

**UNIVERSITATEA TEHNICA DE CONSTRUCTII BUCURESTI FACULTATEA
DE CONSTRUCTII CIVILE, INDUSTRIALE SI AGRICOLE DEPARTAMENTUL
DE STUDII DOCTORALE**

UTILIZAREA AMORTIZOARELOR ÎN PROIECTAREA CLĂDIRILOR

- RAPORT DE CERCETARE 1 -

**COORDONATOR STIINTIFIC:
PROF.UNIV.EM.DR.ING. MIHAI VOICULESCU**

**DOCTORAND:
ING. ZAINULABDEEN ABDULFATTAH**

BUCURESTI

OCTOMBRIE 2018

PROIECTAREA SEISMICA CU AMORTIZORI CU FRECAR

Diagonalele de tip amortizori cu frecare sau diagonala cu curgere redusă (YRB) se modelează ca element de legătură în majoritatea software-urilor. Cu alte cuvinte, se modelează ca o diagonala cu curgere fictive. Deoarece amortizorul cu frecare de tip Ten-Co poate fi tratat ca un element elasto-plastic ideal, acest lucru permite aplicarea modelului Wen. Pentru o analiza a comportării amortizorului, modelul Wen simplifică calculele.

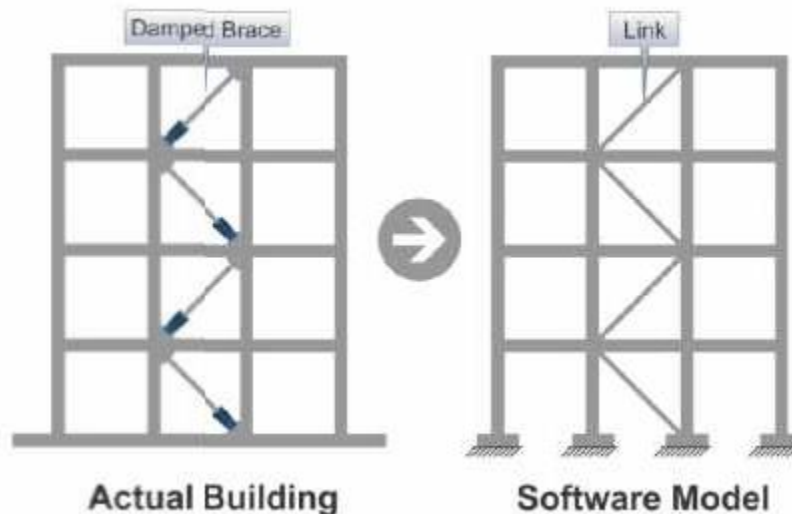
O diagonala cu curgere sau o BRB ar ceda și ar începe să se deformeze, permițând clădirii să absoarbă și să disipeze energia cutremurului. Cu toate acestea, diagonala ar trebui să fie înlocuita după cutremur.

În schimb, amortizorii de fricțiune seismică în linie alunecă în loc să cedeze și prin elasticitatea elementelor structurale primare revine la poziția sa inițială. Studiile au arătat că un cadru de moment capabil de chiar și doar 25% din sarcina de alunecare elastică este suficient pentru a recentra amortizorul. Sarcina de alunecare a amortizorului este simetrică, atât în tensiune cat și compresie (de unde și numele Ten-Co) și este independentă de deplasare. Această caracteristică importantă simplifică modelarea și maximizează disiparea energiei.

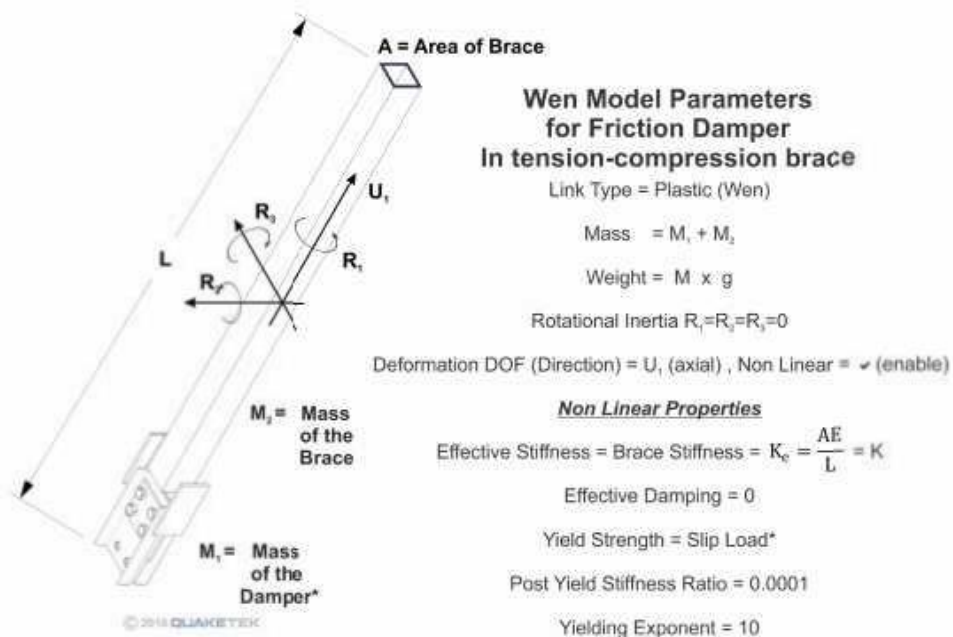
Curba histeretică a amortizorului permite modelarea acestuia ca o legătură în analiza statică, dinamică și neliniară. Singurele informații necesare sunt proprietățile legăturii care, în acest caz, este o diagonala cu curgere fictiva cu propriile sale proprietăți liniare și neliniare. Acest lucru poate fi modelat în software-uri populare, cum ar fi ETABS sau SAP2000, utilizând parametrii de mai jos.

Sarcina de alunecare ar trebui să fie egală cu 75% din rezistența curentă a diagonalei și 130% din sarcinile de serviciu (de exemplu, forfecare). Masa amortizorului va varia în funcție de sarcina de alunecare și de deplasarea necesară.

Această tehnologie permite noi modalități de a răspunde constrângerilor arhitecturale și ale clienților.



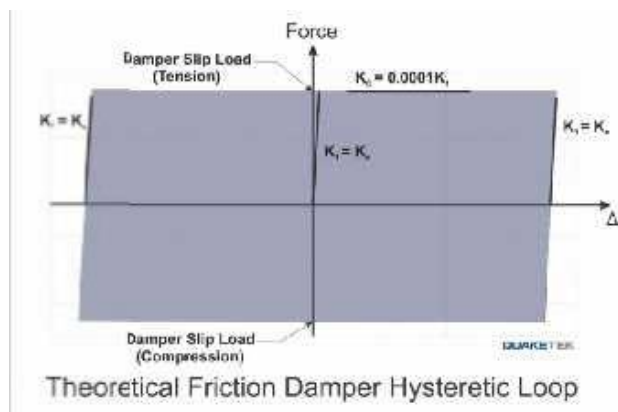
PARAMETRII UTILIZATI IN ETABS PENTRU MODELAREA AMORTIZORILOR CU FRECARE



Curba histeretica

Unele programe de calcul permit introducerea directă a buclei histeretice. În cazul în care inginerul ar dori să efectueze analiza folosind aceste caracteristici, se poate utiliza bucla histeretică cvasi-dreptunghiulară. Deoarece rigiditatea amortizorului este egală cu rigiditatea diagonalei până când alunecă, rigiditatea efectivă și a diagonalei sunt egale.

Amortizorul alunecă la o sarcină aproximativ constantă și, prin urmare, raportul de rigiditate post-curgere poate fi estimat la aproape zero, 0,0001.

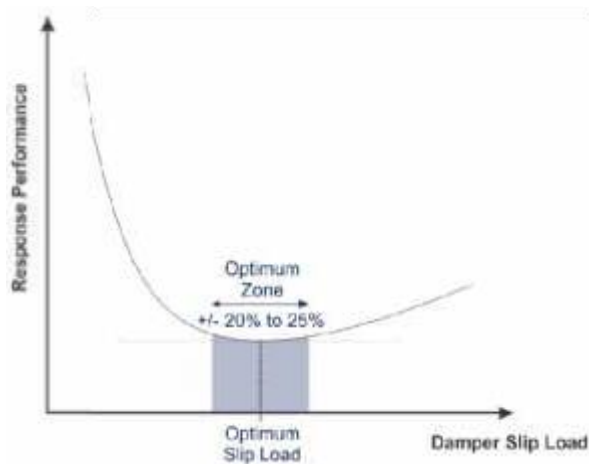


Găsirea încărcării optime de alunecare

Alunecarea optimă maximizează absorbția de energie pentru o configurație de cadru și o forță laterală date. S-a constatat că această forță este sub 50% din forța tăietoare de nivel, dar diferite forțe sunt deseori selectate de proiectantul structural în funcție de constrângerile și obiectivele sale.

Odată găsite, modificările mici ale sarcinii de alunecare (de exemplu, +/- 20%) au un efect minim asupra răspunsului structurii.

Pentru calcule rapide se utilizează 1/3 din forța tăietoare de nivel, cu asigurarea că raportul dintre rigiditatea laterală a diagonalei și rigiditatea laterală totală a nivelului (cadru + diagonale) este strict mai mare de 0,5 și constant pe toată înălțimea clădirii.

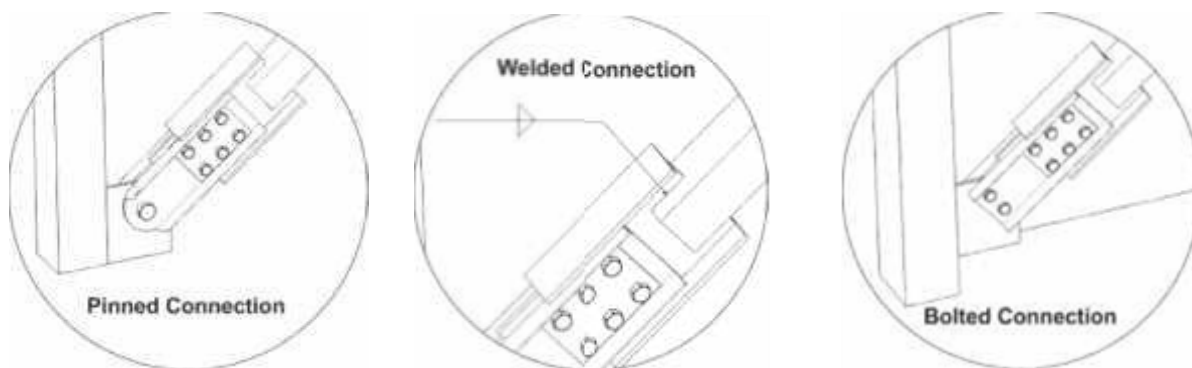


Poate fi utilizat în orice sistem lateral de rezistență la forță ca sistem de amortizare sau ca „siguranță” reutilizabilă pentru a proteja structurile de deformări sau cedări inelastice.

Deși există multe metode posibile de instalare a amortizorului cu frecare, configurația de compresiune-tensiune a diagonalei unice este frecvent utilizată.

Următoarea metodă de „instalare” cea mai obișnuită tinde să fie de tip „chevron” unde amortizorul este instalat în diagonale sau uneori instalat la interfața dintre grindă și diagonale.

Amortizoarele de frecare pot fi personalizate pentru a se potrivi cu aproape orice clădire, iar legătura de mai jos are sarcini de alunecare și curse utilizate în mod obișnuit.

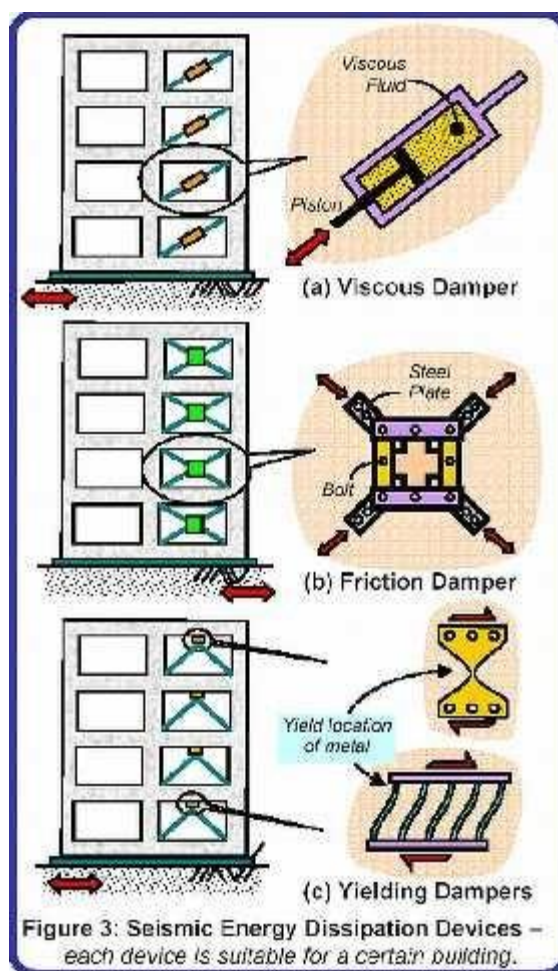


Catalogul va oferi câteva exemple de amortizoare standard, dimensiunile și masele acestora. Deși cursele mici sunt prezentate cu amortizoare mici, inversul este obișnuit: putem oferi, de asemenea, curse mari pe amortizoare mici și curse mici pe amortizoare mari.

Când finalizați analiza, furnizați-ne sarcina de alunecare și cursa necesare, iar programul Quaketek va proiecta personalizat amortizorul de care aveți nevoie.

DISPOZITIVE DE DISIPARE A ENERGIEI PENTRU PROIECTAREA CLĂDIRILOR REZISTENTE LA CUTREMUR

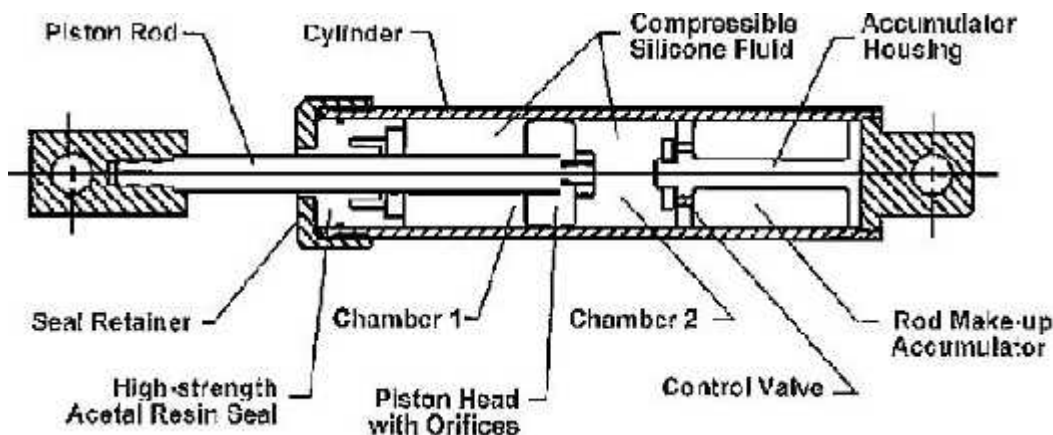
O altă abordare pentru controlul avariilor seismice din clădiri și îmbunătățirea performanței lor seismice este prin instalarea amortizoarelor seismice în locul elementelor structurale, cum ar fi contravântuirile diagonale. Aceste amortizoare acționează ca amortizoarele hidraulice din mașini - o mare parte din scuturările bruște sunt absorbite în fluidele hidraulice și doar puțin se transmit asupra șasiului mașinii. Când energia seismică este transmisă prin ele, amortizoarele absorb o parte din aceasta și astfel amortizează mișcarea clădirii.



DISPOZITIVE DE DISIPARE A ENERGIEI

Amortizoare seismice utilizate frecvent:

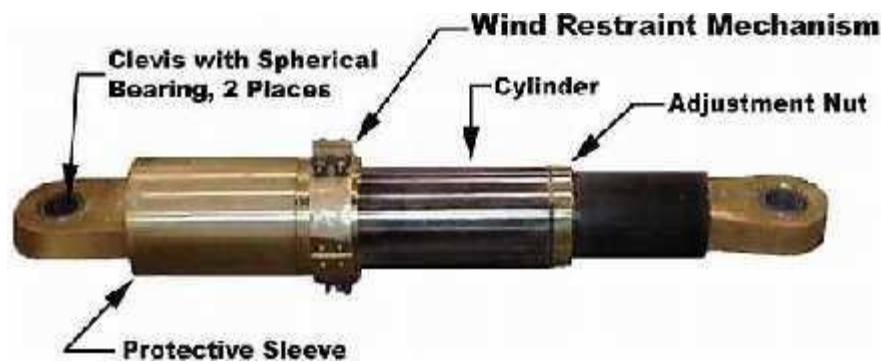
- **Amortizoare vâskoase** (energia este absorbită de fluidul pe bază de silicon care trece între dispunerea cilindrului pistonului),
- **Amortizoare cu fricțiune** (energia este absorbită de suprafețele cu frecare între ele frecându-se una împotriva celeilalte),
- **Amortizoare cu curgere** (energia este absorbită de componentele metalice care curg).
- **Amortizoare viscoelastice** (energia este absorbită prin utilizarea forfecării controlate a solidelor). Astfel, echipând o clădire cu dispozitive suplimentare care au o capacitate mare de amortizare, putem reduce foarte mult energia seismică care intră în clădire.



Cum funcționează amortizoarele

Construcția unui amortizor cu fluid este prezentată în figura precedentă. Se compune dintr-un piston din oțel inoxidabil cu cap de orificiu din bronz. Se umple cu ulei de silicon. Capul pistonului utilizează pasaje de formă specială care modifică fluxul fluidului amortizorului și astfel modifică caracteristicile de rezistență ale amortizorului. Amortizoarele de fluid pot fi proiectate pentru a se comporta ca un disipator de energie pură sau ca un arc sau ca o combinație a celor două.

Un amortizor vâscos-fluid seamănă cu amortizorul obișnuit, cum ar fi cele găsite în automobile. Pistonul transmite energia care intră în sistem către fluidul din amortizor, determinând deplasarea acestuia în amortizor. Mișcarea fluidului în interiorul amortizorului absoarbe această energie cinetică transformând-o în căldură. La automobile, aceasta înseamnă că un șoc primit la volan este amortizat înainte de a ajunge în habitacul. În clădiri acest lucru poate însemna că stalpii clădirii protejați de amortizoare vor suferi o mișcare orizontală considerabil mai mică și se vor deteriora mai puțin în timpul unui cutremur.



Amortizor vasco-fluid

Noile tipuri/tendinte de dispozitive de disipare a energiei

Metodele inovatoare pentru controlul vibrațiilor seismice, cum ar fi dispozitivele de frecare și alte tipuri de dispozitive de amortizare, sunt o parte integrantă importantă a sistemelor de izolare seismică, deoarece sunt prevazute ca o barieră împotriva pătrunderii energiei seismice în structură. În acest concept, amortizoarele suprimă răspunsul clădirii izolate în raport cu baza sa.

Noul dispozitiv de amortizare a fricțiunii constă din trei plăci de oțel care se rotesc una împotriva celeilalte în direcții opuse. Plăcile de oțel sunt separate de două bucăți de material de frecare care produc frecare cu plăci de oțel.

Când o forță externă excită o structură a cadrului, grinda începe să se deplaseze orizontal datorită acestei forțe. Amortizorul va urma mișcarea și placa centrală din cauza forțelor de întindere din elementele de întărire. Când forțele aplicate sunt inversate, plăcile se vor roti în sens opus. Amortizorul disipă energia prin frecare între suprafețele glisante.

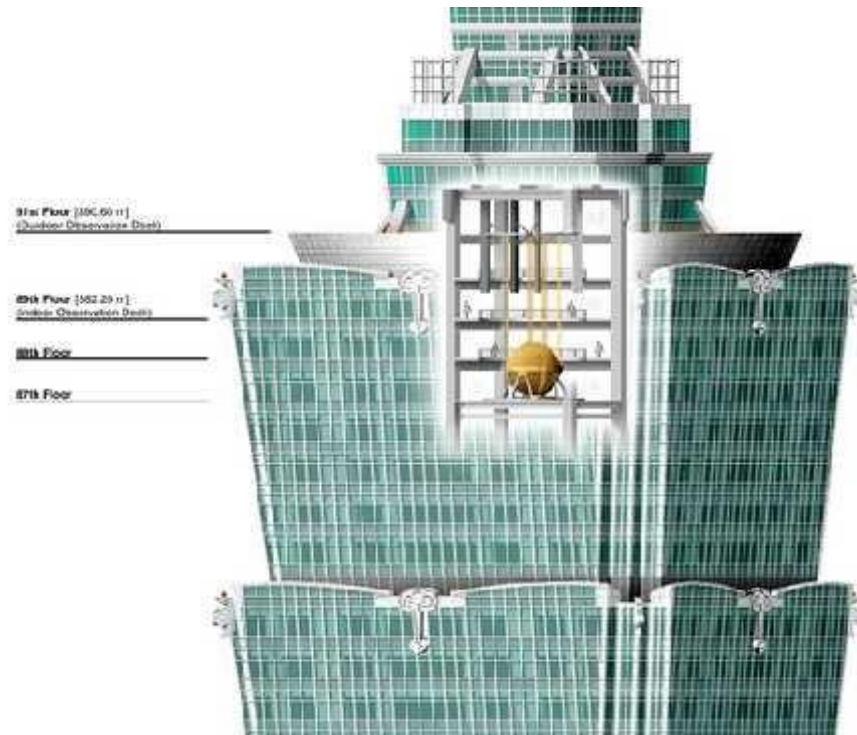
Cel mai recent dispozitiv de amortizare Frecare Visco-Elastica (F-VEDD) combină avantajele mecanismelor pure de frecare și viscoelastice ale disipării energiei. Acest nou produs constă din plăcuțe de frecare și plăci de polimer viscoelastic separate de plăci de oțel. Un șurub precomprimat în combinație cu arcuri cu disc și șaibe întărite este utilizat pentru menținerea forței de strângere necesare pe interfețe, ca în conceptul original FDD.

Amortizoare cu masa acordara pentru zgârie-nori (TMD)

În multe dintre cele mai înalte cladiri de tip zgârie-nori din lume, există un dispozitiv secret care protejează clădirea și oamenii din interior de mișcări puternice datorate vântului și cutremurelor. Știați că puteți acorda un zgârie-nori la fel ca o chitară?

Uneori, în detrimentul administratorilor de fonduri speculative și al locuitorilor penthouse-ului de la etajele superioare, un zgârie-nori poate acționa ca un oscilator la fel ca o coardă de chitară. Vântul poate induce oscilații într-o clădire similară cu o curea de fixare a unui vehicul. Un cutremur puternic poate excita, de asemenea, frecvența de rezonanță a clădirii la fel ca actionarea unei coarde de chitară. În majoritatea cazurilor, mișcarea nu este suficientă pentru a amenința siguranța clădirii în sine. Toate structurile prezintă un anumit nivel de deformare deoarece rezistența nu necesită rigidități egale. Într-o zi foarte adâncă, cea mai înaltă.

Într-o zi, cei mai înalți zgârie-nori pot să se legene până la trei metri de fiecare parte. Clădirea poate fi în regulă, dar acea mișcare poate fi profund incomodă pentru ocupanții săi.

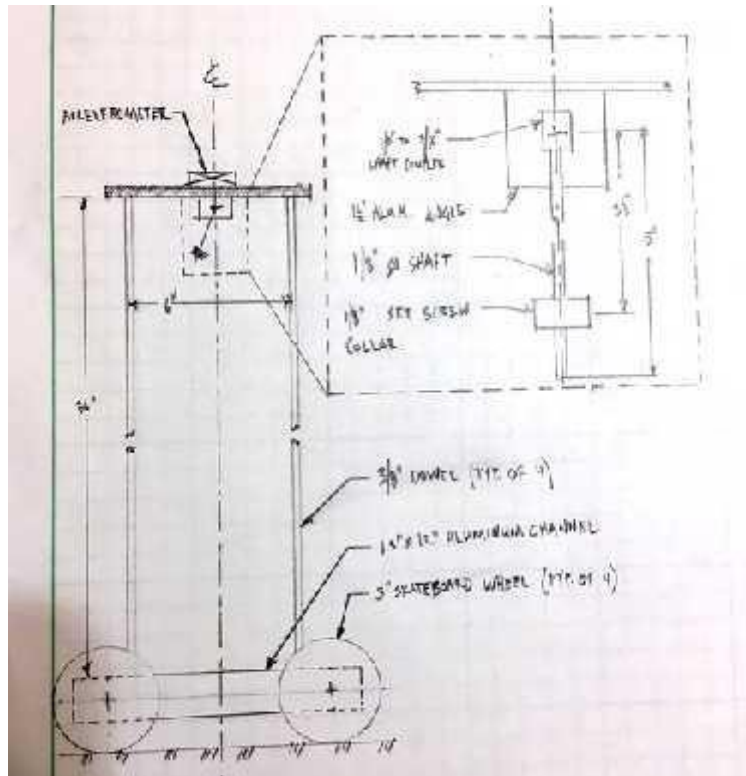


Majoritatea dintre noi credem intrinsec că clădirile nu ar trebui să se miște. Nici măcar nu ne gândim la asta. Pentru întreaga noastră viață, miercuri a venit după marți, soarele a răsărit în est, iar domiciliile și locuințele noastre au rămas statice sub picioarele noastre. Deci, îți poți ierta subconștientul pentru că ai simțit o anumită cantitate de teroare atunci când o astfel de credință fundamentală este zdruncinată, mai ales când zguduirea este literală. S-ar putea să nu fie suficient să dăuneze structurii clădirii, dar cu siguranță este suficient să provoace un procent de la ultimul etaj să-și piardă echilibrul, iar clădirile nu sunt prea bune dacă oamenii nu vor să fie în interiorul lor.

Așadar, inginerii au venit cu câteva soluții noi pentru a minimiza această oscilație nedorită, dintre care una este amortizorul de masă acordată sau TMD. Un TMD reduce amplitudinea vibrațiilor prin absorbția energiei cinetice din sistem, în acest caz mișcarea de legănare a unei clădiri înalte. Pentru o lungă perioadă de timp, TMD-urile au fost retrogradate în zone cu restul echipamentelor mecanice ale clădirii, ascunse de vederea publicului.

Acest lucru s-a schimbat în 2004, când turnul TAIPEI 101 a terminat construcția în Taiwan. În loc să ascundă cel mai mare amortizor de masă sferic reglat din lume, designerii clădirii au ales să îl deschidă publicului. TMD-ul TAIPEI 101 a devenit o atracție pentru turiști și are chiar și propria mascotă, bebelușul amortizor, care, se pare că a ieșit direct de pe insula mascotelor nepotrivate. Este ca și cum Clippie ar fi avut un copil cu balena Twitter.

Oricum, publicitatea asociată cu Taipei 101 a dezvăluit într-un fel acest lucru foarte interesant de inginerie, care este amortizorul de masă acordată, și puteți găsi o multitudine de videoclipuri în acțiune online, inclusiv mișcările sale în timpul cutremurului din Sichuan din 2008 din China. Deci, cum funcționează?

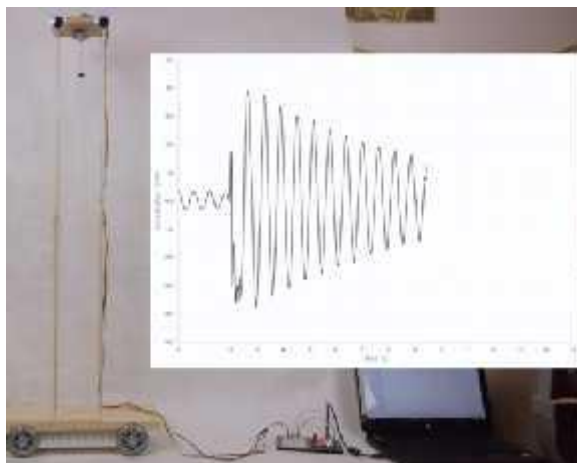


Am construit acest model dintr-un amortizor de masă acordată în stil pendul într-un zgârie-nori (Notă: Este posibil ca unele dintre dimensiunile din desen să nu reflecte configurația finală a modelului meu. De exemplu, am ajuns să folosesc dornuri de 1/4 " în locul diblurilor de 3/8 "afișate pe desen. Este posibil să trebuiască să iterați proiectul pentru a obține mișcarea corectă.)

Pot trage căruciorul înapoi și pot da clădirii o excitație de frecvență de rezonanță la fel ca un cutremur sau un eveniment puternic de vânt . Avantajul este că îl pot face într-o manieră oarecum repetabilă, astfel încât să putem evalua eficacitatea amortizorului.

Pentru TMD, amortizarea provine din tensiunea șurubului care acționează ca articulație. Pot strânge șurubul pentru a crește amortizarea. Reglarea vine din deplasarea acestei mase în sus sau în jos pe arborele pendulului.

Acest lucru schimbă frecvența pendulului la fel ca un metronom, care poate fi reglat la frecvența de rezonanță a clădirii. Am un accelerometru deasupra clădirii, astfel încât să îi putem măsura mișcările, iar acesta este conectat la un dispozitiv Arduino care trimite datele către laptop. Accelerometrul utilizat este de tip ADXL345 de la Sparkfun. Filtrând datele axei x cu un filtru trece-jos, apoi le-am trimis prin portul serial la laptop. Copiind doar datele din fereastra monitorului serial le import ca cifre în Microsoft Excel. Pentru animațiile de figură, am scris o macro personalizată și am folosit un program de captură de ecran pentru a le captura ca videoclip.



Dacă blochez pendulul și monitorizez clădirea clătinându-ne, putem avea o idee despre cum ar funcționa numai cu amortizarea naturală a clădirii.

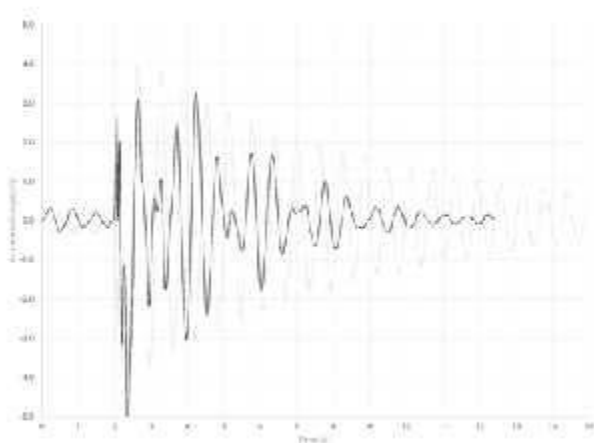
Plotând răspunsul de accelerație, putem vedea că modelul a experimentat o amplitudine maximă de 4 m/s^2 sau aproximativ jumătate din accelerația gravitațională (g), cu o perioadă de 0,6 secunde.

Frecvența este inversul perioadei, astfel încât să putem obține frecvența fundamentală a clădirii, 1,7 hertzi. Putem vedea, de asemenea, că clădirea are o anumită amortizare naturală doar datorită fricțiunii interne în mișcare - altfel s-ar legănat la nesfârșit.

Putem estima raportul de amortizare natural al modelului folosind scăderea logaritmică dintre primul și al doilea vârf. Am un raport de amortizare de 0,01.

Raportul de amortizare, notat cu una dintre literele grecești ζ , este o măsură a vitezei cu care amplitudinea se descompune într-un sistem oscilant. Se spune că sistemele cu un raport de amortizare mai mare de 1 sunt supra-amortizate, deoarece sistemul revine la echilibru fără a oscila. Se spune că sistemele cu un raport de amortizare mai mic de 1 sunt subamortizate, deoarece au o anumită oscilație.

Dacă coeficientul de amortizare este exact 1, sistemul este amortizat critic și revine la echilibru cât mai repede posibil, iar dacă sistemul este amortizat, oscilația continuă la nesfârșit.



Acum, cand cunoaștem o frecvență naturală aproximativă a clădirii, putem introduce amortizarea pendulului. Vă puteți aminti din clasele dvs. de fizică că frecvența unui pendul depinde de lungimea sa. Pentru o frecvență de aproximativ 1,7 hertzi, pendulul trebuie să aibă o lungime de aproximativ 3,5 inci.

Acum, să încercăm exact același experiment cu pendulul capabil să se balanseze liber. Energia cinetică a clădirii este transferată la pendul la început, dar pentru că nu există amortizare, pendulul transferă energia chiar înapoi în clădire. Deci, în loc să reducă amplitudinea, în schimb pendulul schimbă continuu energia cinetică cu clădirea ca un cartof fierbinte.

Pendulul reduce amplitudinea accelerației, dar vă puteți imagina doar că acest comportament neregulat ar fi și mai alarmant pentru chiriașii noștri de la partea superioară a clădirii decât mișcarea constantă, dar în descreștere a exemplului anterior.

Acum, să strângem șurubul pentru a adăuga o amortizare la pendul și să vedem ce se întâmplă. Puteți vedea o diferență remarcabilă în performanță. Diagrama răspunsului de accelerație arată o accelerație de vârf de aproximativ $3,5 \text{ m/s}^2$, deci o reducere de numai aproximativ 12%. Dar diferența mare este cât de repede se reduce mișcarea. La început, când pendulul se leagănă, am calculat un raport de amortizare de peste 0,06. Aceasta este de aproximativ 6 ori mai mare amortizare decât fără TMD. Odată ce pendulul se oprește din balansare, restul legănării urmează raportul natural de amortizare aproximativ al clădirii în sine, așa cum era de așteptat, dar majoritatea energiei cinetice a fost deja disipat de amortizor, astfel amplitudinea este mult mai mică

Pe cât de stupid arată acest mic experiment, de fapt nu este atât de departe de ceea ce fac inginerii în lumea reală. Faza de proiectare pentru aproape fiecare clădire majoră include câteva teste fizice ale modelelor la scară. Chiar și atunci, este posibil ca parametrii modelați să nu fie tocmai fideli structurii reale și să se schimbe pe parcursul duratei de viață a clădirii, astfel încât să puteți regla amortizorul de masă este o necesitate. Desigur, un amortizor de masă acordată nu elimină complet mișcarea, dar am văzut că poate face cu siguranță diferența. În inginerie, aveți un preț redus, aveți eficiență și aveți inovare și, de obicei, puteți alege unul, uneori două. Pentru rezolvarea problemei oscilația în clădirile înalte, totuși, amortizorul de masă acordată este cu adevărat toate trei, un exemplu excelent de eleganță în inginerie.

Amortizorul din modelul meu nu a avut un comportament „ideal”, deoarece forța nu era proporțională cu viteza.

Amortizarea coulombiana sau amortizarea prin frecare uscată, creată cu tensiunea șurubului creează o funcție în trepte. Se comportă într-un fel sub frecare cinetică și altul sub frecare statică. Un amortizor ideal ar folosi amortizarea vâscoasă sau electrică / magnetică.

Am trecut prin câteva idei (amortizare magnetică, amortizor rotativ de pe raft, amortizor de mașini RC etc.), dar este foarte greu să obțin un comportament ideal la scara la care lucram.