

In paragrafele urmatoare se face o indrumare mai amanuntita in evaluarea deformatiilor retelelor de grinzi secundare, a grinzilor si a grinzilor principale datorata momentelor incovoietoare si fortelelor taietoare.

3.2.2. ACTIUNEA COMPUSA

Pentru a calcula frecventa proprie fundamentala folosind relatiile evidentiate anterior, in cazul in care placa de beton armat (sau deck-ul) este atasata reazemelor, se foloseste momentul de inertie transformat. Aceasta presupunere se face chiar si in cazul in care nu se folosesc conectori, pentru ca fortele taietoare la interfata placa-grinda fie datorita sudurii deck – reazeme, fie datorita fortelor de frecare mari dintre betonul armat si metal.

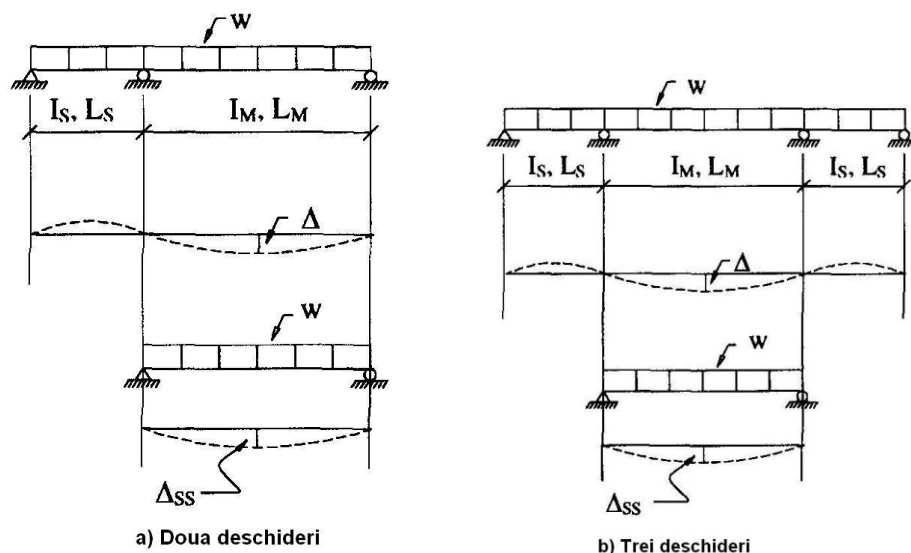


Figura 3.2 – Deformata modala, Δ , din moment incovoietor pentru grinzi continue pe reazeme

Daca reazemul este separat de placa (exemplu, cazul grinzilor suspendate ce trec peste o grinda inalta), nu se mai presupune acest comportament complex, compus. In asemenea cazuri, frecventa proprie fundamentala a grinzii inalte poate fi crescuta prin introducerea de conectori intre placa si talpa grinzii.

Pentru a lua in calcul rigiditatea betonului sustinut de grinzi metalice mult mai mare in cazul incarcarilor dinamice decat a celor statice se recomanda ca pentru calculul momentului de inertie transformat modulul de elasticitate al betonului sa fie luat cu 35% mai mare decat valoarea specificata in coduri. Deasemenea, pentru determinarea momentului de inertie transformat al grinzilor, retelelor de grinzi sau grinzilor principale tipice, se recomanda ca pentru latimea efectiva a placii sa se ia in calcul valoarea cea mai mare intre distanta dintre respectivele elemente dar nu mai mult de 40% din deschiderea lor. Pentru zonele marginale sau grinzi-perete, latimea efectiva a placii se ia jumatate din distanta intre elemente dar nu mai mult de 20% din deschiderea unui element.

3.2.3. INCARCAREA UNIFORM DISTRIBUITA

Greutatea sustinuta, w , folosita in relatiile de mai sus, trebuie estimata cu grija. In calcule trebuie folosite valori reale si nu de proiectare pentru incarcarile permanente si utila. Pentru plansele cladirilor de birouri, se recomanda o valoare a incarcarii utile de 0.5kN/m^2 , aceasta valoare fiind tipica zonelor de birouri cu mese, dulapuri, biblioteci, etc. Daca aceste articole nu sunt prezente, se recomanda folosirea unei valori mai mici. In cazul cladirilor / etajelor rezidentiale, se recomanda ca valoarea incarcarii utile sa fie de

0.25kN/m². Pentru pasarele, sali de sport, centre comerciale etc. se recomanda o valoare nula pentru incarcarea utila.

Relatiile (3.8) si (3.10) au la baza ipoteza unei grinzi simplu rezemate si incarcate uniform. Presupunerea este corecta in cazul retelelor de grinzi secundare, a grinzilor si a grinzilor principale, singura exceptie fiind faptul ca in cazul grinzilor principale ce sustin grinzi secundare la jumatatea deschiderii, deformatia calculata trebuie multiplicata prin factorul $4 / \pi$ (=1.3) pentru a lua in calcul diferenta de frecventa intre o grinda simplu rezemata incarcata uniform si o grinda simplu rezemata cu o incarcare concentrate in mijlocul deschiderii.

3.2.4. DEFORMATIA DIN INCOVOIERE: CONTINUITATE

A) *Rețele de grinzi, grinzi si grinzi principale continue*

Relatia (3.10) prin (3.12) se aplica deasemenea in mod aproximativ pentru grinzi continue pe reazeme pentru situatia in care incarcarea actioneaza pe directia deplasarii modale (in sens opus gravitatiei). Deschiderile adiacente se deformeaza in directii opuse si de aceea pentru o grinda continua cu deschideri egale, frecventa fundamentala este egala cu frecventa proprie a unei singure deschideri.

Acolo unde deschiderile nu sunt egale, se pot folosi urmatoarele relatii pentru evaluarea deformatiei din incovoiere a unui element continuu, folosind deformatia din incarcarea, Δ_{ss} , a unei deschideri principale (mai mare) simplu rezemata, L_M . Pentru doua deschideri continue:

$$\Delta = \left[\frac{0.4 + \frac{k_m}{k_s} \left(1 + 0.6 \frac{L_s^2}{L_M^2}\right)}{1 + \frac{k_m}{k_s}} \right] \Delta_{ss} \quad (3.13)$$

Pentru trei deschideri continue:

$$\Delta = \left[\frac{0.6 + 2 \frac{k_m}{k_s} \left(1 + 1.2 \frac{L_s^2}{L_M^2}\right)}{3 + 2 \frac{k_m}{k_s}} \right] \Delta_{ss} \quad (3.14)$$

unde:

- $k_m = I_M / L_M$;
- $k_s = I_s / L_s$;
- I – moment de inertie;
- L_M si L_s sunt definite in Figura 3.2.

B) Elemente continue cu stalpi

Frecventa proprie a unei grinzi principale sau grinzi care este prinsa pe stalpi printr-o imbinare ce lucreaza la moment incovoietor creste datorita constrangerii prin incovoiere a stalpilor.

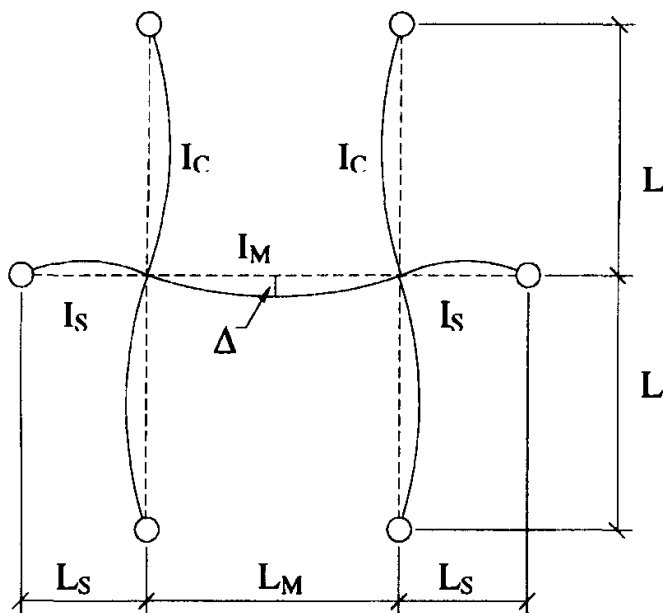


Figura 3.3 – Deformata modală, Δ , din moment incovoietor pentru grinzi continue cu stalpi

Acest lucru este important in cazul cladirilor inalte cu stalpi mari. Relatia de mai jos poate fi folosita pentru a evalua deformatia din incovoiere a unei grinzi principale sau grinzi prinse pe stalpi printr-o imbinare ce lucreaza la moment incovoietor ca in Figura 3.3:

$$\Delta = \left[\frac{0.6 + 2 \frac{k_m}{k_c} (1 + 2\lambda) + 1.2n_c \frac{k_c}{k_s}}{3 + 2 \frac{k_m}{k_s} + 6n_c \frac{k_c}{k_s}} \right] \Delta_{ss} \quad (3.15)$$

unde:

- $k_m = I_M / L_M$;
- $k_s = I_S / L_S$;
- $k_c = I_C / L_C$;
- I – moment de inerție;
- L_M și L_S sunt definite in Figura 3.3;
- Δ_{ss} – deformatia din incovoiere data de incarcarea sustinuta pentru deschiderea

principala L_M a grinzii, grinzii principale etc.

- $\lambda = (L_s / L_M)^2$.

C) Console

Frecventa proprie a unei console poate fi evaluata folosind Relatia (3.8) prin Relatia (3.10) si urmatoarea relatie pentru a calcula Δ . Pentru o incarcare uniform distribuita:

$$\Delta_f = \frac{w \cdot L^4}{8EI} \quad (3.16)$$

si pentru o masa concentrata la varf:

$$\Delta_f = \frac{W \cdot L^3}{3EI} \quad (3.17)$$

Consolele sunt totusi rar fixate pe de-a intregul la reazeme. Urmatoarele ecuatii pot fi folosite pentru a evalua deformatia din moment incovoietor a unei console precum cea din Figura 3.4. Daca deformatia consolei, Δ_T , depaseste deformatia deschiderii adiacente ei, Δ_B , atunci :

$$\Delta = \Delta_T = C_m \left(1 + \frac{4 L_B}{3 L_T} \cdot \frac{1 + 0.25 L_B^2 / L_T^2}{1 + n_c \cdot k_c / k_b} \right) \Delta_F \quad (3.18)$$

Daca deformatia consolei, Δ_T , este mai mica decat deformatia deschiderii adiacente ei, Δ_B , atunci:

$$\Delta = \Delta_B = \left[1 + 2.4 \left(\frac{L_T^2 / L_B^2 - 0.5 k_c / k_b}{1 + n_c \cdot k_c / k_b} \right) \right] \Delta_{ss} \quad (3.19)$$

unde L_c , L_B si L_T sunt definite in Figura 3.3 si:

- $k_b = I_b / L_b$;
- $k_c = I_c / L_c$;
- $C_m = 0.81$ pentru incarcare uniform distribuita si 1.06 pentru masa concentrata la varf;
- $n_c = 1$ – daca stalpii se gasesc si superior si inferior grinzii si 0.5 daca sunt doar inferior ei;
- Δ_f – deformatia din incovoiere data de incarcarea sustinuta pentru o consola;
- Δ_{ss} – deformatia din incovoiere data de incarcarea sustinuta pentru deschiderea principala L_M a grinzidei, grinzii inalte etc.

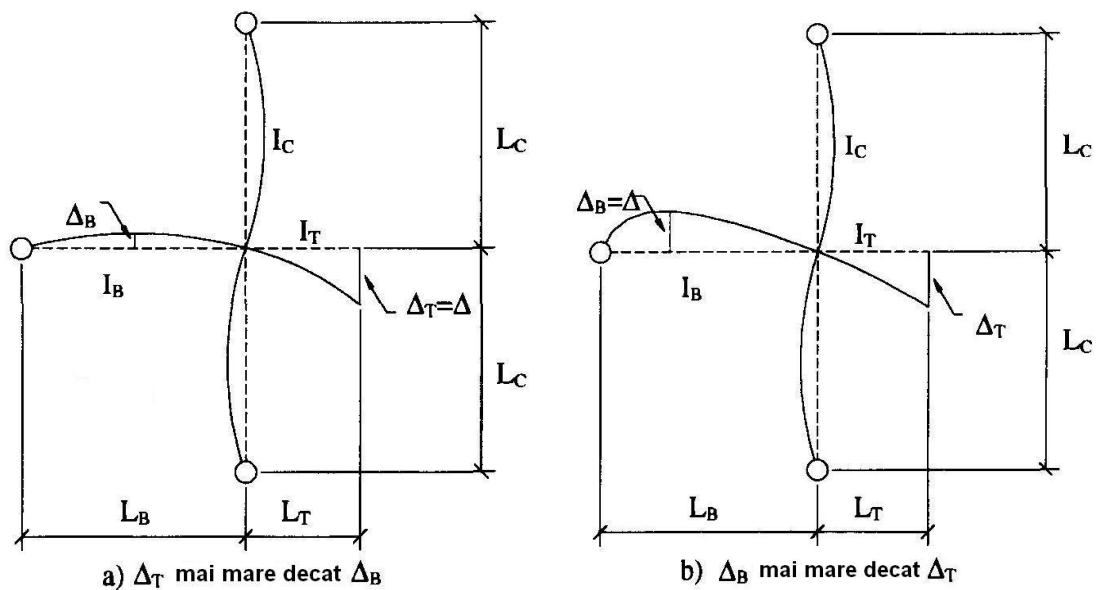


Figura 3.4 – Deformarea modala, Δ , din moment incovoietor pentru console cu stalpi

4. CONCLUZII SI RECOMANDARI – LIMITE DE ACCEPTARE PENTRU RASPUNSUL DINAMIC AL PLANSEELOR

Determinarea unor vibratii potential suparatoare ale planseelor necesita considerarea cu grija a sistemului structural, a activitatilor anticipate a se desfasura si a spatiului finisat. Cel mai important parametru ce trebuie determinat este *frecventa proprie* a sistemului structural al planseului. Trebuie de asemenea selectat un criteriu pentru *acceleratia tolerata* si comparat cu *acceleratia prevazuta* pentru structura reala. Nu in ultimul rand, trebuie estimata *amortizarea* sistemului structural al planseului, ce depinde de componentele sistemului de constructie in aceeasi masura ca si de mobilier si partitionari.

Evaluarea sistemului structural al unui planseu in vederea unui potential disconfort cauzat de vibratii are nevoie in primul rand de estimarea cu grija a greutatii suportate de planseu intr-o zi tipica. Un planseu incarcat la limita nu va prezenta niciodata probleme; cei mai multi ocupanti se plang cand planseul cu probleme este slab incarcat. In calculul la vibratii nu se recomanda folosirea valorilor de calcul pentru incarcările permanente si din echipamente mecanice si nici pentru incarcarea utila.

Nivelul de toleranta al vibratiei se recomanda a fi estimat ca functie de frecventa vibratiei dar si de acceleratia acesteia. Frecventa depinde de deschidere (de obicei cu cat este mai mare deschiderea, cu atat mai mica este frecventa) si de greutatea suportata de planseu (cu cat este mai greu planseul si incarcările ce actioneaza asupra sa, cu atat mai joasa este frecventa) – in consecinta, un planseu din beton cu greutate normala va vibra cu o frecventa mai joasa decat un planseu din beton usor. Un planseu are in general o frecventa intre 3Hz si 20Hz. Pentru un ochi de placa de 9 x 9m dintr-o cladire de birouri, frecventa este de 5-8Hz. Cand frecventa depaseste 15Hz, asa cum se intampla in cazul deschiderilor mici (spre exemplu mai mici de 4m), vibratiile planseului nu sunt in general simtite. Pentru situatiile curente, depinzand de sistemul structural ales, valorile recomandate pentru frecventa minima a planseului se situeaza intre 4Hz si 8 Hz (Bijan O. Aalami, 2008). Nivelul de toleranta al acceleratiei creste pe masura ce mediul devine mai tacut. De exemplu, nivelul de toleranta a vibratiilor in cazul oamenilor ce practica gimnastica aerobica (activitati ritmice) este de zece ori mai mare decat in cazul in care s-ar afla intr-un birou linistit. Acceleratia unui planseu depinde de activitatea desfasurata, de frecventa proprie a planseului, de masa care se misca atunci cand planseul vibreaza si de amortizarea acestuia. Acceleratia planseului creste direct proportional cu energia activitatii desfasurate si este, in consecinta, mai mare in cazul gimnasticii aerobice decat in cazul mersului. Acceleratia scade invers proportional cu greutatea – acceleratia unui planseu din beton usor va fi mai mare in cazul desfasurarii aceleiasi activitati decat cea a unui din beton cu greutate normala. Acceleratia scade invers proportional cu amortizarea. Amortizarea planseelor este de obicei intre 2% si 5%. Valoarea mai joasa apare in cazul planseelor ce sustin putine elemente ne-structurale, cum ar planseele cladirilor de birouri

sau bisericilor. Valoarea mai mare apare in cazul planseelor ce sustin partitionari pe toata inaltimea. Un planseu dintr-o cladire de birouri ce sustine partionari mobile, cu inaltimea egala cu jumatate din inaltimea etajului, are o amortizare de aproximativ 3%.

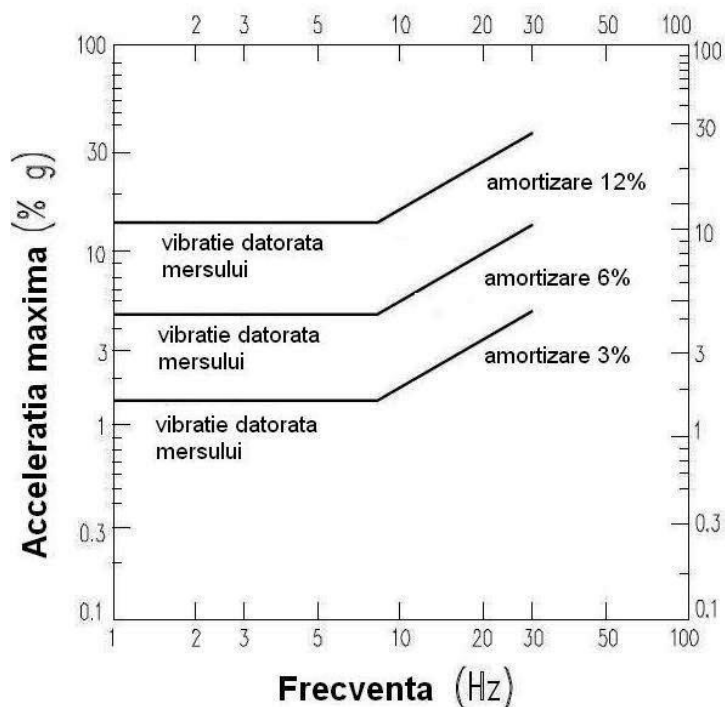


Figura 4.1 – Perceptia vibratiilor in cazul impactului calciului (Canadian Standards Asociacion)

O atentie deosebita trebuie acordata planseelor din cladirile de birouri cu spatii largi, fara partitionari fixe si cu incarcari mici. Aceasta situatie poate rezulta intr-un planseu cu probleme daca proiectarea nu este facuta corect. Deasemeni, planseele cu incarcari de calcul mari si incarcari reale mici nu au aceiasi amortizare cu planseele proiectate pentru incarcari normale in cladiri de birouri. In acest caz ar trebui folosite valori inferioare in estimarea amortizarii (exp. 1 – 2 %).

Proiectarea planseelor ce sustin activitati ritmice, dansuri, gimnastica aerobica, etc. necesita considerarea intregii structuri, nu numai a planseelor in sine. Asemenea activitati induc niveluri mari de energie intregii structuri si pot cauza miscari suparatoare ale planseului chiar si la o oarecare distanta de locul unde se produce activitatea. Pentru a evita vibratiile suparatoare ale planseelor ce sustin activitati ritmice, frecventa proprie fundamentala trebuie sa fie deasupra frecventelor asociate armonicele activitatii si acceleratiei de toleranta. Aceleratia de toleranta este functie si de activitatea ritmica si de ocupanta afectata. Spre exemplu, cand sunt luate in calcul dansul si cina, acceleratia de toleranta este 0.02g. Nivelul de toleranta creste la 0.05g pentru participantii la concerte sau evenimente sportive.

4.1. VALORI ACCEPTABILE PENTRU NIVELUL ACCELERATIEI PLANSEULUI

Conform „National Building Code of Canada. Part 4. Serviceability Criteria for Deflection and Vibration” (Codul National de Proiectare Canadian. Partea a 4-a. Criterii pentru Calculul la Starea Limita a Exploatarii Normale pentru Deformatii si Vibratii) nivelurile acceptabile ale acceleratiei pentru diferite functiuni ale spatiului afectat de activitati ritmice sunt date in Tabelul 4.1.

Tabelul 4.1

Funcțiunea afectata	Acceleratia limita (% g)
Birouri si locuinte	0.4 ÷ 0.7
Sali de mese, de dans si sali de haltere	1.5 ÷ 2.5
Funcțiuni mixte care includ si gimnastica aerobica	2.0
Numai activitati ritmice (de ex. numai gimnastica aerobica)	4.0 ÷ 7.0

Valorile inscrise in tabel tin seama atat tipul activitatii care constituie sursa vibratiilor cat si de cea a persoanelor care recepteaza vibratii. Pentru proiectare se recomanda valorile inferioare.

4.2. VALORI ACCEPTABILE PENTRU NIVELUL FRECVENTEI PLANSEULUI

In lucrarea „Control of Floor Vibrations” (Controlul Vibratiilor Planseelor) se dau urmatoarele valori minime pentru frecventa fundamentala a planseelor cu diferite alcatuiri in functie de activitatea care se desfasoara, diferentierea in functie de tipul structurii planseului fiind facuta pe baza capacitatii de amortizare specifice fiecarei alcatuiri in parte.

Tabelul 4.2

Activitate ritmica	Planseu din beton sau otel	Planseu cu structura usoara
Sali de dans si sali de mese	5 Hz	10 Hz
Sali pentru gimnastica aerobica	9 Hz	13 Hz

In „Vibration Criteria for Assembly Occupancies” (Criterii de Vibratie pentru Funcțiuni Mixte), Allen face o descriere mai detaliata a valorilor in functie de alcatuirea planseelor.

Tabelul 4.3

Tipul activitatii	Planseu compozit (otel + beton)	Planseu de b.a. monolit	Planseu din lemn
Sali de dans si gimnastica	9 Hz	7 Hz	12 Hz
Stadioane, arene	6 Hz	5 Hz	8 Hz

Aceste frecvente sunt asociate cu limitarea acceleratiilor de varf la urmatoarele valori:

- $a_{max} = 0.02$ g pentru sali de dans
- $a_{max} = 0.05$ g pentru sali de gimnastica si stadioane

In cazul salilor in care se desfasoara activitati ritmice (de tip gimnastica aerobica) limitarea inferioara a frecventei se refera si la armonicile superioare (pana la frecventa modului 3).

4.3. VALORI RECOMANDABILE PENTRU NIVELUL DE AMORTIZARE AL PLANSEULUI

Conform lui Murray, evaluarea masurilor ce trebuiesc luate considerand amortizarea necesara a planselui poate fi facuta folosind tabelul de mai jos:

Tabelul 4.4 - Tabel de comparatii pentru amortizarea necesara

Intervalul de valori pentru amortizarea necesara	Comentarii
$D_{nec} \leq 3.5\%$	sistemul este satisfactor chiar daca suprafetele rezemate nu prezinta partitionari fixe
$3.5\% \leq D_{nec} \leq 4.2\%$	proiectantul trebuie sa ia in calcul cu grija mediul de lucru si utilizarea intentionata
$D_{nec} > 4.2\%$	proiectantul trebuie sa poata identifica o sursa exacta de amortizare sau sa furnizeze amortizare aditionala pe cale artificiala pentru a se asigura ca sistemul de planseu corespunde cerintelor; daca acest lucru nu poate fi indeplinit, este necesara redimensionarea

5. DETERMINAREA CARACTERISTICELOR DE VIBRATIE PENTRU UN SISTEM DAT

5.1. DATE INITIALE

Scopul prezentei aplicatii consta in deteminarea caracteristicilor de vibratie proprii (perioade – frecvente) sub diverse ipoteze de incarcare si rezemare pentru un sistem de planseu avand configuratia prezentata mai jos si compararea acestora cu valorile recomandate pentru indeplinirea criteriului de confort.

5.1.1. GEOMETRIE PLANSEU

Sistemul structural analizat are dimensiunile in plan 14.40 x 14.40 m (masurate din axul reazemelor) si consta dintr-o placa de beton armat rezemata pe grinzi metalice. Conlucrarea dintre placa de beton si grinzi este realizata prin conectori dispusi la distanta $d_c = 50\text{cm}$ dar pentru modelul considerat aceasta conlucrare este prezenta doar la noduri.

Dimensiunile elementelor structurale sunt urmatoarele:

- grosime placa beton armat: $h_{pl} = 10\text{cm}$;
- distanta intre grinzi metalice masurata in ax: $d_b = 2.00\text{m}$ – deschideri curente
 $= 2.20\text{m}$ – deschideri marginale
- sectiune grinzi metalice: HE 450-A (conform DIN 1025)
- grinda perimetrala beton armat: $b_g \times h_g = 45 \times 80\text{cm}$
- perete perimetral beton armat: $b_p = 50\text{cm}$.

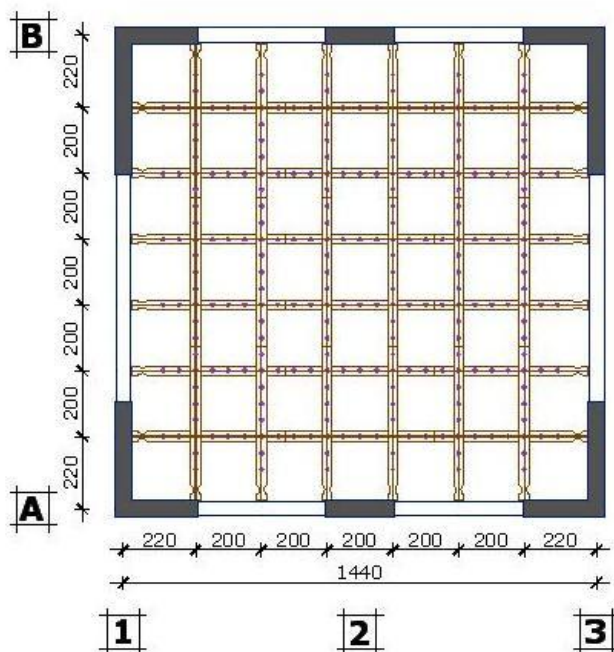


Figura 5.1 – Configuratia unui ochi individual al planseului

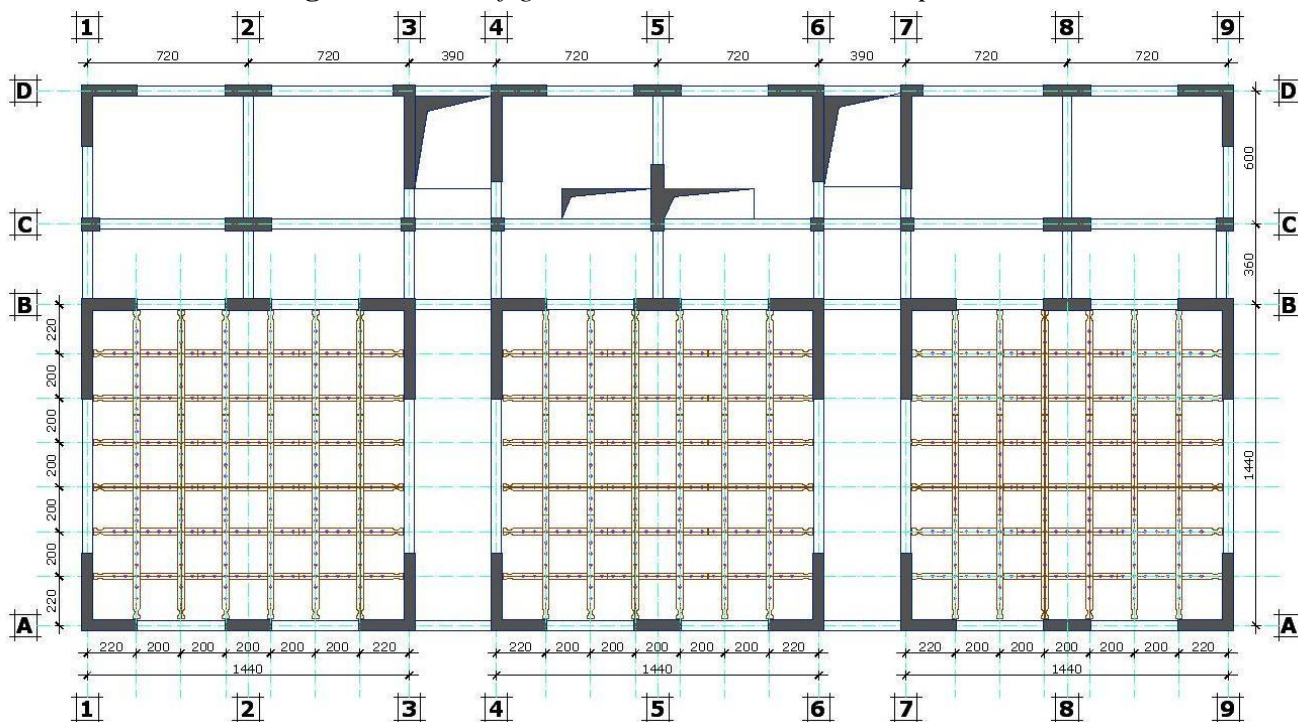


Figura 5.2 – Configuratia planseului de etaj curent

5.1.2. FUNCTIUNEA SPATIULUI

Funcțiunea spațiului în cazul considerat nu implică activități ritmice, de tipul gimnasticii aerobice sau a dansului. Clădirea are însă destinație publică, plansele fiind supuse aglomerărilor de persoane ce pot induce valori mari ale încărcării utile.

5.1.3. MATERIALE FOLOSITE

Betonul folosit pentru placa și reazemele din beton armat (grinzi perimetrice și pereți) este Bc 30, având modulul de elasticitate considerat în calcul $E_b = 32500 \text{ N/mm}^2$, egal cu valoarea dată de cod (STAS 10107/0-90). Deși considerarea fisurării și a încurșiunilor în stadiul II de lucru este importantă în calculul vibrațiilor, deoarece fisurile reduc rigiditatea elementului și coboară în consecință valoarea frecvenței sale naturale, a fost luat în considerare și faptul că, pentru calculul la vibrații se recomandă o majorare cu 25% a valorii statice a modulului de elasticitate.

Pentru grinzi metalice s-a folosit oțel OL 37-2k (conform STAS 500/2-80).

5.2. MODELUL DE CALCUL

Modelul de calcul este unul idealizat si nu tine seama de nodurile rigide formate de retea de grinzi (grinzile sunt pozitionate in ax) lucru ce rezulta in analiza unei structuri mai flexibile ce are, in consecinta, o frecventa mai mica, situatie acoperitoare celei reale.

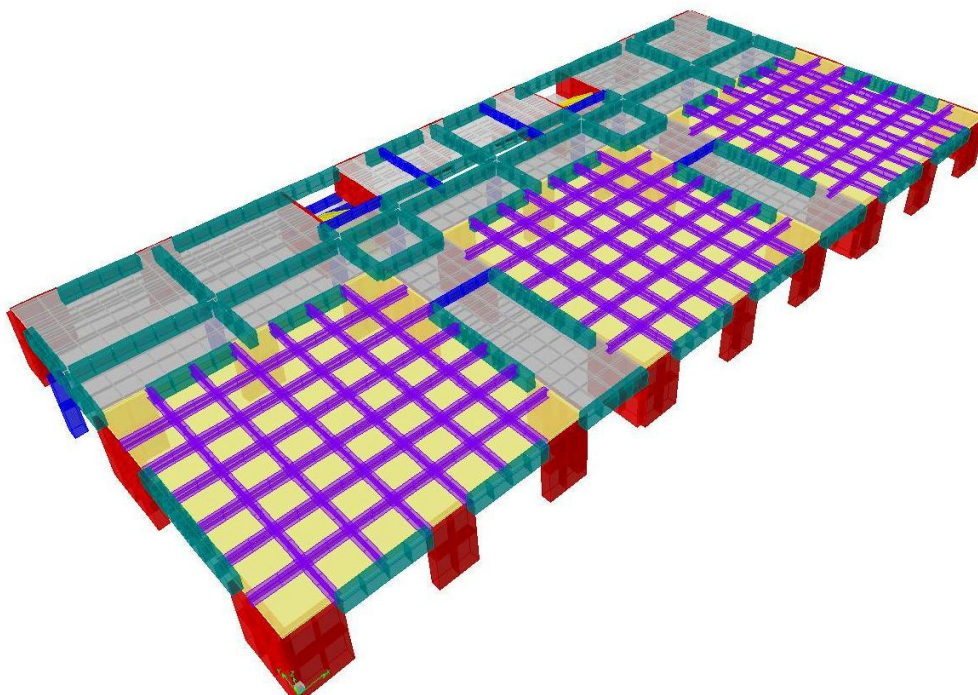


Figura 5.3 – Configuratia modelului de calcul

5.2.1. VALORI ALE INCARCARILOR CONSIDERATE

(1) Incarcari permanente (conform STAS 10101/1-78):

- greutate proprie grinda metalica:
 $q_1^n = 1.40 \text{ kN/m}$
- greutate proprie placa din beton armat:
 $g_{n1} = 0.10\text{m} \times 25\text{kN/m}^3 = 2.50 \text{ kN/m}^2$
- greutate proprie pardoseala:
 $g_2^n = 0.05\text{m} \times 22\text{kN/m}^3 = 1.10 \text{ kN/m}^2$
- greutate pereti despartitori:
 $g_3^n = 1.00 \text{ kN/m}^2$
- greutate instalatii / plafon fals:
 $g_4^n = 0.50 \text{ kN/m}^2$

(2) Incarcari variabile (conform STAS 10101/2-75):

- Incarcarea utila:
 $u^n = 3.00 \text{ kN/m}^2$

5.2.2. IPOTEZE DE CALCUL

Factorul cel mai important si cel mai greu de estimat in calculul pentru vibratia planseelor este valoarea incarcarii acestora. Conform celor mai multe recomandari, valoarea ce trebuie considerata pentru incarcari in cazul calcului la vibratii este valoarea normata, de cod, a acestora deoarece valorile de calcul pot conduce la estimari nerealiste a amortizarii induse de incarcare si la o subestimare, in consecinta, a efectului vibratiilor.

Au fost astfel considerate si comparate patru ipoteze de incarcare:

- (1) Incarcari cu valori normate
 - pentru care valoarea incarcarii utile a fost luata in trei ipoteze:
 - a) redusa cu 40% - luand astfel in calcul si situatia in care planseul are amortizare redusa din incarcari
 - b) intreaga – pentru situatia curenta
 - c) 0 – pentru estimarea frecventei reale a sistemului structural
- (2) Incarcari cu valori de calcul
 - pentru care valoarea incarcarii utile a fost luata in doua ipoteze:
 - d) redusa cu 40% - luand astfel in calcul si situatia in care planseul are amortizare redusa din incarcari
 - e) intreaga – pentru situatia curenta

Pentru a evalua cat mai corect frecventa planseului s-au considerat conditii de rezemare cat mai apropiate de cele reale, modelul luand in calcul comportarea intregului etaj. In cazul in care nu ar fi considerate elementele inconjuratoare, daca s-ar studia numai un planseu izolat, neglijand deformatiile elementelor perimetrice si/sau aportul rigiditatii acestora (grinzi, pereti, plansee alaturate), acesta ar rezulta mai rigid si in consecinta cu frecvente mult mai mari decat cele reale, deci neacoperitoare pentru indeplinirea criteriului de confort. Acestea fiind considerate, analiza pentru vibratiile planseelor a fost facuta luand in calcul intregul ansamblu al etajului (vezi Figura 5.4)

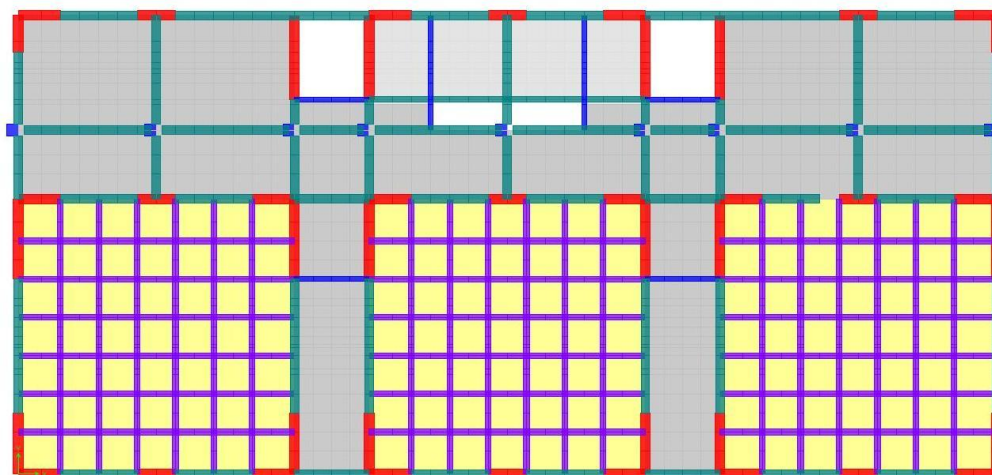


Figura 5.5 – Planul planseului considerat

5.3. ANALIZA MODELULUI CONSIDERAT

Analiza sistemului structural prezentat anterior si ai parametrilor de comportare a acestuia a fost facuta folosind programul de calcul ETABS dezvoltat de CSI Berkley, valorile rezultate fiind prezentate in cele ce urmeaza.

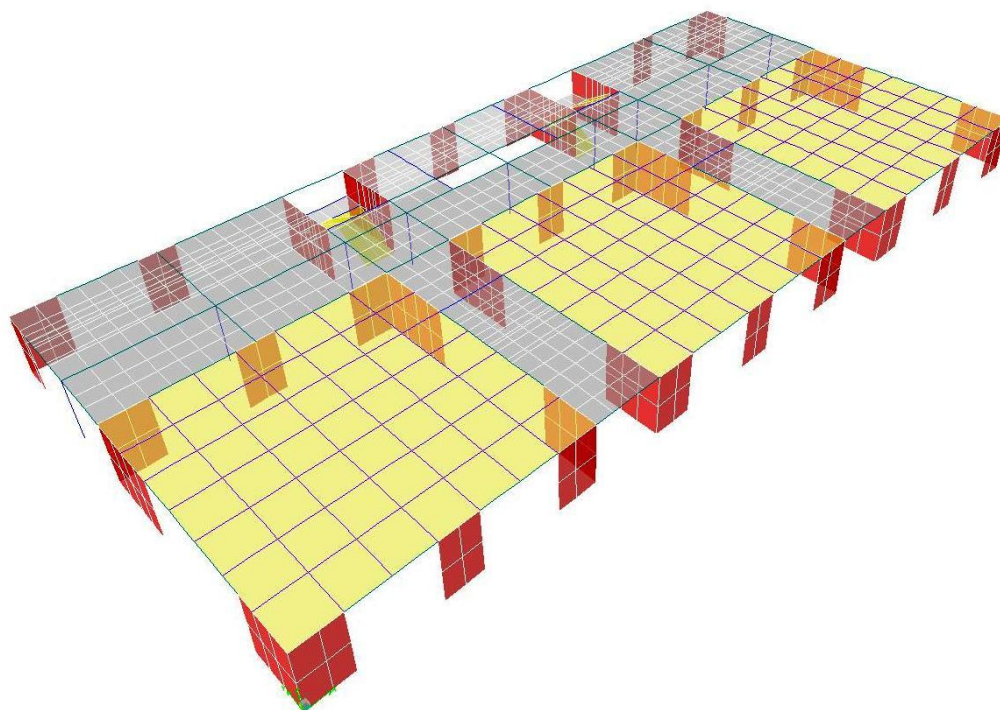


Figura 5.5 – Schematizarea elementelor structurale in model

5.3.1. MODELUL 1 – VALORI NORMATE ALE INCARCARILOR SI VALOARE REDUSA CU 40% PENTRU INCARCAREA UTILA

Tabelul 5.1 – Valori ale perioadei si frecventei proprii pentru incarcari luate cu valori normate si in ipoteza reducerii cu 40% a incarcarii utile

Modul propriu de vibratie	Valoarea incarcarii considerate* (kN/m ²)	Perioada de vibratie, T (sec)	Frecventa proprie a planseului, f _n (Hz) exprimata ca 1/T
Mod 1	3.80	0.1771	6.094
Mod 2		0.1768	6.106
Mod 3		0.1735	6.227
Mod 4		0.0908	11.876

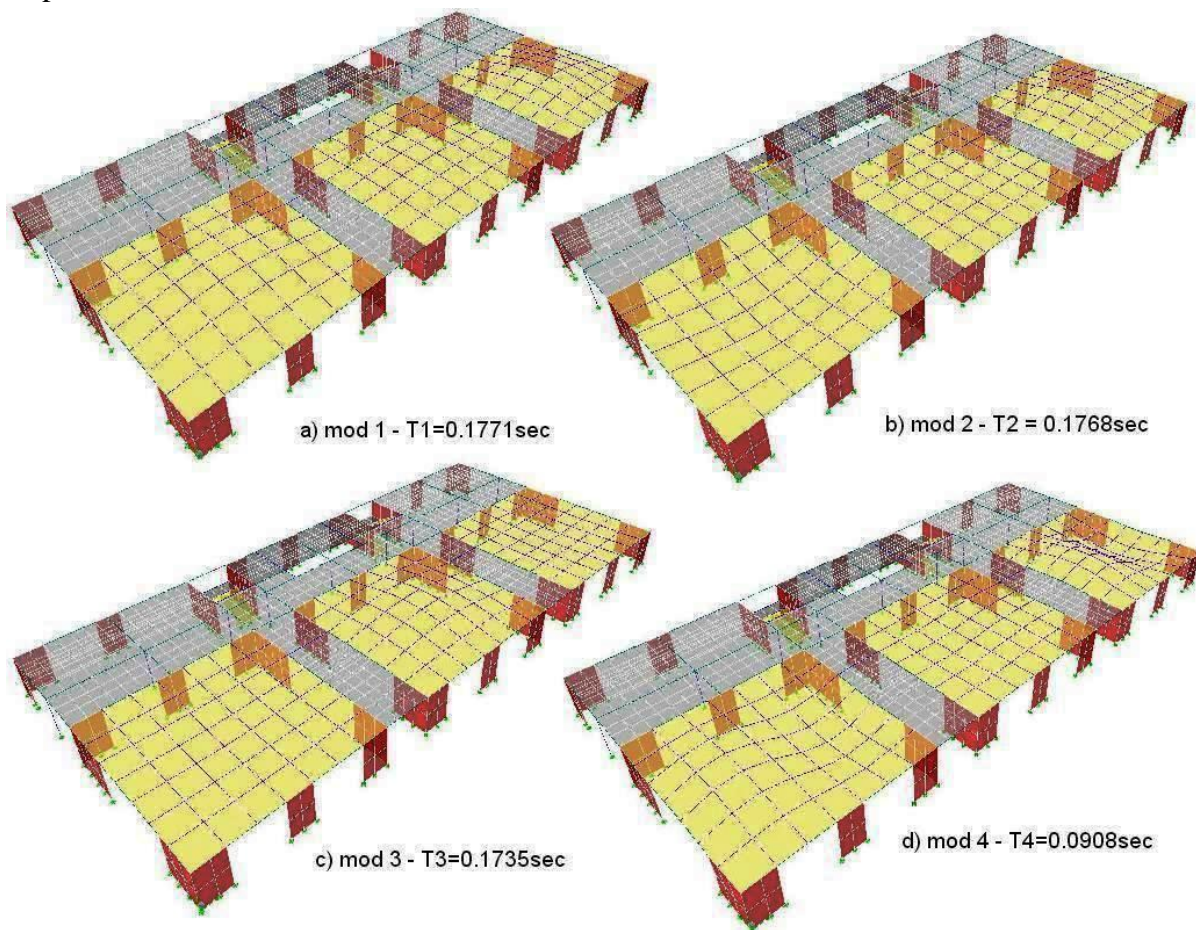
*Valoarea descrisa nu include greutatele proprii ale elementelor structurale, acestea fiind generate automat prin programul de calcul.

Este de mentionat ca distributia incarcarii pe plansee este uniforma si este aceeaasi pentru toate cele trei ochiuri de plansee vizate de prezenta analiza.

Valoarea deplasarii maxime pentru cazul de incarcare considerat este:

$$\delta_{\max} = 1.22\text{cm} < \delta_{\text{adm}} = \frac{L_0}{400} = 3.475\text{cm}, \text{ unde } L_0 = 13.90\text{m} - \text{deschiderea libera a}$$

planseului.



Fi

gura 5.6 – MODEL 1 - Formele modale corespunzatoare primelor patru moduri proprii

5.3.2. MODELUL 2 – VALORI NORMATE ALE INCARCARILOR SI VALOARE NE-REDUSA PENTRU INCARCAREA UTILA

Tabelul 5.2 – Valori ale perioadei si frecventei proprii pentru incarcari luate cu valori normate si in ipoteza unei valori maxime a incarcarii utile

Modul propriu de vibratie	Valoarea incarcarii considerate* (kN/m ²)	Perioada de vibratie, T (sec)	Frecventa proprie a planseului, f _n (Hz) exprimata ca 1/T
Mod 1	5.60	0.1983	5.043
Mod 2		0.1979	5.053
Mod 3		0.1948	5.134

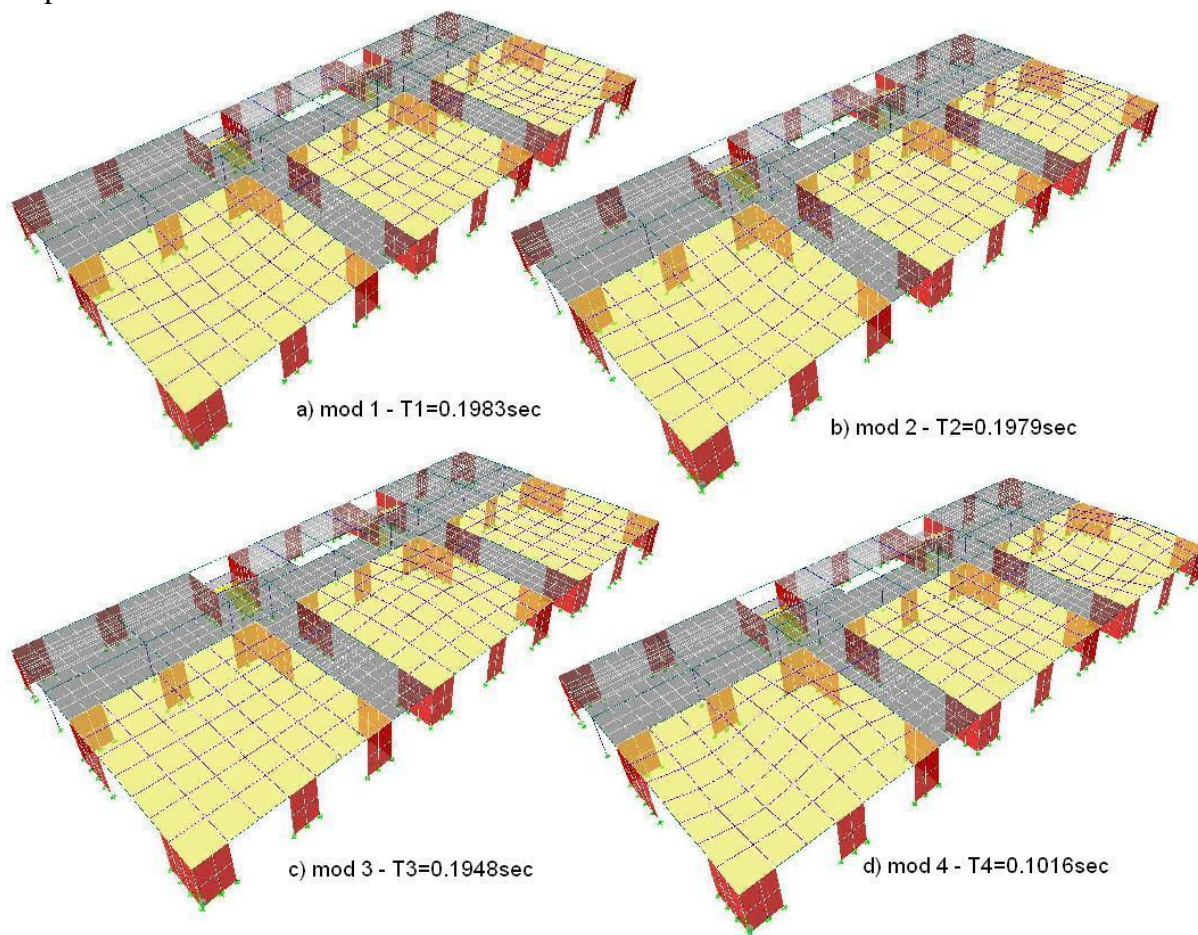
Mod 4		0.1016	9.843
-------	--	--------	-------

*Valoarea descrisa nu include greutatele proprii ale elementelor structurale, acestea fiind generate automat prin programul de calcul.

Valoarea deplasarii maxime pentru cazul de incarcare considerat este:

$$\delta_{\max} = 1.52\text{cm} < \delta_{\text{adm}} = \frac{L_0}{400} = 3.475\text{cm}, \text{ unde } L_0 = 13.90\text{m} - \text{deschiderea libera a}$$

planseului.



Fi

gura 5.7 – MODEL 2 - Formele modale corespunzatoare primelor patru moduri proprii

5.3.3. MODELUL 3 – VALORI NORMATE ALE INCARCARILOR SI VALOARE NULA PENTRU INCARCAREA UTILA

Valoarea deplasarii maxime pentru cazul de incarcare considerat este:

$$\delta_{\max} = 0.9889\text{cm} < \delta_{\text{adm}} = \frac{L_0}{400} = 3.475\text{cm}, \text{ unde } L_0 = 13.90\text{m} - \text{deschiderea libera a}$$

planseului.

Tabelul 5.2 – Valori ale perioadei si frecventei proprii pentru incarcari luate cu valori normate si in ipoteza unei valori maxime a incarcarii utile

Modul propriu de vibratie	Valoarea incarcarii considerate* (kN/m ²)	Perioada de vibratie, T (sec)	Frecventa proprie a planseului, f _n (Hz) exprimata ca 1/T
Mod 1	2.60	0.1607	6.223
Mod 2		0.1604	6.234
Mod 3		0.1574	6.353
Mod 4		0.0824	12.136

*Valoarea descrisa nu include greutatele proprii ale elementelor structurale, acestea fiind generate automat prin programul de calcul.

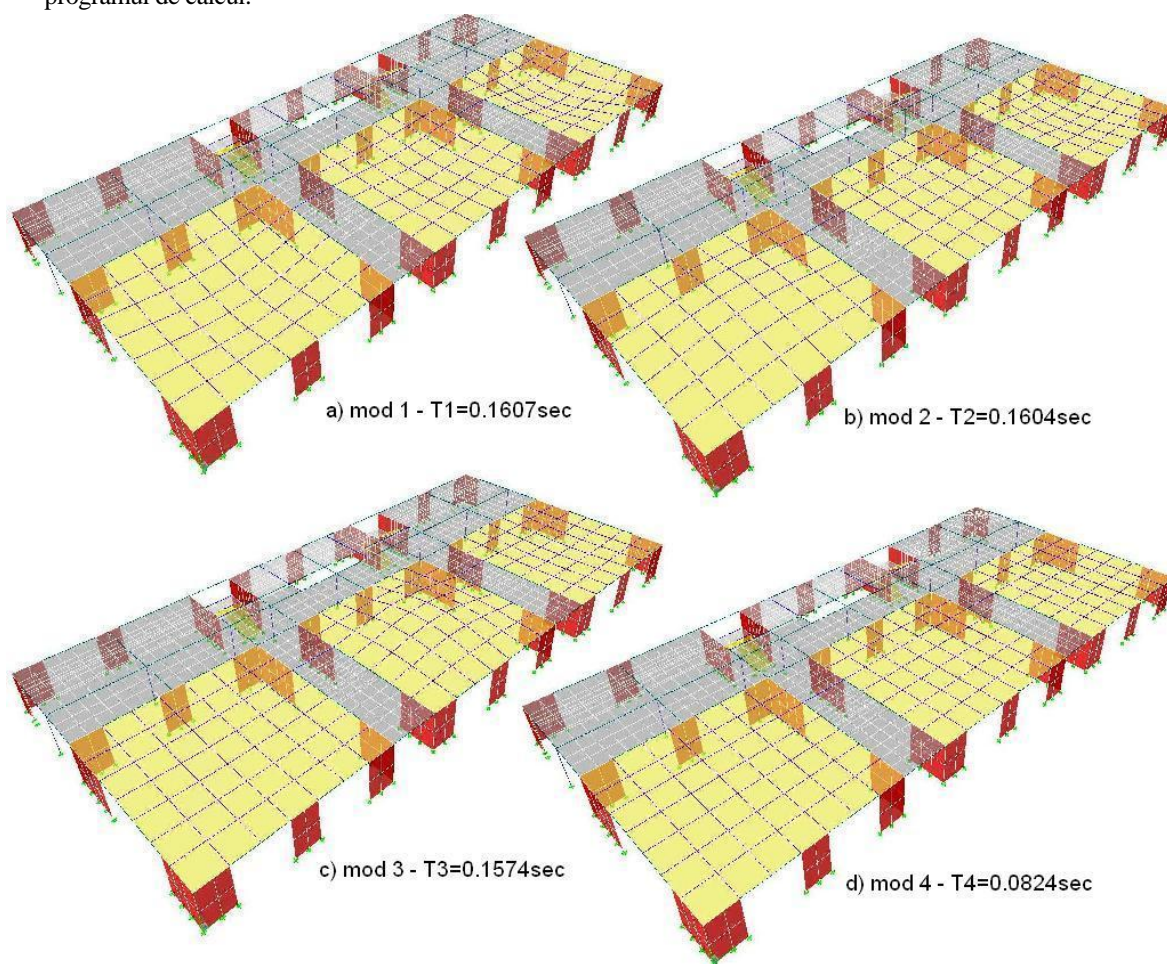


Figura 5.8 – MODEL 3 - Formele modale corespunzatoare primelor patru moduri proprii

5.3.4. MODELUL 4 – VALORI DE CALCUL ALE INCARCARILOR

Valoarea deplasarii maxime pentru cazul de incarcare considerat este:

$$\delta_{\max} = 1.968\text{cm} < \delta_{\text{adm}} = \frac{L_0}{400} = 3.475\text{cm}, \text{ unde } L_0 = 13.90\text{m} - \text{deschiderea libera a}$$

planseului.

Tabelul 5.2 – Valori ale perioadei si frecventei proprii pentru incarcari luate cu valori de calcul si in ipoteza unei valori maxime a incarcarii utile

Modul propriu de vibratie	Valoarea incarcarii considerate* (kN/m ²)	Perioada de vibratie, T (sec)	Frecventa proprie a planseului, f _n (Hz) exprimata ca 1/T
Mod 1	11.40**	0.2254	4.437
Mod 2		0.2251	4.442
Mod 3		0.2209	4.527
Mod 4		0.1155	8.658

*Valoarea descrisa nu include greutatele proprii ale elementelor structurale, acestea fiind generate automat prin programul de calcul.

**Valoarea de calcul a incarcarii se obtine conform reglementarii tehnice „Cod de proiectare. Bazele proiectarii structurilor in constructii”, indicativ CR 0-2005.

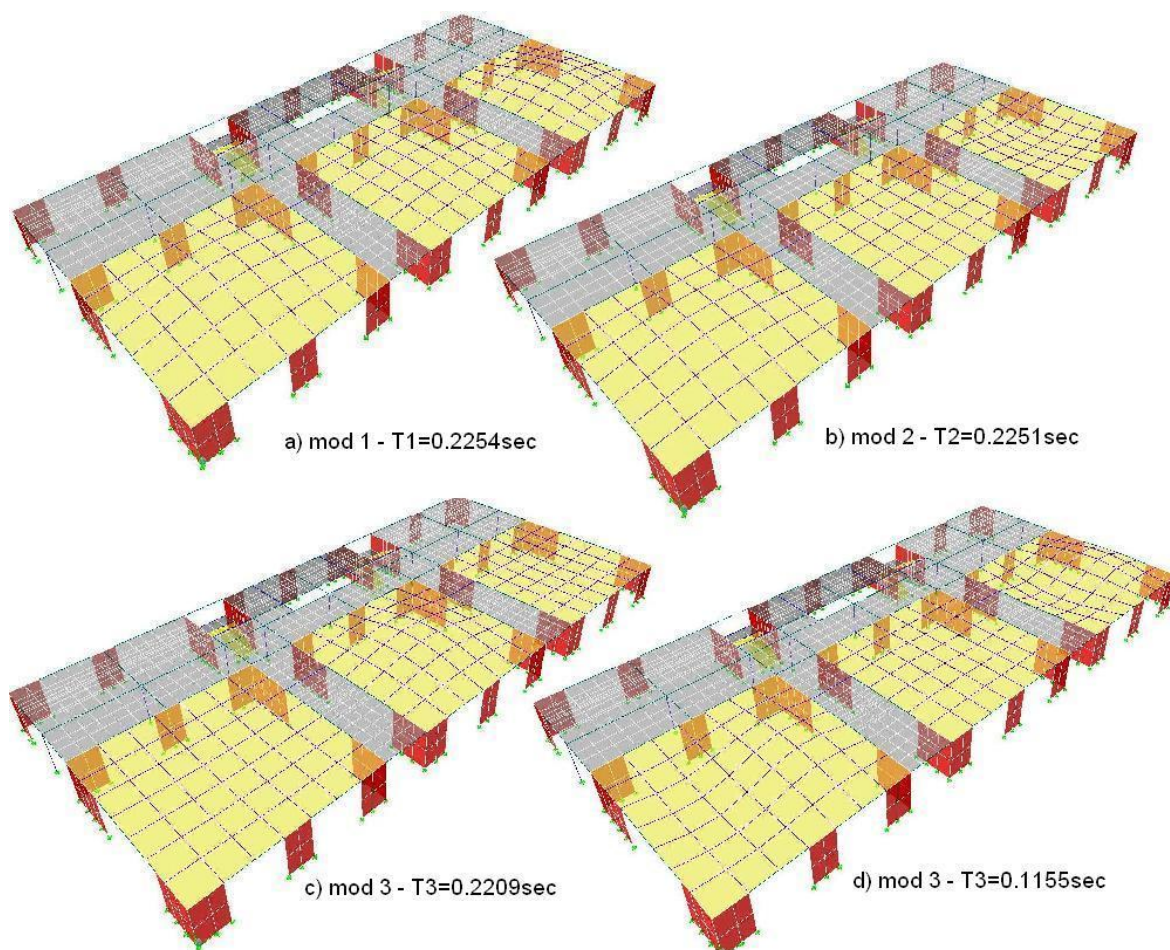


Figura 5.9 – MODEL 4 - Formele modale corespunzatoare primelor patru moduri proprii

5.4. CONCLUZII

Din analiza efectuata se poate observa ca frecventa sistemului considerat se gaseste in fiecare caz deasupra unei limite minime de 4 – 5Hz recomandata pentru plansele curente (care nu sunt supuse unor actiuni ritmice cum ar fi gimnastica aerobica). De retinut este faptul ca, desi in toate cele patru cazuri valorile deplasarilor maxime se situeaza cu mult sub limita admisibila $\delta_{adm} = \frac{L_0}{400} = 3.475\text{cm}$, valoarea frecventelor planseelor este apropiata de valoarea minima recomandata, facand ca verificarea criteriilor de deformabilitate sa fie o conditie insuficienta in satisfacerea criteriului de acceptabilitate a vibratiilor.

BIBLIOGRAFIE

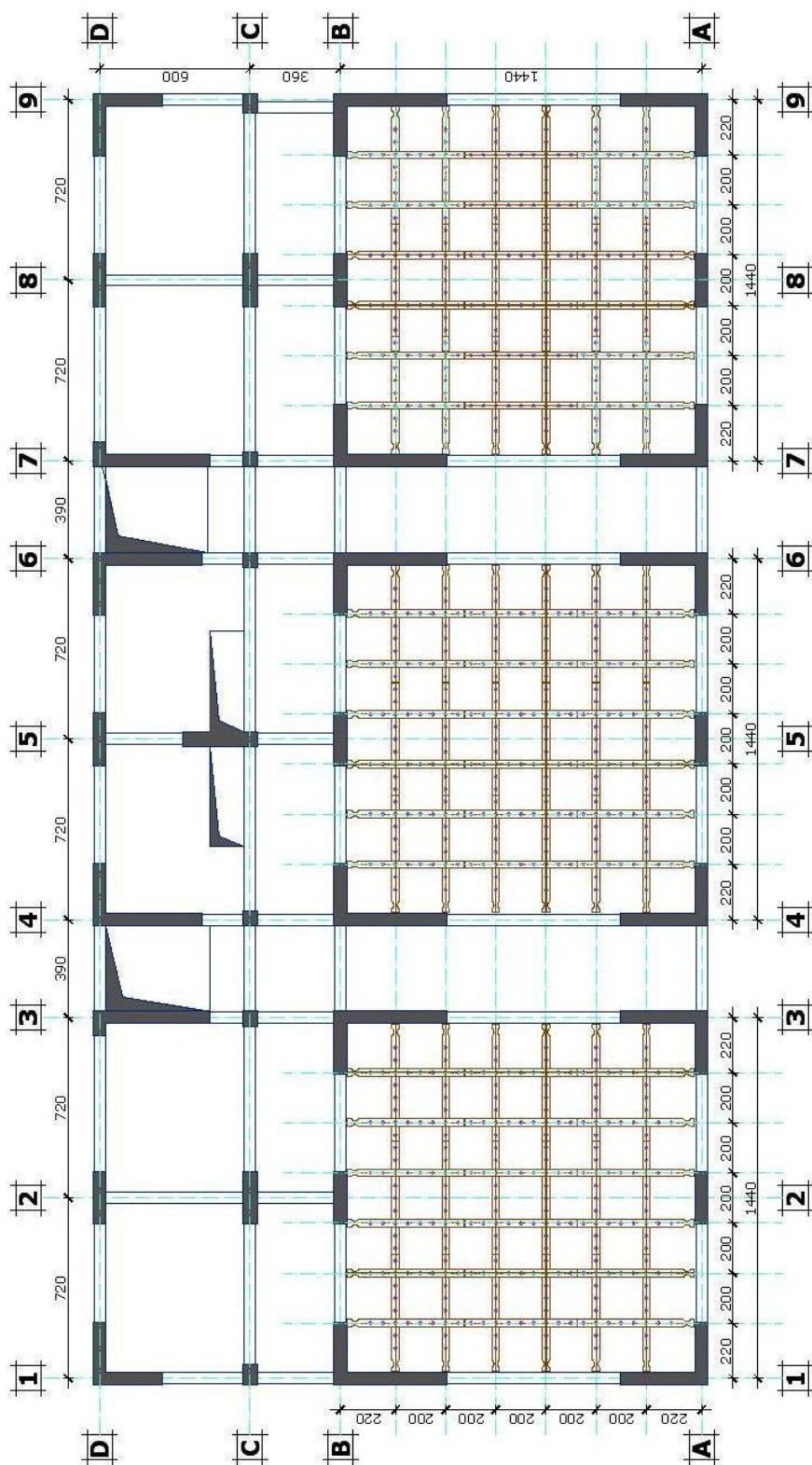
- [1] „Design Practice to Prevent Floor Vibrations” – Farzad Naeim (Structural Steel Educational Council, sept. 1991)
- [2] „Floor Vibrations due to Human Activity” – Thomas M. Murray, David E. Allen, Eric E. Ungar (American Institute of Steel Construction, oct. 2003)
- [3] „Vibration Analysis of Orthotropic Composite Floors for Human Rhythmic Activities” – José Guilherme S. da Silva, Pedro Colmar, S. Vellasco, Sebastião Arthur L. de Andrade (Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, mar. 2008)
- [4] „Proiectarea planseelor la starea limita a exploatarii normale. Criterii de confort fata de vibratiile produse de activitatea umana” – Radu Petrovici (Universitatea de Arhitectura si Urbanism ,Ion Mincu’, 2005)
- [5] „Floor Vibration due to Human Excitation – Damping Perspective” – Ibrahim Saidi, Nick Haritos, Emad F. Gad, John L. Wilson (nov. 2006)
- [6] „Control of Floor Vibration” – David E. Allen, G. Pernica (National Research Council of Canada, Construction - Technology Update no.22, dec.1998)
- [7] „Vibration Criteria for Assembly Occupancies” – David E. Allen, G. Pernica, J. H. Rainer (Canadian Journal of Civil Engineering, vol.12, no.3, 1985)
- [8] „Floor Vibration: Dynamic Properties and Subjective Perception” – Fredrik Ljunggren (2006)
- [9] „Vibration Design of Concrete Floors for Serviceability – draft” – Bijan O. Aalami (ADAPT Technical Note, 2008)

ANEXA 1

FACTORI AI INCARCARI DINAMICE PENTRU IMPACTUL TOCULUI					
f [Hz]	DLF	f [Hz]	DLF	f [Hz]	DLF
1.00	0.1541	5.50	0.7819	10.00	1.1770
1.10	0.1695	5.60	0.7937	10.10	1.1831
1.20	0.1847	5.70	0.8053	10.20	1.1891
1.30	0.2000	5.80	0.8168	10.30	1.1949
1.40	0.2152	5.90	0.8282	10.40	1.2007
1.50	0.2304	6.00	0.8394	10.50	1.2065
1.60	0.2456	6.10	0.8505	10.60	1.2121
1.70	0.2607	6.20	0.8615	10.70	1.2177
1.80	0.2758	6.30	0.8723	10.80	1.2231
1.90	0.2908	6.40	0.8830	10.90	1.2285
2.00	0.3058	6.50	0.8936	11.00	1.2339
2.10	0.3207	6.60	0.9040	11.10	1.2391
2.20	0.3356	6.70	0.9143	11.20	1.2443
2.30	0.3504	6.80	0.9244	11.30	1.2494
2.40	0.3651	6.90	0.9344	11.40	1.2545
2.50	0.3798	7.00	0.9443	11.50	1.2594
2.60	0.3945	7.10	0.9540	11.60	1.2643
2.70	0.4091	7.20	0.9635	11.70	1.2692
2.80	0.4236	7.30	0.9729	11.80	1.2740
2.90	0.4380	7.40	0.9821	11.90	1.2787
3.00	0.4524	7.50	0.9912	12.00	1.2834
3.10	0.4667	7.60	1.0002	12.10	1.2879
3.20	0.4809	7.70	1.0090	12.20	1.2925
3.30	0.4950	7.80	1.0176	12.30	1.2970
3.40	0.5091	7.90	1.0261	12.40	1.3014
3.50	0.5231	8.00	1.0345	12.50	1.3058
3.60	0.5369	8.10	1.0428	12.60	1.3101
3.70	0.5507	8.20	1.0509	12.70	1.3143
3.80	0.5645	8.30	1.0588	12.80	1.3185
3.90	0.5781	8.40	1.0667	12.90	1.3227
4.00	0.5916	8.50	1.0744	13.00	1.3268
4.10	0.6050	8.60	1.0820	13.10	1.3308
4.20	0.6184	8.70	1.0895	13.20	1.3348

4.30	0.6316	8.80	1.0969	13.30	1.3388
4.40	0.6448	8.90	1.1041	13.40	1.3427
4.50	0.6578	9.00	1.1113	13.50	1.3466
4.60	0.6707	9.10	1.1183	13.60	1.3504
4.70	0.6635	9.20	1.1252	13.70	1.3541
4.80	0.6962	9.30	1.1321	13.80	1.3579
4.90	0.7088	9.40	1.1388	13.90	1.3615
5.00	0.7213	9.50	1.1434	14.00	1.3652
5.10	0.7337	9.60	1.1519	14.10	1.3688
5.20	0.7459	9.70	1.1583	14.20	1.3723
5.30	0.7580	9.80	1.1647	14.30	1.3758
5.40	0.7700	9.90	1.1709	14.40	1.3793

ANEXA 2 – CONFIGURATIE PLANSEU ANALIZAT



ANEXA 3 - MODEL 1 – FORME MODALE

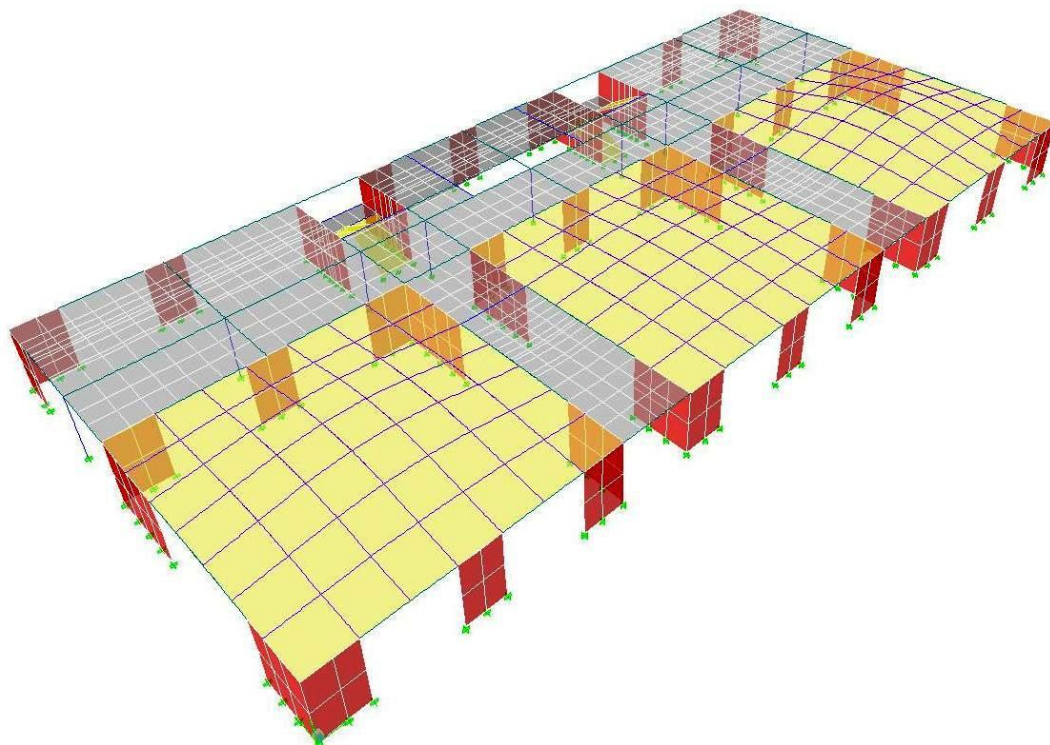


Figura A3.1– *MODEL 1 - Forma modala corespunzatoare modului 1 de vibratie*

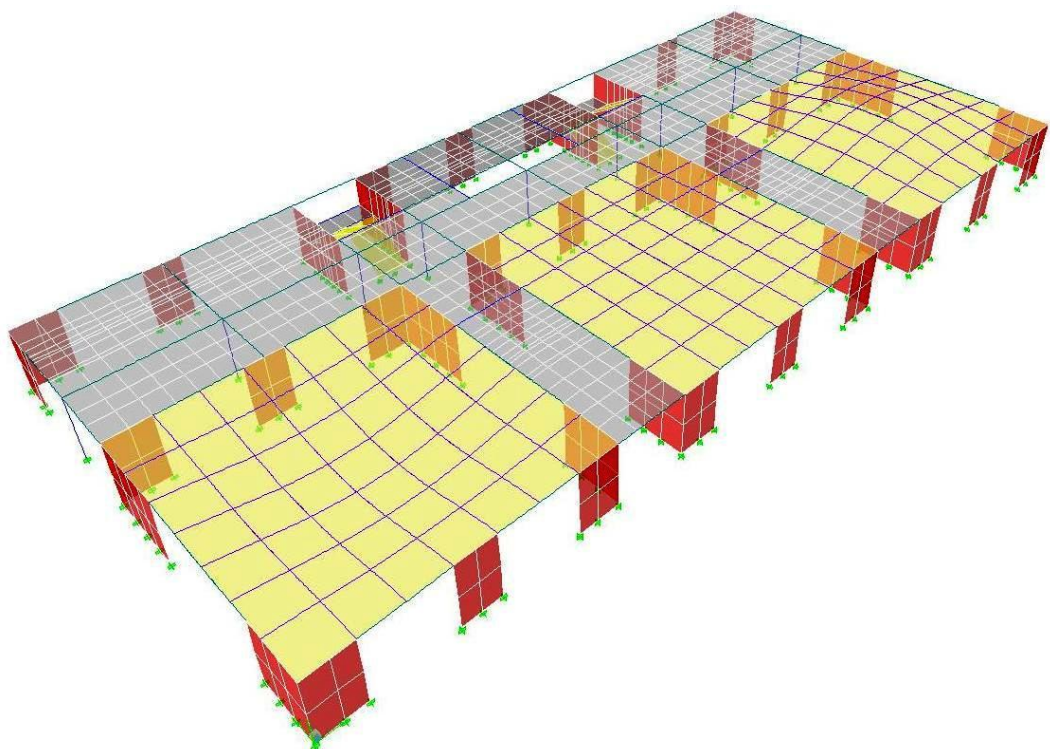


Figura A3.2– *MODEL 1 - Forma modala corespunzatoare modului 2 de vibratie*

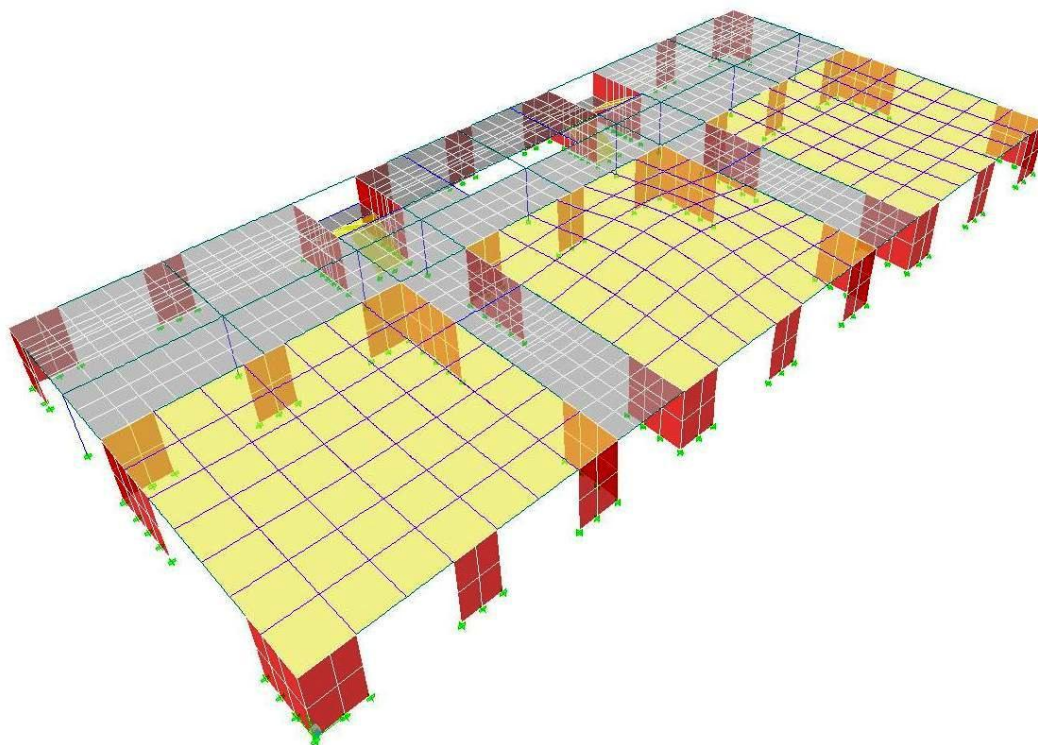


Figura A3.3– *MODEL 1 - Forma modala corespunzatoare modului 3 de vibratie*

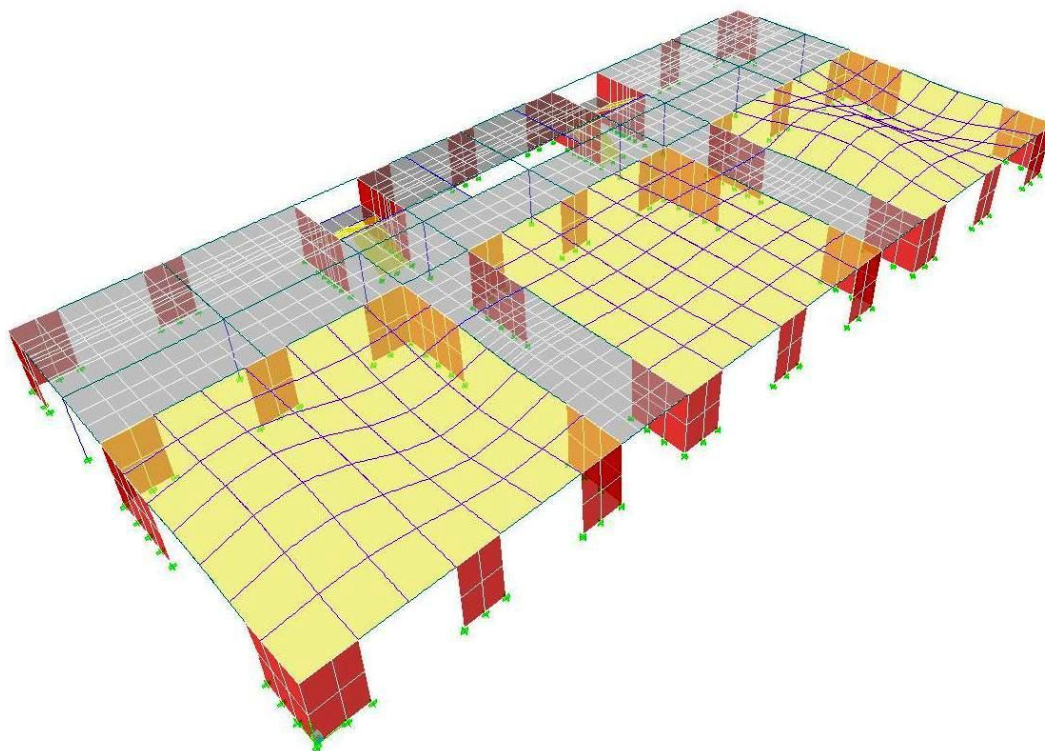


Figura A3.4– *MODEL 1 - Forma modala corespunzatoare modului 4 de vibratie*

ANEXA 4 - MODEL 2 – FORME MODALE

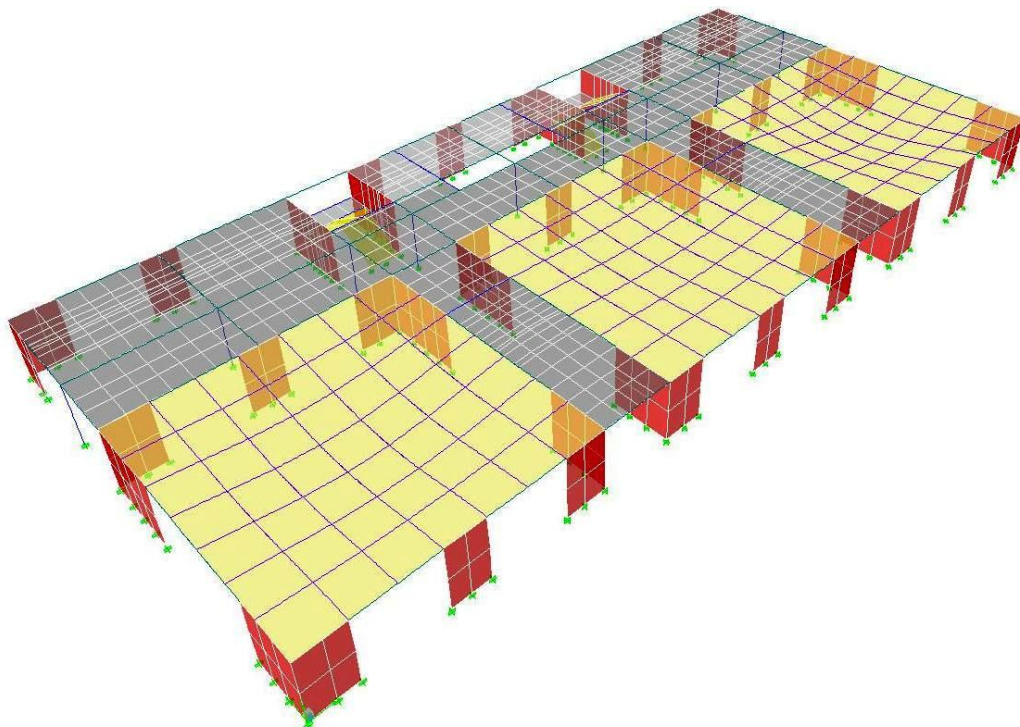


Figura A4.1– MODEL 2 - Forma modala corespunzatoare modului 1 de vibratie

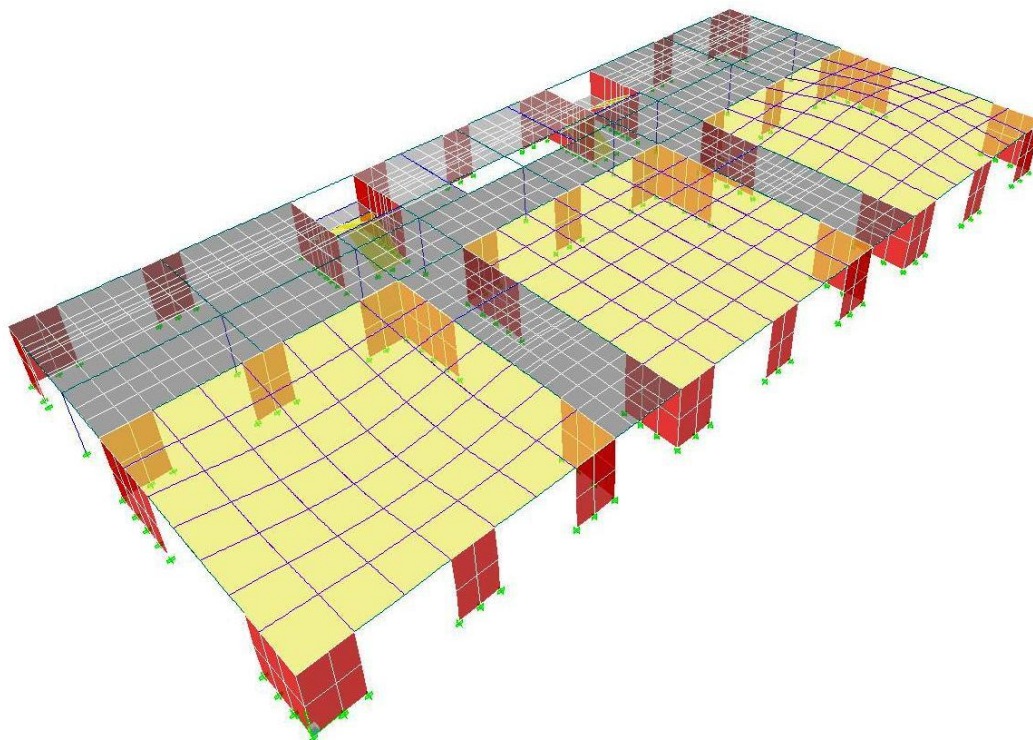


Figura A4.2– MODEL 2 - Forma modala corespunzatoare modului 2 de vibratie

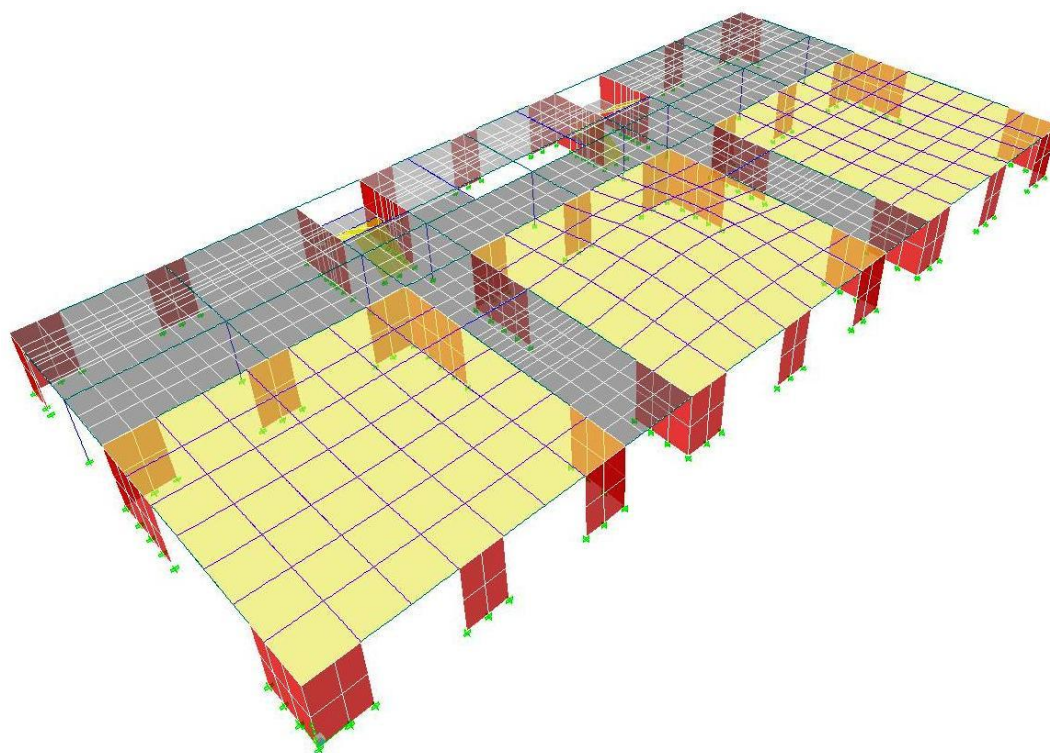


Figura A4.3– *MODEL 2 - Forma modala corespunzatoare modului 3 de vibratie*

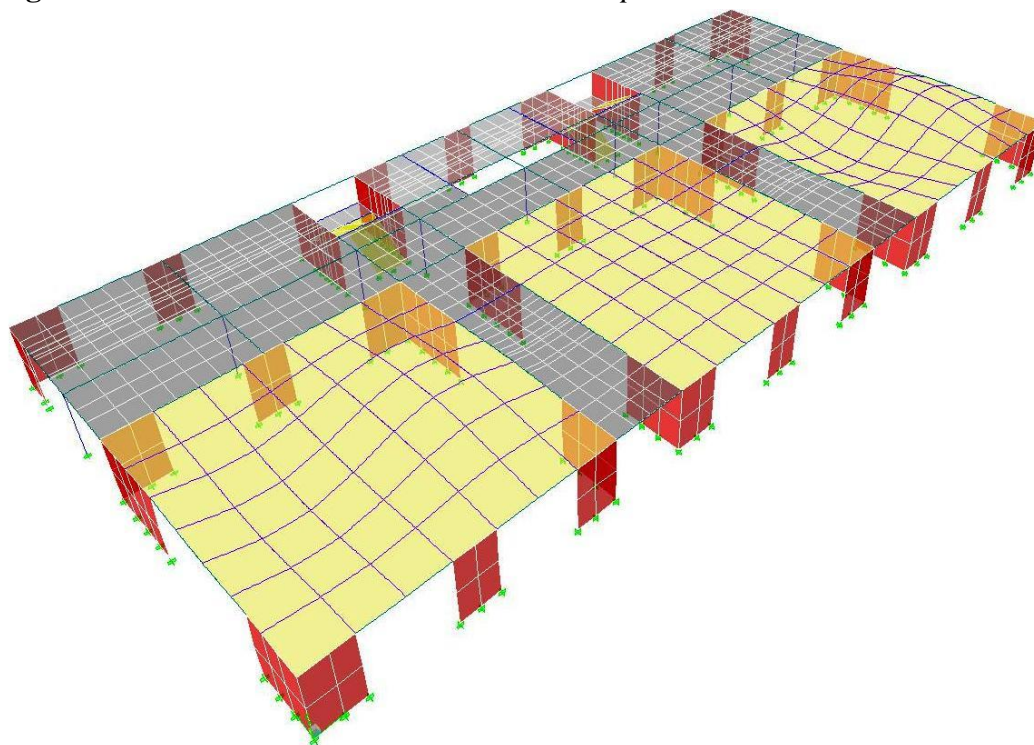


Figura A4.4– *MODEL 2 - Forma modala corespunzatoare modului 4 de vibratie*

ANEXA 5 - MODEL 3 – FORME MODALE

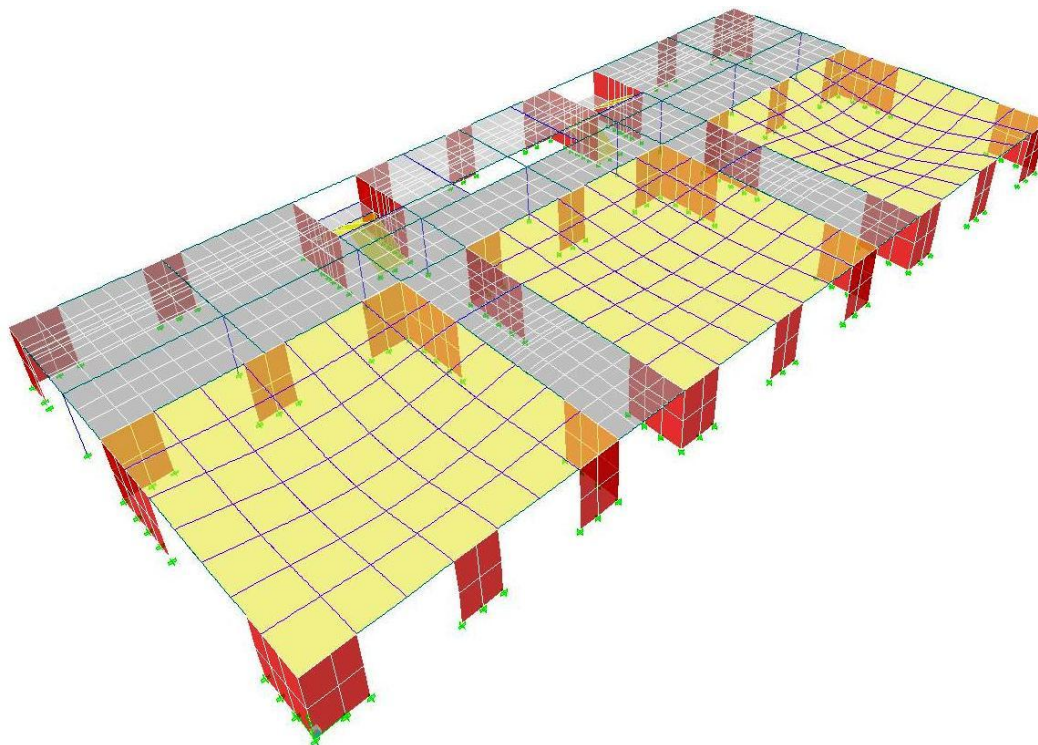


Figura A5.1– MODEL 3 - Forma modala corespunzatoare modului 1 de vibratie

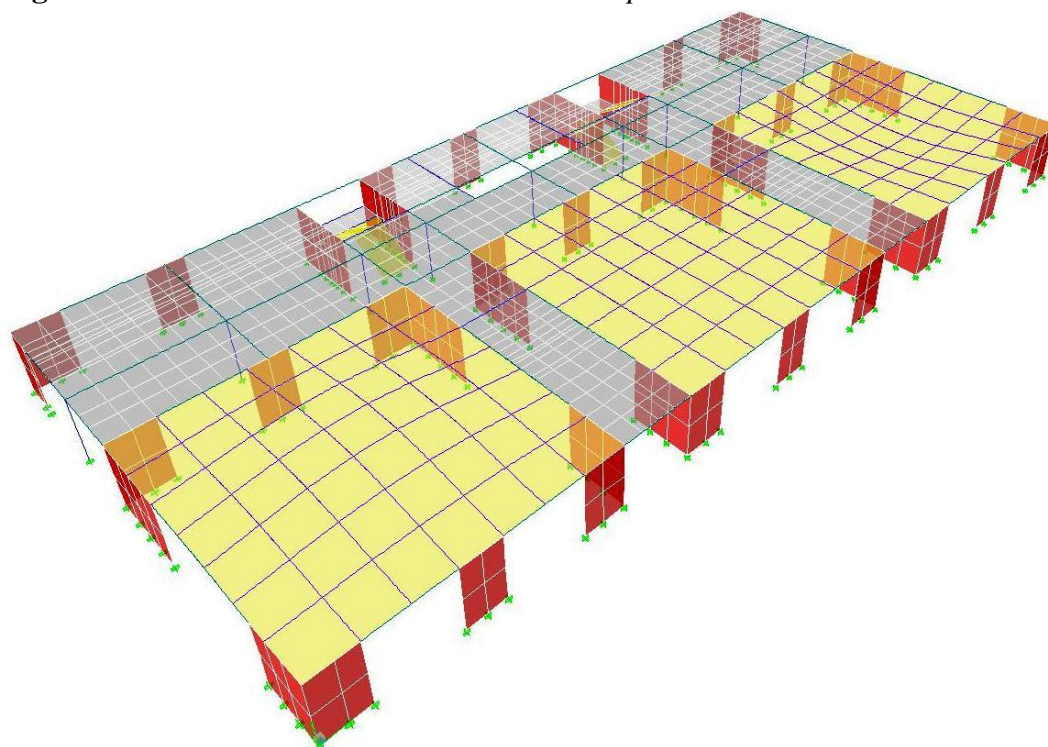


Figura A5.2– MODEL 3 - Forma modala corespunzatoare modului 2 de vibratie

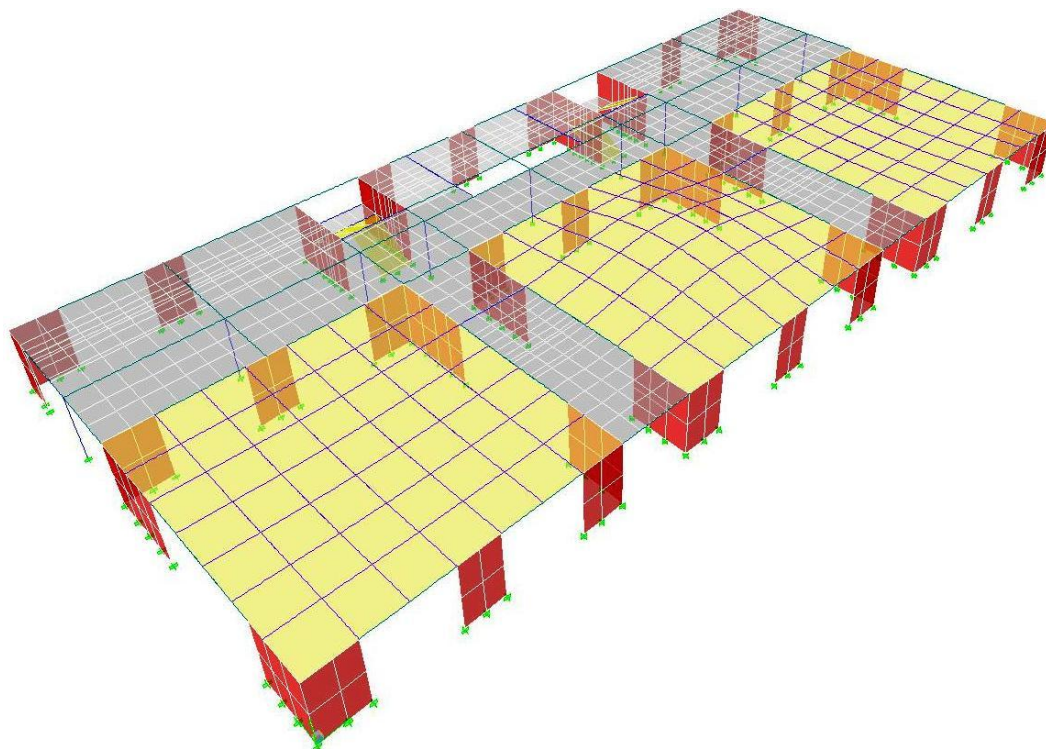


Figura A5.3– *MODEL 3 - Forma modala corespunzatoare modului 3 de vibratie*

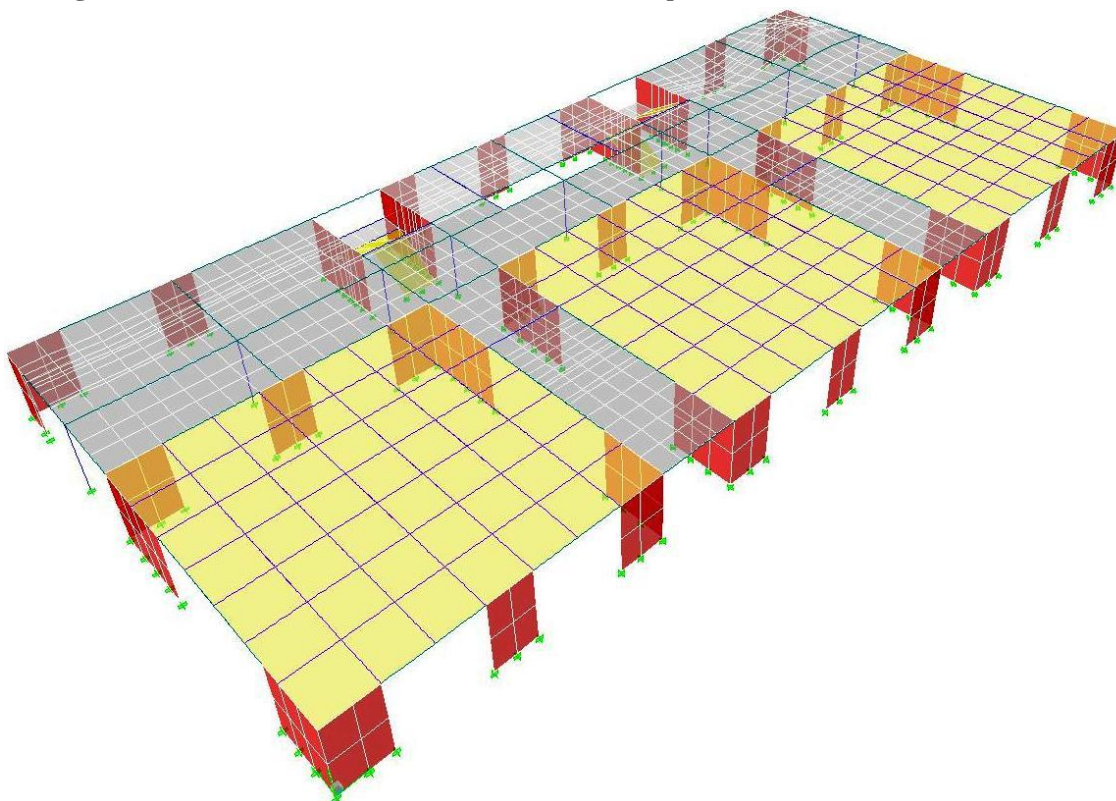


Figura A5.4– *MODEL 3 - Forma modala corespunzatoare modului 4 de vibratie*

ANEXA 6 - MODEL 4 – FORME MODALE

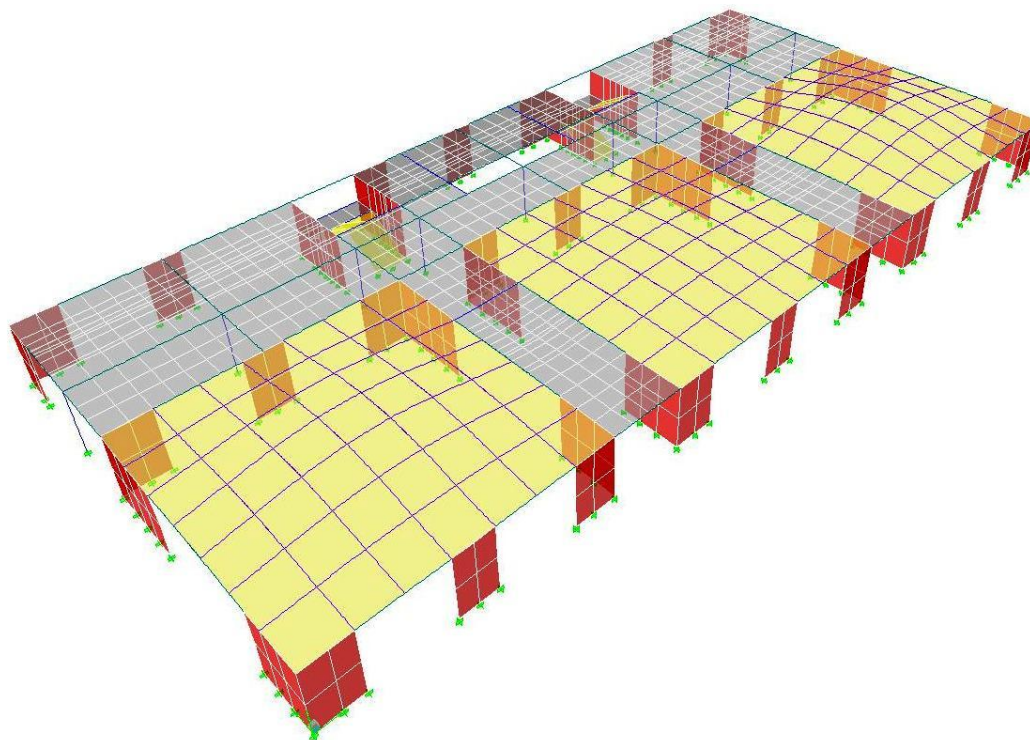


Figura A6.1– *MODEL 4 - Forma modala corespunzatoare modului 1 de vibratie*

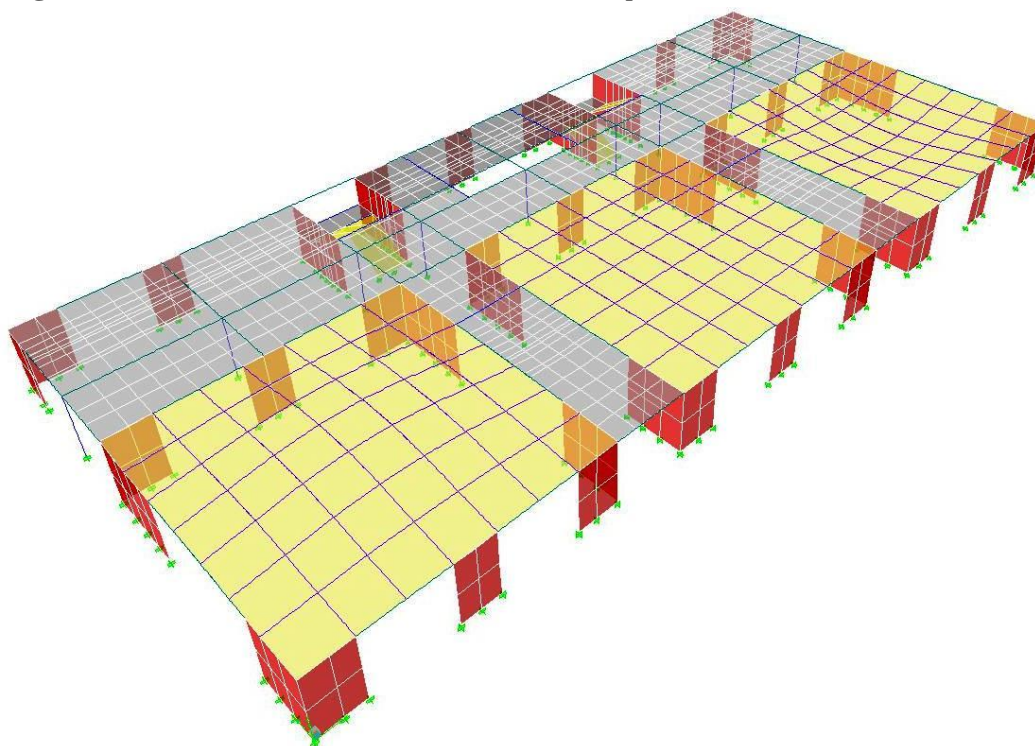


Figura A6.2– *MODEL 4 - Forma modala corespunzatoare modului 2 de vibratie*

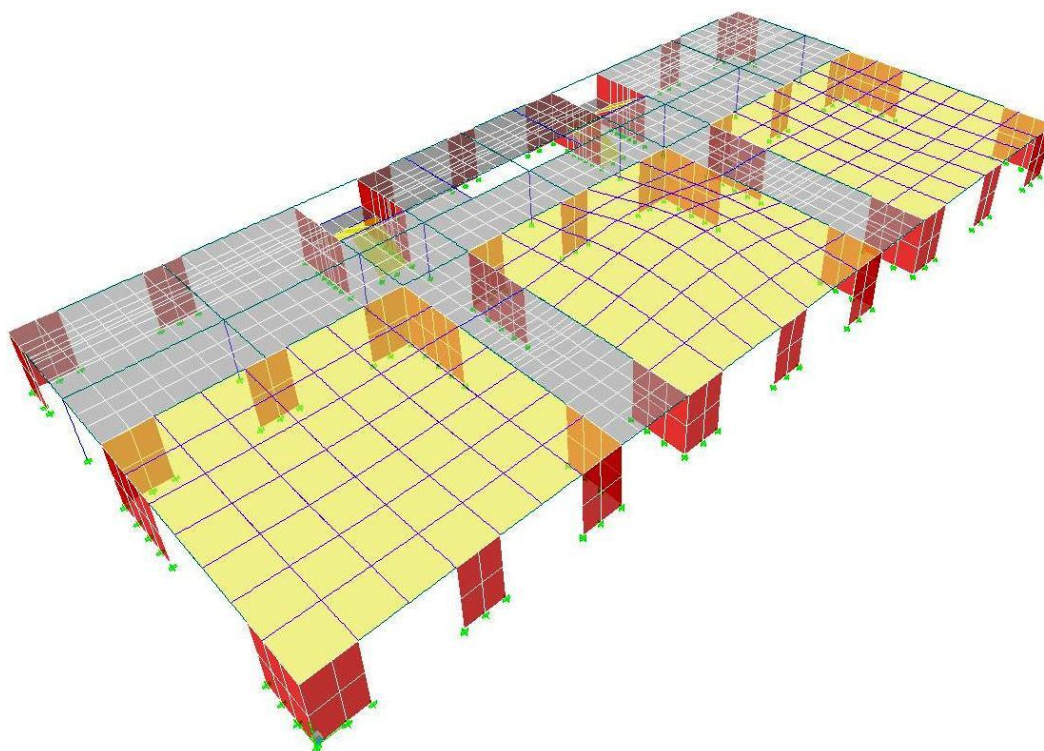


Figura A6.3– MODEL 4 - Forma modala corespunzatoare modului 3 de vibratie

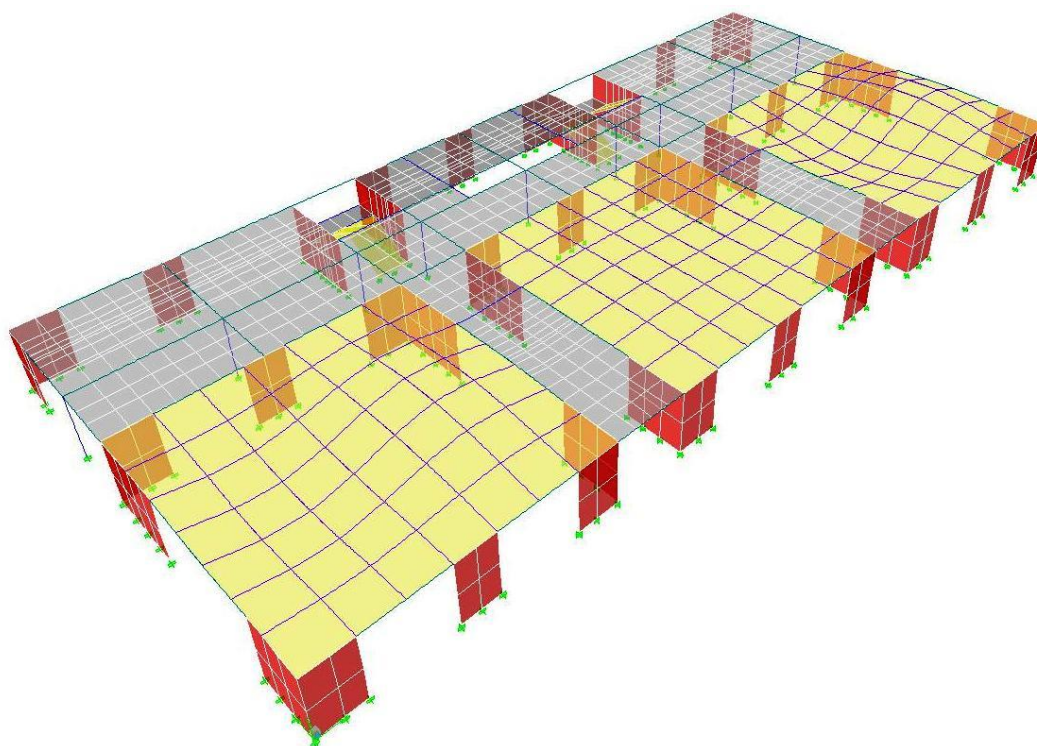


Figura A6.4– MODEL 4 - Forma modala corespunzatoare modului 4 de vibratie



UNIVERSITATEA TEHNICA DE CONSTRUCTII BUCURESTI
FACULTATEA de CONSTRUCTII CIVILE, INDUSTRIALE SI AGRICOLE
Specializarea: INGINERIE STRUCTURALA

Prezentul document este protejat de legislatia in domeniul drepturilor de autor. Folosirea lui in oricare scopuri fara acordul prealabil al autorilor implica sanctiuni conform legii.

Iulie 2009



UNIVERSITATEA TEHNICA DE CONSTRUCTII BUCURESTI
FACULTATEA de CONSTRUCTII CIVILE, INDUSTRIALE SI AGRICOLE
Specializarea: INGINERIE STRUCTURALA
