

GREȘELI ȘI AVARII ÎN PROIECTAREA CONSTRUCȚIILOR

Universitatea Tehnică a Moldovei
st. gr. IS-101 Șestacov I.
Conducător științific: conf. univ. dr. Sârbu T.

Introducere

Construcțiile sunt supuse, de obicei, la acțiuni care provin din exploatarea lor normală, dar pot fi supuse și la acțiuni excepționale (de exemplu, căderi abundente de zăpada, uragane, inundații, incendii, cutremure de pământ sau alte șocuri puternice). În aceste condiții, în funcție de calitatea materialelor utilizate, de modul în care ipotezele de calcul avute în vedere la proiectare reușesc să se apropie de realitate, precum și de eventualele greșeli de execuție, se pot produce diverse degradări ale construcțiilor și chiar avarii ale acestora.

Avaria este deteriorarea unei construcții sau a unora din elementele sale componente, iar accidentul în construcții este un eveniment imprevizibil, constând, de obicei, din prăbușiri sau avarii grave, cu sau fără pierderi de vieți omenești și care implică importante pagube materiale.

Cauzele avariilor

De obicei, avariile construcțiilor nu sunt provocate de o singură cauză, ci de o combinație de mai multe cauze. Succesiunea și intensitatea diferită a acestora îngreunează stabilirea obiectivă a influenței care a favorizat apariția avariei. Există construcții cu grave vicii ascunse, fără să se observe vreun defect.

În astfel de cazuri, avaria poate fi declanșată de o influență de ordin minor care se suprapune peste efectul defavorabil al viciilor ascunse.

Majoritatea avariilor prezintă o evoluție progresivă și de aceea, este importantă testarea și ținerea sub observație a construcțiilor la care există dubii în privința calității, la acelea de interes deosebit, sau la care se aplică soluții constructive și materiale noi, pentru care lipsește suficienta experiență. Procedând astfel, se poate interveni înaintea apariției accidentului tehnic (avariei acute), cheltuielile necesare vor fi reduse și se creează premisele asigurării continuității și durabilității normale a construcției.

Avariile se pot clasifica, după cauzele care le provoacă, în următoarele categorii:

- avarii datorate uzurii normale, ca urmare a influenței în timp a apei, substanțelor chimice agresive, fumului, temperaturii etc.;
- avarii datorate uzurii în exploatare:
 - în condiții normale;
 - în condiții defavorabile;
- avarii datorate modificărilor terenului de fundare și a nivelului apelor subterane;
- avarii provocate de acțiuni exterioare (accidente de circulație și transport uzinal, incendii, explozii de gaze, acțiuni climatice etc.);
- avarii datorate seismelor sau altor acțiuni dinamice similare, provocate de oscilații ale terenului de fundare;
- avarii cauzate de erori de proiectare și/sau erori de execuție;
- avarii datorate suprasarcinilor sau exploatării necorespunzătoare a construcțiilor;
- avarii inevitabile.

Avariile datorate uzurii, cuprinse în primele două categorii, reprezintă fenomene naturale determinate de procesul de îmbătrânire. În acest caz, calitatea proiectului, a materialelor folosite și a execuției au influență favorabilă micșorând amploarea avariilor și întârziind apariția lor. Întreținerea corespunzătoare a construcțiilor (scurgerea apelor, revizuirea periodică a instalațiilor, izolațiilor, vopsitoriilor, zugrăvelilor etc.) poate contribui la menținerea îndelungată a stării normale de exploatare.

În următoarele trei categorii care se referă la modificările terenului de fundare și ale apelor subterane, la seisme și acțiuni dinamice în terenul de fundare și la acțiunile exterioare, sunt incluse avariile provocate de influențe imprevizibile; efectul acestora poate fi micșorat sau eliminat prin măsuri constructive, de natură să scumpească costul construcției. În limitele posibilităților, este necesar să se dispună din timp de date certe sau probabiliste privind aceste influențe. Pentru înlăturarea deteriorărilor cauzate de asemenea influențe, trebuie să se intervină prin reparații sau consolidări, restabilind funcționalitatea construcției și asigurând durata normală de exploatare, ceea ce uneori nu este posibil.

Avariile din categoriile care reprezintă erorile de proiectare și de execuție, considerate separat sau în combinație, reprezintă volumul cel mai mare de avarii evitabile. Eventualele supraîncărcări ale structurilor

apărute, de exemplu în urma cedării unor elemente de construcție, sunt preluate, în anumite limite, datorită coeficienților de siguranță luați în calcul, rămânând fără efecte dăunătoare. Când aceste limite sunt depășite, se poate ajunge la efecte defavorabile, funcție de intensitatea și durata acțiunii suprasarcinilor, succesiunea încărcărilor și caracteristicile materialelor de construcție. Avariile de acest gen se observă, în general, după producerea lor.

Pentru exploatarea construcțiilor, avariile constatate în timpul execuției nu prezintă interes, întrucât se înlătură înainte de punerea în funcțiune a construcției respective și nu afectează nici costul exploatarei. În schimb, greșelile ascunse apar pentru început, de exemplu, numai sub forma de microfisuri ale elementelor de beton armat, care se dezvoltă în timp și pot provoca avarii grave. În cazul betonului armat, compactarea insuficientă, segregarea agregatelor, nerealizarea rezistenței prescrise etc. conduc la micșorarea capacității portante.

Efectul greșelilor care determină nerealizarea calității betonului poate apărea după mulți ani, în legătură cu alte categorii de influențe, cum ar fi cum ar fi corodarea betonului sau a armăturii, micșorarea sau distrugerea aderenței armăturii etc.

În ultima categorie sunt trecute avariile inevitabile, datorate indeterminismului ce afectează orice date de calcul care nu reprezintă valori constante, ci valori alese arbitrar dintr-o repartiție statistică cu o mare împrăștiere.

Aplicarea corectă a teoriei siguranței construcțiilor la elaborarea prescripțiilor tehnice pe baze probabilistice și semiprobabilistice necesită un număr foarte mare de date care privesc cauzele ce duc la apariția avariilor și distrugerilor construcțiilor.

Analiza cauzelor care conduc la apariția avariilor

În urma unor cercetări întreprinse asupra a 840 cazuri de avarii, în urma analizei s-a constatat ca avariile se datorează unui număr de 2404 cauze, ceea ce confirmă faptul că fenomenul de degradare a construcțiilor este de fapt rezultatul suprapunerii mai multor cauze, fără a se putea stabili întotdeauna un factor determinat unic.

Există așadar patru grupe de cauze care se împart în categorii de erori, rezultate în urma analizei efectuate și anume:

1. Greșeli de proiectare;
2. Greșeli de execuție;
3. Greșeli de exploatare;
4. Influențe exterioare.

Greșeli de proiectare

Nr.crt.	Cauze avarii	%
1	Protecția construcției	27,32
2	Nerespectarea prevederilor unor prescripții tehnice	9,27
3	Concepția de ansamblu	42,12
4	Omisii din proiecte, detalii incomplete	5,26
5	Alegerea materialelor componente	4,51
6	Soluții sau calcule eronate de rezistență	9,27
7	Alegerea schemei statistice și structurii funcționale	2,25
	Total	100

Greșeli de execuție

Nr.crt.	Cauze avarii	%
1	Punerea necorespunzătoare în operă a betonului (compoziție, turnare, compactare, rosturi, întreruperi, tratate, etc)	32,65
2	Greșeli de montaj, deteriorări la manipulări și transpor	18,78
3	Abateri de la proiect (detalii, cote, materiale, toleranțe dimensionale etc.)	18,20
4	Nerespectarea altor prescripții tehnic	12,84
5	Materiale sau elemente de construcții de calitate necorespunzătoare	10,20
6	Montarea necorespunzătoare a elementelor necorespunzătoare a elementelor prefabricate de beton armat	3,67
7	Montarea necorespunzătoare a elementelor a elementelor structurilor metalice	2,93
8	Supraîncărcări, vibrații, șocuri	0,73
	Total	100

Greșeli de exploatare

Nr.crt.	Cauze avarii	%
1	Întreținere și verificări necorespunzătoare ale construcțiilor și instalațiilor	40,16

2	Acțiunea substanțelor agresive (solide, lichide, gazoase)	26,3
3	Supraîncărcări, vibrații, șocuri	15,32
4	Modificări aduse structurii de rezistență, schimbarea destinației inițial	6,07
5	Acțiuni termic	4,34
6	Alte cauze	7,8
	Total	100

Influențe exterioare

Nr.crt.	Cauze avarii	%
1	Infiltrarea apei în terenul de fundații	23,65
2	Modificări ale terenului de fundații și a apelor subteran	19,26
3	Acțiunea agenților climatic	18,58
4	Calamități locale (incendii, explozii etc.)	13,85
5	Vârsta construcției	8,11
6	Catastrofe naturale (alunecări de teren, inundații, seisme)	6,76
7	Alte influențe	9,79
	Total	100

Date inițiale pentru proiectare

Primul pas în vederea evitării și minimalizării greșelilor în procesul de proiectare este stabilirea corectă a datelor inițiale: destinația clădirii, așezarea în plan, sarcina tehnologică, dimensiunile clădirii, încărcările la care va fi supusă construcția, materialele folosite, studiul terenului (secțiunile geologice, încercările și tabele cu proprietățile fizico-mecanice ale pământurilor), termenii de execuție etc.

Cele mai dese greșeli întâlnite la această etapă de proiectare sunt următoarele: proasta calitate a studierii terenului de fundație, alegerea greșită a schemei de calcul, neluând în considerare particularitățile bazei fundației, lipsa datelor condițiilor de exploatare, schimbarea destinației clădirii, alegerea greșită a materialelor ce nu corespund condițiilor climatice și dinamice de lucru, nerespectarea normelor de temperatură și deformație a rosturilor ș.a.

Schema de calcul

Schema de calcul este adoptată în urma schemei constructive a construcției.

În majoritatea cazurilor schema de calcul se deosebește considerabil de schema constructivă, o parte din factorii secundari sunt neglijați pentru a alcătui o schema de calcul mai simplificată.

Ca de exemplu, la calculul fermei din metal se adoptă în noduri articulație, pe când în realitate la sudarea elementelor se formează nod rigid.

Un alt exemplu este calculul unui planșeu din beton monolit. Calculul unui astfel de planșeu are ca ipoteza că betonul este un material elastic, pe când în realitate betonul nu este un material perfect elastic și la mărirea încărcărilor pe planșeu are loc redistribuirea acestora în urma deformațiilor plastice ale betonului și armăturii.

Astfel, de multe ori există neconcordanțe între schema de calcul și cum lucrează de fapt construcția.

În procesul de proiectare pot apărea întrebări cum ar fi: care din noduri vor fi considerate rigide și care articulații.

Răspunsul la această întrebare poate fi rezolvat la determinarea momentului de încastrare și comparat cu momentul maxim în element. Momentul de încastrare a planșeurilor și grinzilor, poate fi mic și nu se ia în calcul. În acest caz, efortul ce apare este rezolvat cu armătură constructivă.

La momentul dat, la calculul structurilor sunt folosite programe avansate de calcul, dar chiar și aceste pot da erori, astfel este recomandat de a folosi câteva metode de calcul și un studiu minuțios a rezultatelor obținute.

Alegerea corectă a schemei de calcul, adoptarea ipotezelor de calcul și anticiparea consecințelor sunt unele din cele mai importante decizii luate de inginer la această etapă a proiectării.

Execuția și exploatarea corectă a construcției

Un rol nu mai puțin important o are perioada de execuție a lucrărilor de construcție.

Toate lucrările trebuie efectuate conform normelor în vigoare, proiectului și sarcinii tehnologice. Orice abatere poate duce la consecințe grave în timpul execuției lucrărilor.

După execuția construcției, urmează exploatarea acestora. Perioada de adaptarea a elementelor construcției durează în decursul unui an până când deformațiile devin stabile în condițiile de exploatare. Pentru această perioadă sunt caracteristice avariile, dacă au fost făcute greșeli grave la etapa de proiectare și execuție. Urmează perioada de „exploatare normală” a construcției. În aceasta perioadă construcția lucrează de la încărcarea normată la stadiul apropiat elastic.

Odată cu trecerea timpului, datorită mediului înconjurător și condițiilor de exploatare apar o serie de defecțiuni.

Rezistența materialelor cu timpul se schimbă și poate fi considerată că e în scădere.

Cu toate că rezistența betonului cu trecerea timpului se mărește, la acțiunea mediului agresiv, temperaturii ridicate sau a schimbării umidității, aceasta poate să scadă, se schimbă proprietățile materialului.

La construcțiile metalice apare oboseala, coroziunea și deformațiile la temperaturi scăzute.

Toate acestea pot duce la reducerea capacității portante a elementelor și pierderea stabilității clădirii.

Perioada „normală de exploatare” durează în jur de 25-200 ani, în dependență de condițiile de exploatare și destinația construcției.

După această perioadă urmează perioada de „îmbătrânire” a construcției însoțită de apariția fisurilor și distrugerii locale a elementelor, care duc la scăderea siguranței clădirii. În această perioadă, de cele de mai multe ori, construcția devine periculoasă la exploatare, astfel sunt necesare reparații capitale sau consolidări a acestora.

La proiectarea construcției e necesar de a fi luate în calcul toate perioadele de exploatare pentru a preveni orice defecțiune sau chiar cedarea clădirii.

Prăbușiri sub încărcări datorate forțelor exterioare - acumulărilor de zăpadă

Zăpada este un fenomen climatic natural ce depinde de temperatură și vânt și produce încărcări statice; în timpul ninsorilor lipsite de vânt, acestea se depun pe o grosime uniformă inclusiv pe acoperișuri cu panta de până la 50° , pe acoperișurile cu panta cuprinsă între 50° - 70° , așezându-se într-un strat mai subțire. Pe acoperișurile cu panta mai mare de 70° , zăpada nu stă, alunecând de pe acestea. Imediat după depundere, zăpada începe să se compacteze sub masa proprie, fenomen ce duce la creșterea greutății sale specifice. De asemenea, din cauza topirii și reînghețării acesteia, greutatea specifică a stratului crește și mai mult și, în același timp, vântul contribuie și el la compactarea zăpezii.

Pentru aprecierea impactului agenților din mediul natural asupra construcțiilor este necesar să se ia în considerare faptul că acțiunile acestora pot fi cuantificate numai prin prelucrarea statistică a datelor disponibile privind manifestările din trecut ale acestor agenți (șirul înregistrărilor meteorologice pe durata de timp cât mai lungi privind cantitatea de precipitații și grosimea stratului de zăpadă). În plus, pentru definirea completă a acțiunii, este indispensabilă utilizarea parametrilor referitori la intensitatea maximă, perioada de revenire asociată acestei intensități și posibilitatea de depășire.

Încărcările din zăpadă fac parte din încărcările temporare și sunt forțe statice de tip gravitațional a căror intensitatea depinde de greutatea stratului de zăpadă de pe nivelul terenului plat, de condițiile de expunere ale construcției și de posibilitățile de aglomerare a zăpezii pe construcție. Greutatea stratului de zăpadă la nivelul terenului plat se stabilește pe baza grosimii probabile a stratului (caracteristică a climatului specific fiecărui amplasament ce se determină prin prelucrarea statistică a valorilor maxime anuale ale grosimii stratului de zăpadă înregistrate de stațiile meteorologice), considerând greutatea volumetrică a zăpezii de 250kg/m^3 . Condițiile de expunere au în vedere, în special, efectele interacțiunii vânt, zăpadă, care au influență asupra grosimii stratului de pe construcție. În condiții normale de expunere, se apreciază că greutatea stratului de zăpadă de pe construcție este cu aproximativ 20% mai mică decât greutatea de referință la nivelul solului. În cazul în care pe acoperiș există o serie de obstacole care împiedică spulberarea acesteia, greutatea zăpezii de pe construcție poate ajunge mai mare decât cea de referință.

Încărcarea din zăpadă pe acoperișul construcțiilor nu este uniform distribuită, deoarece sub acțiunea vântului se pot produce aglomerări mai mult sau mai puțin importante în jurul unor neregularități ale acoperișului. Neconformitățile de depunere sunt favorizate de configurația acoperișului: cantitățile cele mai importante de zăpadă se concentrează în zonele cu denivelări mari, lângă luminatoare, în spatele parapetelor, pe dolii, pe copertine. În zonele de denivelare a acoperișului sau în cazul construcțiilor cu caclan comun și acoperișuri la cote diferite, aglomerarea zăpezii pe acoperișul de jos este proporțională cu diferența de nivel. De asemenea, acumularea zăpezii în anumite zone ale acoperișului se poate produce și din cauza lunecării zăpezii pe panta acoperișului.

Situații de solicitare deosebit de periculoase se pot produce în structurile simetrice (cupole), sub efectul unor încărcări mesimetrice cu zăpadă datorate depunerilor neuniforme (spulberare/aglomerare). Pentru construcțiile cu deschideri mari și acoperișuri cu forme complexe sunt necesare studii pe machete pentru observarea zonelor critice.

Un factor important pentru asigurarea împotriva prăbușirilor este acordarea posibilității accesării acoperișului pentru degajarea aglomerării locale ce pot duce la suprasolicitări mari din cauza efectului îndesării straturilor succesive de zăpadă) prin topire parțială și reînghețare, greutatea volumetrică a zăpezii crește foarte mult).

Fiabilitatea structurală a anvelopei clădirii

Având în vedere faptul că elementele componente ale anvelopei (implicit, acoperișurile) sunt care preiau acțiunile din mediul natural (deci și efectul zăpezii) este necesar ca acestea să răspundă cerințelor din fiabilitate: siguranță structurală, aptitudine pentru exploatare și durabilitate. În particular, fiabilitatea structurală are în vedere asigurarea și menținerea în timp a integrității fizice a clădirii. Încălcarea cerinței de fiabilitate structurală se face prin ignorarea sau necunoașterea acțiunilor agenților mecanici, a proprietăților materialelor, a comportării elementelor de construcție și a comportării construcției în ansamblu și poate avea drept consecințe de la varierea unei părți a clădirii, până la colapsul total.

Cu toate că o mare parte din deteriorările provocate de acumulările de zăpadă au ca bază ignoranța, graba sau diferența ce s-au manifestat în timpul afectuărilor calculelor structurale, există cazuri de construcții, care deși au fost proiectate conform normelor în vigoare, deci au utilizat coeficienți de siguranță corespunzători, au fost afectate de o proastă execuție și/sau o mentenanță necorespunzătoare. Deasemenea, există și situația în care pur și simplu, natura ne demonstrează că suntem neputincioși și depășește orice statistici și preveziuni, demolând, odată cu clădirile o serie de principii considerate până atunci solide.

Cu toate că responsabilitatea cea mai mare revine inginerului de structuri, s-a observat că într-un număr îngrijorător de cazuri, persoana încriminată a fost arhitectul, mai ales din postura de șef de proiect.

Astfel, analizarea cauzelor ce duc la prăbușiri este importantă din punctul de vedere al unui arhitect, atât datorită faptului că acestea pot duce la pierderi de vieți omenești, cât și pentru a înțelege acest fenomen și a-l putea preveni.

Studii de caz

Prăbușirea acoperișului piscinei din Complexul Transvaal Park, Rusia-28 morți, 200 răniți



În ziua de 14 februarie 2004, acoperișul pe structură metalică al corpului central din Complexul Park din Rusia s-a prăbușit peste aproximativ 800 de persoane, ucigând 28 dintre ele. Inițial, ca o consecință a unui atac terorist ce avusese loc în aceeași perioadă, s-a crezut că e vorba despre o bombă, însă în urma expertizei au ieșit la iveală o serie de defecte ale construcției ce determinase, de fapt, colapsul.

Un avertisment anterior prăbușirii fusese dat de arhitectul Viktor Ovszannikov, care declarase că “în timpul construcției normativele au fost flagrant încălcate, întrucât în Rusia cel mai important este să construiești și să vinzi cât mai repede posibil, iar nimănui nu-i pasă ce se întâmplă apoi”.

Concluzia a fost că la prăbușire au concurat o serie de defecte ale structurii, peste care s-a adăugat încărcarea din zăpadă, acestea fiind factorul declanșator. Erorile au fost atât de proiectare cât și de fabricație, dar mai ales de execuție la care s-a adăugat și o neglijență în exploatare.

Arhitectul Nodar Kancheli, șef de proiect și Anatoly Voronin au fost găsiți responsabili pentru prăbușire.
Prăbușirea acoperișului patinoarului din Bad Reichenhall, Germania-15 morți, 34 răniți



Un accident foarte mediatizat a fost prăbușirea pe 2 ianuarie 2006, a acoperișului patinoarului construit în 1970 din Bad Reichenhall, în sudul Germaniei aproape de granița cu Austri. În timpul cercetărilor s-au pus două întrebări: ce a cauzat colapsul și cum ar fi fost posibil să se evite.

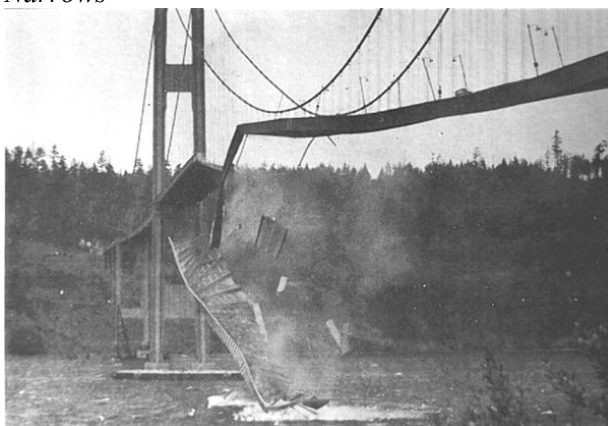
Cu toate că la momentul prăbușirii acoperișul era acoperit cu un strat de 25 de centimetri de zăpadă, acesta nu avea o grosime care să implice deformații mari la nivelul structurii, fiind vorba despre o cădere de zăpadă aproximativ normală pentru acea perioadă. Astfel, având ca bază regulamentele în construcții, oficialii orașului au susținut că la momentul respectiv nu era necesară intervenția persoanelor responsabile cu întreținerea închiderii timp de câteva zile a patinoarului, se pare că această recomandare nu a fost luată în seamă.

Imediat, după accident, s-a pus întrebarea dacă este normal ca într-o zonă alpină să fie construite clădiri cu acoperiș în terasă.

Investigațiile au arătat că prăbușirea a fost cauzată de cedarea unei grinzi din lemn lamelar, care a destabilizat întreaga structură. Întrucât cedările grinzilor din lemn foarte rar au cauzat asemenea dezaastre, s-a ajuns la concluzia că structura avea deficiențe de conformare, deoarece nu a fost normal faptul ca aceasta să fie afectată de o avarie la o singură gridă.

Astfel, s-a demonstrat că nici în acest caz, încărcarea din zăpadă nu a cauzat accidentul, ci s-a suprapus peste probleme existente ale structurii, agravându-le.

Prăbușirea podului Tacoma Narrows



Podul Tacoma Narrows făcea legătura dintre Tacoma, Washington și Kitsap Peninsula. Era cel de-al treilea cel mai lung pod suspendat din lumea (845m) și a fost deschis pentru public în iulie 1940, dar s-a prăbușit doar după 4 luni în timp de 45 minute în urma oscilațiilor dinamice, provocate de vânt, având viteza de 18,8 m/s.

Concluzii și propuneri

Din cele prezentate mai sus rezultă în mod evident că ponderea cea mai mare a avariilor este cauzată de execuția necorespunzătoare a construcțiilor, o atenție deosebită trebuind acordată următoarelor:

- întocmirii proiectelor de organizare și a întregului flux tehnologic cu respectarea strictă a măsurilor prevăzute;
- trasarea corectă a lucrărilor;
- respectarea prevederilor, prescripțiilor tehnice de execuție și proiectare;
- recepționarea, manipularea și depozitarea corespunzătoare a materialelor și elementelor de construcție;
- mărirea exigenței în ceea ce privește prepararea și punerea în operă a betoanelor, elementelor prefabricate și construcțiilor metalice;
- permanentizarea și continua ridicare a calificării muncitorilor, tehnicienilor și inginerilor, cu ridicarea problemelor de etică profesională la un nivel cât mai înalt;
- întărirea compartimentului de control tehnic al calității în toate fazele de execuție și activizarea rolului laboratoarelor de șantier;
- asigurarea de către beneficiarii de investiții a cărții tehnice a construcțiilor în vederea exploatarei corespunzătoare a construcțiilor;
- urmărirea și întreținerea construcțiilor în funcție de destinația acestora.

Tema lucrării este analiza modelelor continue și discrete în calculul dinamic la aceeași structură. Structurile ingineresti posedă proprietăți inerțiale (mase concentrate sau distribuite) și elastice (flexibilitate sau rigiditate) și sînt capabile să efectueze, sub acțiunea unor cauze exterioare cu caracter dinamic, mișcări relative, în jurul unei anumite poziții de echilibru. Mișcarea unei asemenea structuri se repetă în timp după anumite legi de variație, tipul de comportare dinamică a sistemului se numește mișcare vibratorie sau vibrație. Structurile ingineresti sunt sisteme dinamice cu masă continuă distribuită sau concentrată. În dependență de acțiunile dinamice răspunsul structurilor va fi definit prin deplasări, viteze și accelerații. Poziția unui sistem, în orice moment al mișcării va fi determinat printr-un număr de parametri independenți sau coordonate dinamice, numite și grade de libertate dinamic (GLD). Numărul de parametri va depinde de proprietățile inerțiale, repartizarea maselor. În cazul structurilor cu masă uniform distribuită vom avea o infinitate de parametri independenți. În practica inginerescă la majoritatea clădirilor se observă o concentrare a maselor pe segmente, respectiv răspunsul unui sistem dinamic cu mase discrete unde forțele generalizate vor avea caracterul unor acțiuni concentrate, iar coordonatele în raport cu care se descrie răspunsul sistemului în timp vor fi deasemenea discrete. Coordonatele dinamice independente care pot defini complet poziția instantanee a unui sistem dinamic discret, în orice moment al mișcării, se numesc grade de libertate dinamice (GLD). Deplasările pe direcția coordonatelor dinamice reprezintă necunoscutele fundamentale în dinamica structurilor. Rezultă deci că numărul necunoscutelor dinamice este egal cu numărul coordonatelor dinamice independente (GLD) sau cu numărul minim de legături simple (blocaje) necesare pentru a fixa sistemul dinamic în poziție de repaus. În baza unei modelări inerțiale riguroase se pot transforma structurile reale în sisteme oscilante discrete cu un număr limitat n de grade de libertate dinamice (n GLD). Localizarea punctelor nodale de concentrare a maselor discretizate trebuie să reflecte cît mai fidel comportarea reală a structurii modelate, astfel încît configurațiile deformatelor dinamice să fie evaluate cu cît mai multă exactitate. Caracteristicile de bază a unui sistem sollicitat de forțe dinamice sînt pulsația (ω) și perioada (T).

Pulsația unei mișcări periodice reprezintă numărul de oscilații complete într-un interval de timp egal cu 2π secunde.

Perioada este timpul necesar pentru ca o mișcare periodică simplă sau oarecare să se repete identic. Perioada se măsoară în secunde și este egală cu raportul $T=2\pi/\omega$.

Scopul lucrării este de a compara perioada fundamentală T obținută prin modelul discret și prin modelul continuu pentru una și aceeași structură sollicitată de acțiuni dinamice de proveniență seismică. Drept reper de comparație servește grinda acționată de 3 și mai multe forțe concentrate, rezultatele eforturilor obținute variază pînă la 5% comparativ cu o grindă acționată de sarcină uniform distribuită echivalentă. Pentru ca să obținem rezultate maximum asemănătoare structura trebuie să se comporte ca o grindă și anume să se respecte condiția $H/b > 5$, unde H - înălțimea clădirii și b - latura mai mică în plan a clădirii.

Desfășurarea Lucrării. Selectăm o structură reală care respectă normele în vigoare. Structura va fi selectată ca să lucreze ca o grindă, respectiv să respecte raportul $H/b > 5$.

Structura analizată reprezintă o clădire cu 22 nivele solicitată de o acțiune dinamică de proveniență seismică. Structura are dimensiunile în plan după latura mică $l=13.2\text{m}$ și înălțimea $H=66.3\text{m}$, raportul este egal $h/b=66.3/13.2=5.03>5$. Înălțimea primului nivel este $H_1=3.3\text{m}$, următoarele nivele au înălțimea $H_{etaj}=3.0\text{m}$. Schema constructivă a clădirii este carcasă și diafragme din b/a monolit C25 cu umplutura din zidărie BCA $b=400\text{mm}$ $\gamma<900\text{kg/m}^3$. Rigiditatea este diferită pe nivele, primele 10 nivele coloanele au dimensiunea $b_xh=600\text{mm}$ și diafragmele $b=250\text{mm}$, următoarele 12 nivele $b_xh=500\text{mm}$ și diafragmele $b=200\text{mm}$.

1. Modelul discret.

Schema de calcul reprezintă un pendul încastrat,

$$x=0 \quad \varphi_0=\theta_0=0,$$

solicitat de 22 forțe statice echivalente de la acțiunea seismică. Pentru a determina perioada fundamentală folosim complexul de calcul Scad Office. Conform calcului:

Masa totală de la greutatea proprie: $N_{\text{propr}}=72835\text{kN}$.

Masa totală de la sarcini permanente: $N_{\text{perm}}=27122.9\text{kN}$.

Masa totală de la sarcini de lungă durată: $N_{l.d}=2601.1\text{kN}$.

Masa totală de la sarcini de scurtă durată: $N_{s.d}=10031.4\text{kN}$.

perioada fundamentală este:

- pe direcția Y va fi $T=1.412\text{s}$;
- pe direcția X va fi $T=1.173\text{s}$

2. Modelul continuu.

Schema de calcul va fi o bară încastrată la un capăt și liberă la celălalt capăt:

$$x=0, \quad \varphi_0=\theta_0=0;$$

$$x=H, \quad M_l=Q_l=0;$$

Bara este acționată de o sarcină uniform distribuită q pe toată înălțimea H .

Valoarea sarcinii este egală cu, $q=N/H$, unde N -încărcarea seismică totală.

$$N=N_{\text{propr}} \cdot 0.9 + N_{\text{perm}} \cdot 0.9 + N_{l.d} \cdot 0.8 + N_{s.d} \cdot 0.5.$$

$$N=72835 \cdot 0.9 + 27122.9 \cdot 0.9 + 2601.1 \cdot 0.8 + 10031.4 \cdot 0.5 = 97058.69$$

$$q=97058.69/66.3=1463.94\text{kN/m}$$

Facem referire la manualul Mihail Efrim "Dinamica Structurilor și Inginerie Seismică", pulsația proprie fundamentală ω la o bară solicitată

$$\omega_1 = 3.52 \sqrt{\frac{EI}{\mu \cdot l^4}}; \quad EI\text{-rigiditatea clădirii};$$

$$\mu = \frac{q}{g}; \quad \mu\text{-greutatea barei pe unitate de lungime};$$

$$g=9.81\text{m/s}^2 \text{ (accelerația căderii libere)};$$

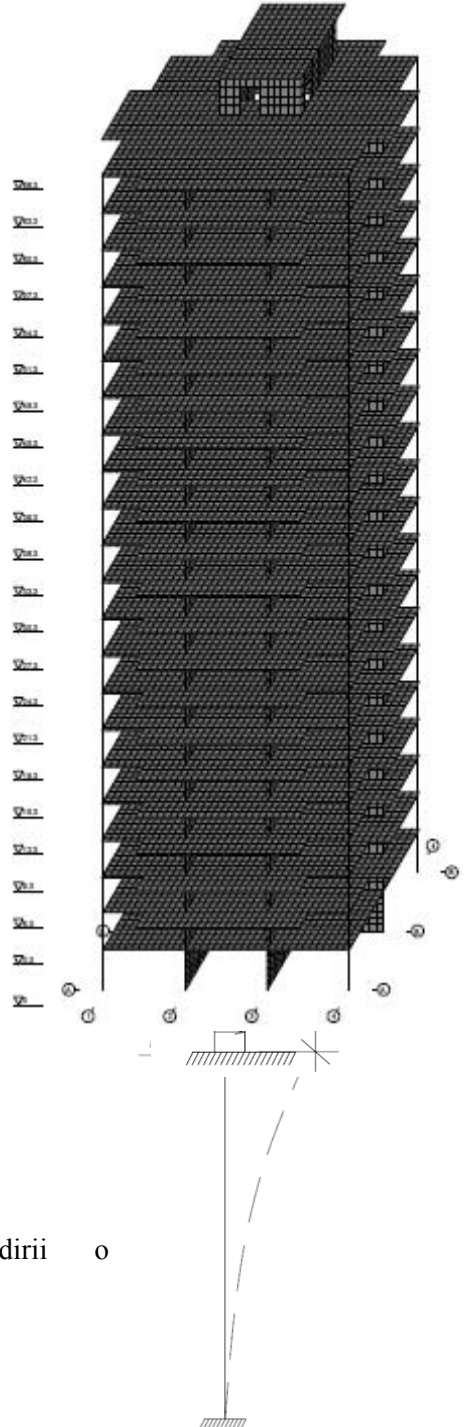
determinăm din valoare deplasării la capătul unei bare încastrate solicitată de o forță perpendiculară.

$$\Delta = \frac{F \cdot l^3}{3EI}; \quad \Rightarrow EI = \frac{F \cdot l^3}{3 \cdot \Delta}$$

$$T_1 \text{ (perioada fundamentală)} = \frac{2\pi}{\omega_1};$$

T1 pe direcția Y

Considerăm că diafragmele au rigiditate sporită și ele preiau sarcinile orizontale. Pentru a determina EI pe direcția Y acționăm clădirea la ultimul nivel cu două forțe concentrate $F_1=500\text{kN}$, efectul sumăr $F=1000\text{kN}$, pe axele 2;3 unde avem diafragme. Obținem deplasarea:



$$\Delta = 20.73\text{mm}; l=H=66.3\text{m}$$

$$EI = \frac{F \cdot l^3}{3 \cdot \Delta} = \frac{1000 \cdot 66.3^3}{3 \cdot 20.73 \cdot 10^{-3}} = 16.080 \cdot 66.3^3 \cdot 10^3 \text{ kN} \cdot \text{m}^2;$$

$$\mu = \frac{q}{g} = \frac{1463.94}{9.81} = 149.23;$$

$$\omega_1 = 3.52 \sqrt{\frac{EI}{\mu \cdot l^4}} = 3.52 \sqrt{\frac{16.080 \cdot 66.3^3 \cdot 10^3}{149.23 \cdot 66.3^4}} = 4.4875 \text{ s}^{-1}; l=H(\text{lungimea clădirii})$$

$$T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} = \frac{2 \cdot 3.14}{4.4875} = 1.399 \text{ s}$$

T1 pe direcția X

Pe direcția X este amplasată diafragma pe axa B. Pentru a determina rigiditatea aplicăm o forță concentrată $F=1000\text{kN}$ și obținem deplasarea:

$$\Delta = 13.08\text{mm}; l=H=66.3\text{m}$$

$$EI = \frac{F \cdot l^3}{3 \cdot \Delta} = \frac{1000 \cdot 66.3^3}{3 \cdot 13.08 \cdot 10^{-3}} = 25.484 \cdot 66.3^3 \cdot 10^3 \text{ kN} \cdot \text{m}^2;$$

$$\mu = \frac{q}{g} = \frac{1463.94}{9.81} = 149.23;$$

$$\omega_1 = 3.52 \sqrt{\frac{EI}{\mu \cdot l^4}} = 3.52 \sqrt{\frac{25.484 \cdot 66.3^3 \cdot 10^3}{149.23 \cdot 66.3^4}} = 5.65 \text{ s}^{-1}; l=H(\text{lungimea clădirii})$$

$$T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} = \frac{2 \cdot 3.14}{5.65} = 1.111 \text{ s};$$

Concluzie.

Diferența în procente(%) în dependență de modelul de calcul este:

- Pe direcția Y:

$$\Delta = \frac{1.412 - 1.399}{1.412} \cdot 100\% = 0.92\%$$

- Pe direcția X:

$$\Delta = \frac{1.173 - 1.111}{1.173} \cdot 100\% = 5.28\%$$

Diferența se calculează în baza rezultatelor obținute cu ajutorul modelului discret deoarece el reflectă real schema de lucru a structurii. Comparăm rezultatele obținute prin ambele metode, diferența mai mică s-a obținut pe direcția Y, deoarece se respectă raportul $H/b > 5$. Rezultatul obținut prin modelul continuu va fi cât mai aproape de rezultatul obținut prin modelul discret când se respectă condițiile:

- clădirea lucrează ca o grindă, $h/b > 5$;
- clădirea este simetrică în plan;
- înălțimea nivelelor nu variază mult pe înălțime (este simetrică pe verticală).