

RAPORTUL 1 DE CERCETARE

STADIUL ACTUAL AL SOLUTIILOR DE CONSOLIDARE PENTRU CLADIRILE EXISTENTE

DOCTORAND: NAIMA EZZAKI

CONDUCATOR DE DOCTORAT: PROF.UNIV.DR.ING. MIHAI VOICULESCU

SEPTEMBRIE 2017

1. Introducere

Codurile românești destinate proiectării clădirilor amplasate în zone seismice au cunoscut o evoluție continuă în ultimii 70 de ani.

Înregistrările unor mișcări seismice puternice și acumularea cunoștințelor privind efectele distructive ale cutremurelor asupra construcțiilor au permis corectarea și perfecționarea reglementărilor destinate asigurării unui grad corespunzător de protecție seismică.

Primul cod de proiectare antiseismică cu indicativul P13/63 a intrat în vigoare în 1963 și a fost revizuit în 1970 redenumindu-se P13/70. Cutremurul Vrancean din 4 martie 1977 a schimbat complet codul de proiectare în vigoare în acel moment, Codul de proiectare antiseismică imediat următor cutremurului din 1977 a intrat în vigoare în 1978, a fost denumit P100-78 și a fost revizuit în 1981 sub denumirea P100-81.

De atunci au mai apărut și alte versiuni, P100-92 și P100-1/2006, ultima fiind în concordanță cu prevederile Eurocod-ului, partea I. Clădirile construite înainte de apariția primului cod de proiectare antiseismică și clădirile construite înainte de codul de proiectare elaborat după cutremurul din 4 martie 1977 necesită o evaluare a performanțelor seismice și de multe ori necesită lucrări de consolidare.

În timpul cutremurului din 4 Martie 1977 în municipiul București s-au prăbușit 31 de clădiri. Dintre acestea, 28 erau construite înainte de 1945 și 3 erau construite în anii 1960-1970. Înregistrarea cutremurului din 1977 și efectele acestuia au scos în evidență deficiențele din codurile de proiectare și execuție în cazul unui cutremur major generat de sursa Vrancea. Nivelul redus al forțelor seismice, spectrul de proiectare neadecvat condițiilor de amplasament, soluțiile structurale nepotrivite și alcătuirea deficitară a elementelor de beton armat sunt doar câteva din cauzele care au generat pierderile de vieți omenești și pierderile materiale asociate cutremurului din 1977 [Chesca et al, 2007].

Multe alte clădiri au supraviețuit acestui cutremur consumându-și o bună parte din capacitatea de disipare a energiei. În consecință, probabilitatea ca aceste clădiri să aibă probleme la viitoarele cutremure este ridicată. Pe lângă clădirile de tip parter flexibil și slab, în municipiul București există foarte multe alte clădiri realizate în cadre din beton armat proiectate la o valoare mică a forței seismice și fără măsuri de asigurare a ductilității care necesită măsuri imediate de intervenție.

Indiferent de regimul de înălțime, capacitatea structurilor în cadre din beton armat proiectate conform normativului P100-2006 este semnificativ sporită față de capacitatea structurilor în cadre proiectate conform normativului P13-63. În aceste condiții sunt necesare luarea de măsuri de consolidare și punerea în siguranță a clădirilor proiectate conform P13-63.

Consolidarea clădirilor încadrate în clasa I de risc seismic și care prezintă pericol public ar putea fi gratuită pentru proprietari, banii urmând să vină dintr-un Fondul pentru Clădirile cu Risc Seismic Iminent ce ar urma să fie constituit la nivelul Guvernului, potrivit unui proiect de lege inițiat deus la Parlament. În cazul în care proprietarii nu doresc consolidarea, primăriile ar putea să meargă până la evacuarea acestora pe perioada lucrărilor și mutarea în imobile puse la dispoziție de administrațiile locale.

"Gradul de expunere al Romaniei si mai cu seama al Bucurestiului, in cazul unui cutremur, este foarte mare - pagubele materiale ar fi de ordinul miliardelor de dolari, iar pierderile de vieti omenesti ar fi mai mari decat ne putem imagina. Cadrul legislativ actual nu permite, practic, punerea in siguranta a cladirilor care prezinta pericol public, pentru ca blocajele care apar pe teren nu sunt rezolvate de lege. Tocmai de aceea, propun ca lucrarile de consolidare a cladirilor incadrate in clasa I de risc seismic, care prezinta pericol public, sa fie urgentate prin crearea Fondului pentru Cladirile cu Risc Seismic Iminent la nivelul Ministerului Dezvoltarii Regionale si a unui Program de Risc Seismic prin care sa fie simplificata procedura de punere in siguranta a imobilelor.

Practic, prin acest fond ar urma sa fie asigurata finantarea integrala de catre stat a lucrarilor de consolidare, unul dintre motivele pentru care proprietarii refuza inceperea lucrarilor fiind faptul ca trebuie sa suporte cheltuielile. In aceeaasi masura este nevoie de dispunerea unei masuri de evacuare in cazul persoanelor care blocheaza lucrarile, insa doar dupa ce li se asigura cazare temporara", se specifica in proiectul actual de lege.

Acesta precizeaza ca suma totala care ar trebui alocata lucrarilor de consolidare a cladirilor care prezinta risc seismic ar fi de circa 500 de milioane de lei, numai in Bucuresti.

Principalele prevederi ale proiectului de lege supus dezbaterii publice:

- Pe intreaga durata a procesului de intocmire a documentatiilor cadastrale, proprietarii si asociatiile de proprietari, persoane fizice sau juridice, vor beneficia de consiliere si asistenta din partea unor persoane din cadrul Primariei Capitalei care au competente in acest sens.
- Stabilirea formulei de calcul a cotelor parti indivize din proprietatea comuna, respectiv luarea in calcul a suprafetei utile totale aflate in proprietate, necesare calculului cotelor-parti, se va face ca urmare a masuratorilor cadastrale si inregistrate in cartea funciara, respectiv ultimele inscriburi oficiale, si nu potrivit cotelor de proprietate stabilite in actele de proprietate.
- Proprietarii, persoane fizice si juridice, beneficiaza, prin exceptarea de la prevederile legale, de scutirea de taxa privind eliberarea autorizatiei de construire pentru executia lucrarilor de consolidare a constructiilor din proprietate, cu destinatie de locuinta sau cu alte destinatii, precum si de taxa privind timbrul arhitecturii.
- Ministerul Dezvoltarii Regionale si Administratiei Publice va constitui, in vederea expertizarii, proiectarii si executiei lucrarilor pentru cladirile incadrate in clasa I de risc seismic si care prezinta pericol public, cu destinatia de locuinta, spatiu comercial sau orice alta destinatie, un fond de urgenta numit Fondul pentru Cladirile cu Risc Seismic Iminent, precum si o comisie numita Comisia Nationala de Evaluare si Implementare a Programului de Risc Seismic cu privire la lucrarile de expertiza, proiectare si consolidare, in vederea simplificarii actiunilor de punere in siguranta a fondului existent, care vor fi incluse intr-un plan de interventie numit Programul de Risc Seismic.
- Comisia Nationala de Evaluare si Implementare a Programului de Risc Seismic va fi alcatuita din experti evaluatori, proiectanti si constructori responsabili de proiectarea, pe baza expertizei tehnice, a planului de consolidare a cladirilor in cauza, precum si

de realizarea planului de interventie, contractarea lucrarilor impreuna cu primariile municipiilor, judetelor si primaria municipiului Bucuresti.

- Fondul infiintat la nivelul Ministerului Dezvoltarii Regionale si Administratiei publice va fi constituit ca un fond de urgenta pentru lucrarile necesare pentru punerea in siguranta a cladirilor prevazute la Art. 5, alin. 1, fara obligatia returnarii acestor fonduri de catre proprietarii spatiilor cu destinatie de locuinta, spatiu comercial sau orice alta destinatie, fond constituit prin exceptie de la prevederile Art. 6 si Art. 7.
- Decizia luata de autoritatile competente in urma expertizarii tehnice a cladirilor, justificata prin iminenta pericolului public privind interventia asupra locuintelor sau spatiilor cu alta destinatie din cladirile incadrate in clasa I de risc seismic, care constituie pericol public si care vor fi incluse in Programul de Risc Seismic, este obligatorie pentru proprietarii acestor imobile.
- In baza raportului de expertiza tehnica prin care cladirile sunt incadrate in clasa I de risc seismic si care prezinta pericol public, proprietarii persoane fizice sau juridice, care detin sau administreaza spatii cu destinatia de locuinta, spatii comerciale sau cu orice alta destinatie, sunt obligati sa prezinte, la cererea Comisiei de Evaluare, Aplicare si Implementare prevazute la Art. 5, alin (1), documentatiile cadastrale necesare inceperii lucrarilor de consolidare in termen de 3 luni de la notificare, in caz contrar primariile minicipiilor si oraselor, respectiv primarul general al municipiului Bucuresti putand dispune evacuarea celor in cauza din imobilele care urmeaza sa fie supuse unor lucrari de interventie sau, dupa caz, reconstructive, pana la finalizarea lucrarilor necesare pentru punerea in siguranta a imobilelor.
- Aplicarea deciziei de evacuare se va dispune doar dupa ce Consiliile minicipiilor, oraselor si comunelor vor asigura locuintele de necesitate pentru cazarea temporara a persoanelor si familiilor pe perioada executarii interventiilor care nu se pot efectua in constructii ocupate. Decizia de evacuare are caracter executoriu de la data ofertei unui spatiu de cazare temporara si va putea fi adusa la indeplinire pe calea executarii silite
- La data comunicarii Deciziei prevazute la alin. (3) inceteaza de drept si efectele actelor juridice incepte anterior aplicarii art. 5 alin. (1) privind realizarea de venituri din folosinta acestor imobile, imobilele care vor fi incluse in Programul de Risc Seismic si care beneficiaza de lucrari finantate de Fondul pentru Cladirile cu Risc Seismic Iminent neputand fi inchiriate sau destinate desfasurarii oricaror activitati ce presupun realizarea de venituri pana la finalizarea lucrarilor de interventie stipulate in Decizie.

Cate imobile cu risc seismic sunt in Bucuresti

In Bucuresti sunt 181 de cladiri incadrate in clasa I de risc seismic. "Dintre acestea, 85 de cladiri au peste 5 etaje (44,7%), 46 de cladiri au peste 8 etaje (24%), 59 de cladiri au sub 4 etaje (31,05). Majoritatea acestor cladiri sunt in sectoarele 1, 2 si 3. Majoritatea imobilelor sunt situate in Centrul orasului, pe strazile Franceza, Armeneasca, Lipscani, Baratiei, Gabroveni, Blanari, Calea Victoriei, b-dul Magheru", sustin reprezentantii municipalitatii.

În ultimii 10 ani, au fost consolidate doar 42 de clădiri din clasa I de risc seismic. "19 au fost consolidate în programul de consolidare a Primăriei Capitalei și restul direct de către proprietari", spun reprezentanții municipalității.

Principala problemă în ceea ce privește consolidarea este necesitatea acordului tuturor proprietarilor dintr-o clădire pentru demararea lucrărilor. Astfel că, dacă o singură persoană nu este de acord, consolidarea nu se poate face.

O altă problemă este procedura greoaie de expertizare, de întocmire a documentației de consolidare, de licitare și apoi de execuție a lucrărilor, de multe ori cu oamenii în clădire. Astfel că, deși în bugetul național și în cele locale s-au alocat bani anual, aceștia nu au putut fi folosiți. O altă problemă este că lucrările de consolidare se fac pe banii proprietarilor, iar mulți nu doresc să facă acest efort.

Potrivit prevederilor OG nr. 20/1994, cu modificările și completările ulterioare, finanțarea lucrărilor, în funcție de spațiul pe care îl detine, plus cota indiviză din partile comune, este plătită de Guvern și Primărie, banii urmând să fie recuperați de autorități în 25 de ani, de la terminarea lucrărilor, în rate fixe fără dobândă. Pentru proprietarii, persoane fizice ai locuințelor, pot beneficia de scutire de plata ratelor pe perioada în care veniturile, pe membru de familie sunt sub salariul mediu net pe economie.

2. Aspecte privind clădirile existente în cadre din beton armat proiectate și realizate conform P13-63

Clădirile de locuit executate după anul 1963 până în 1976 cuprind o varietate mare de scheme funcționale și soluții constructive rezultate din condițiile arhitecturale și de urbanism. În această perioadă un accent deosebit s-a pus pe realizarea proiectelor tip, după care s-au executat peste 90% din totalul clădirilor de locuit și de asemenea pe gradul de prefabricare a elementelor de construcție. S-au realizat în cea mai mare parte (circa 2/3 din total) clădiri de locuit cu mai multe niveluri.

Sistemul constructiv în cadre din beton armat cuprinde stalpi monoliti, grinzi monolite sau prefabricate și planșee prefabricate sau predate cu suprabetonare, regimul de înălțime al acestora fiind de S+P+6-14 etaje.

Cadrele de beton armat au fost aplicate la clădirile de locuit înalte în două etape distincte, între care a existat un interval de circa 10 ani, când nu s-au utilizat, după cum urmează:

- În etapa 1956-1963, pentru clădiri situate în amplasamente izolate pe principalele artere din centrul Bucureștiului cu regim de înălțime de S+P+6-8 etaje, având cadre spațiale (pe ambele direcții) și planșee din beton armat monolit, cu zidărie de umplutură de cărămidă plină presată de 37.5 cm la exterior și 25 cm la interior, structurile fiind calculate pentru un $C_B, \text{cod}=3.5\%$
- În etapa 1974-1976, pentru clădiri formând fronturi stradale pe artere importante (Pantelimon, Calea Dorobanților, 1 Mai, Titulescu, Obor, Armata Poporului) cu regim de înălțime S+P+8-14 etaje, cu trame marite (6.00 x 6.00 ... 4.50), cu planșee din beton armat monolit sau beton armat prefabricat

(panouri si semipanouri, predale cu suprabetonare), cu pereti de umplutura din beton celular autoclavizat (blocuri sau fasii), proiectate conform normativului P13-70, cu un $C_{B,cod}=2.5\%$

Prescriptiile tehnice romanesti aflate in vigoare la data producerii cutremurului din 1977, constau in principal din:standardele de intensitati si zonare seismica (STAS 3684-71; STAS 2923-63 si seria STAS 8879); standardele si normativele de proiectare antiseismica (STAS 7766-68; STAS 9165-72; STAS 9315/1-73; normativele P13-71 si P2-76); standardele cu caracter general pentru proiectarea constructiilor, mai ales a celor din beton armat si metal.

Normativul condiționat pentru proiectarea construcțiilor civile si industriale din regiuni seismice, P13-63, prevedea urmatoarele aspecte pentru constructii in cadre din beton armat:

- Procentele de armare ale stalpilor vor fi de cel putin 1% pentru stalpii de colt si cel putin 0.8% pentru restul stalpilor;
- Se va asigura continuitatea armaturilor longitudinale si a etrierilor stalpilor pe inaltimea intersectiilor cu grinzile;
- La fiecare etaj , la extremitatile stalpilor puternic solicitati, se va reduce distanta intre etrieri la cel mult 10 cm pe o lungime de cel putin 60 cm;
- In cazurile cand rezulta necesar, se vor prevedea la partea inferioara a grinzilor , pe reazeme, armaturi pentru preluarea momentelor incovoietoare pozitive din actiunea sarcinilor seismice, care se vor ancora corespunzator;
- Peretii de umplutura din zidarie dintre cadre vor fi ancorati in stalpii cadrelor prin armaturi lasate ca mustati din stalpi si continuate in rosturile orizontale ale zidariei;
- La constructiile cu structura rigida, la care sarcinile seismice orizontale sunt preluate in total sau in cea mai mare parte de diafragme verticale, acestea vor fi dispuse suficient de des pentru a evita transmiteri pe orizontala pe distante mari a sarcinilor seismice la diafragmele verticale
- In cazuri speciale cand rezulta necesar din considerente functionale (de exemplu la blocuri etajate de locuinte cu spatii libere mari la parter pentru magazine) , se admite utilizarea structurilor rigide cu parter flexibil , la care elementele portante verticale sunt diafragme rezemate la parter pe stalpi. Planseul peste parter si stalpii parterului se vor alcatui si dimensiona astfel incat sa poata prelua si transmite eforturile din sarcini seismice, care apar la schimbarea brusca de rigiditate a constructiei.
- La cladirile etajate se va urmari ca la fiecare nivel ansamblul elementelor portante verticale sa prezinte rigiditati de acelasi ordin de marime la deformatii orizontale dupa toate directiile. Nuse admit structuri la care sarcinile seismice sa fie preluate dupa o directie de elemntele rigide (diafragme) si dupa cealalta directie de elementele flexibile (cadre).

3. Raspunsurile seismice structurale ale clădirilor existente cu structura in cadre din beton armat proiectate si realizate conform P13-63

Primul normativ de proiectare antiseismica in tara noastra, P13-63, avea la baza conceptia de proiectare pe baza unei forte seismice conventionale, conceptie care in acea perioada era unanim utilizata pe plan international.

O deficiente majora a acestui normativ a constat in faptul ca nu permitea evaluarea directa a comportarii structurilor in domeniul postelastice si nici nu continea concepte si principii referitoare la acest aspect. Seisme majore din 1977, 1986, 1990 au aratat incursiuni puternice ale structurilor in domeniul postelastice, cu evidentierea unor degradari si avarii in elementele nestructurale, in primul rand (datorita depasirii deformatiilor admisibile si a disiparii unei parti din cantitatea de energie indusa de seism) si in elementele structurale (grinzi de cadru, rigle de cuplare, stalpi, pereti structurali din beton armat, fundatii) datorita unor conformari structurale inadecvate la nivel de element sau chiar de nivel structural.

Conform normativelor P13-63 si P13-71, coeficientii seismici de baza cei mai mari au fost considerati pentru perioadele pana in 0.3 respectiv 0.4 sec., in timp ce pentru perioade cuprinse intre 0.9-1.5 sec. valorile scad de pana la 5 ori. Spectrele de raspuns seismic, dinamice liniare si neliniare pentru accelerograma Vrancea NS 1977 (inregistrata la INCERC) pun in evidenta raspunsuri maxime (in viteze, acceleratii, deplasari, energii) tocmai pentru intervalul de perioade 0.9 – 1.5 sec.

Conform P13-63:		Conform P13-71:	
$S = C_B \cdot G$		$S = C_B \cdot G$	
$C_B = K_s \cdot \beta \cdot \psi \cdot \epsilon$		$C_B = K_s \cdot \beta \cdot \psi \cdot \epsilon$	
$\beta = 3$		$\beta = 2$	
$0 < T < 0.3$	$\beta = 0.9/T$	$0 < T < 0.4$	$\beta = 0.8/T$
$0.3 < T < 1.5$	$\beta = 0.6$	$0.4 < T < 1.33$	$\beta = 0.6$
$T > 1.5$	$K_s = 0.025 - 0.100$	$T > 1.33$	$K_s = 0.03 - 0.12$
$\Psi = 1 - 1.5$		$\Psi = 1 - 2$	
$C_{B,min} = 2\%$		$C_{B,min} = 2\%$	

Unde: S - sarcina seismica orizontala totala

C- coeficient de seismicitate

Ks- coeficient de intensitate seismica

β - coeficient de amplificare dinamica

ψ - coeficient care tine seama de ductilitatea structurii

ϵ - coeficient de echivalenta

Domeniul cladirilor social culturale si de locuit, cu perioade proprii de vibratie cuprinse intre 0.50 si 2.00 sec., proiectate conform normativelor P13 au C_B -ul de proiectare de circa 3-4 ori mai mic decat cel impus de folosirea noului normativ de protectie antiseismica P100-92.

Conform P100-92:	
$S=C_B \cdot G$	
$C_B=\alpha \cdot K_s \cdot \beta \cdot \psi \cdot \varepsilon$	
$\beta=2.5$	
$0 < T < T_c$	β -liniar descrescator
$T_c < T < T_c + 1.5$	$\beta=1$
$T > T_c + 1.5$	$K_s=0.08-0.32$
$\Psi=0.2-0.35$	

Diferențele semnificative din normele actuale față de Normativul P100-1992 se referă la:

- reprezentarea acțiunii seismice;
- cerințele de performanță;
- detalierea prevederilor specifice construcțiilor din beton armat, metal, zidărie, lemn, compozite oțel beton și la componente nestructurale;
- controlul răspunsului structural, prin izolarea bazei;
- și nu în ultimul rând la notațiile și relațiile de calcul.

Cladirile de locuit cu structura in cadre de beton armat, au fost realizate pentru niveluri S+P+4E pana la S+P+8-14E, sau chiar mai mult.

Cladirile realizate cu acest sistem constructiv prezinta caracteristici diferite de comportare la actiunea seismica, datorita varietatii solutiilor utilizate la proiectarea cladirilor de locuit cu structura in cadre de beton armat si totodata complexitatii factorilor care influenteaza comportarea acestor constructii la actiunea solicitarilor seismice. Astfel s-au constatat situatii cand nu s-au inregistrat (aparent) avarii in structura si situatii cu avarii foarte grave.

Cele mai afectate cladiri de locuit cu structura in cadre, sunt cladirile inalte, la care s-au inregistrat avariile caracteristice: degradari ale elementelor componente ale structurii de rezistenta (stalpi si grinzi) cat si avarieri importante ale elementelor nestructurale, de regula panouri de zidarie de umplutura mai rigide, amplasate in ochiurile (mai flexibile) ale cadrelor.

Avariile au fost localizate in treimea inferioara din inaltimea cladirii, adica parter si primele 3-4 niveluri.

Una din cauzele avariilor specifice acestor constructii o reprezinta rezistenta si rigiditatea redusa a cadrelor de beton armat mai ales la eforturi sectionale de tip forta taietoare, dar si modul de conlucrare dintre cadre si panourile de zidarie , de regula impanate in ochiurile cadrelor. Aceste cauze au dus la aparitia unei diferente mari intre rigiditatea cladirii estimata la proiectare si rigiditatea efectiva a imobilului construit. Raspunsul seismic al unei astfel de cladiri se apropie de cazul zidariei inramate datorita modului de conlucrare dintre cadrele de beton armat si panourile de umplutura din zidarie - rigiditatea de ansamblu este mai mare ca cea estimata. Marindu-se sarcinile seismice preluate de cadre, care sunt mult mai mari ca cele considerate in proiectare, din distributia neavantaioasa a peretilor de umplutura, apar efecte de torsiune ce determina suprasolicitarea si degradarea stalpilor la actiunea fortei taietoare. Mai mult, elementele structurale sunt antrenate de cadre in deformarea lor. Fiind alcatuiti din materiale cu rupere casanta, fara rezistenta la intindere, peretii nu pot urmari deformarea cadrelor si astfel zidaria preia prima solicitarile seismice si sufera degradari importante, iar apoi solicitarile se transmit in totalitate cadrelor. Daca structura este bine conformata si dimensionata , cadrele de beton armat pot asigura rezerve suficiente pntru disiparea energiei prin incursiuni in domeniul plastic.

Avarii caracteristice au aparut la elementele structurale, stalpi si grinzi, ca urmare a eforturilor sectionale de tip forta axiala, forta taietoare si moment incovoietor.

In cazul stalpilor, supusi preponderent la moment incovoietor , avariile au aparut in principal la stalpii svelti, prin producerea de articulatii plastice la ambele capete sub actiunea momentului incovoietor si a fortei axiale- compresiune sau intindere excentrica. S-au constatat fisuri si crapaturi normale pe axa stalpului indicand intrarea in curgere a armaturii, deseori in dreptul unor rosturi de lucru defectuos trasate, insotite deseori de zdrobirea si exfolierea betonului in zonele comprimate si flambarea armaturilor longitudinale.

Preponderenta efortului axial de compresiune, datorat incarcarilor gravitationale si efectelor indirecte (de rasturnare) a incarcarilor seismice, a produs urmatoarele avarii:

- rupei (zdrobiri) casante, de regula la portiunile centrale ale stalpilor si mai ales in zonele cu betoane segregate de tipul “dublu con”
- exfolierea laterala a betonului,
- flambarea armaturilor
- desfacerea sau ruperea etrierilor.

Stalpii medii si scurți, sub actiunea preponderenta a fortei taietoare, au prezentat fisurari sau chiar rupei casante din forfecare, in sectiuni inclinate, producand o dislocare oblica a stalpului. Fisurarea sau ruperea inclinata a stalpilor este rezultatul unor incursiuni puternice in domeniul postelastice, practic printr-o stare compusa de solicitari din incovoiere, forta taietoare si forta axiala, si a mecanismului care asigura capacitatea de rezistenta a stalpului in sectiuni inclinate si care depinde in principal de rezistenta la intindere a betonului, de armarea transversala si rezistenta betonului zonei comprimate.

Alte avarii au aparut in cazul elementelor nestructurale - parapeti, scari, centuri rigide - care au transformat stalpii in stalpi scurți generand rupei casante, din forta taietoare.

In cazul grinzilor, supuse preponderent la eforturi de tip moment incovoietor, s-au produs articulatii plastice la capete, manifestate prin fisuri normale la partea intinsa superioara sau inferioara a grinzilor. La partea inferioara a grinzilor in zona reazemelor fisurile au fost insotite de cedari ale zonei comprimate de beton, uneori si cu flambari de armatura. La partea superioara zona comprimata este mai puternica datorita placii.

Grinzile supuse la intindere din forta taietoare au prezentat fisuri oblice in zona reazemului, pornind de la partea inferioara. Acestea erau insotite uneori si de dislocari izolate.

Alte avarii ale grinzilor au fost provocate de:

- existenta unor reazeme izolate a condus la micsorarea deschiderilor provocand ruperi casante in “X”;
- existenta unor incarcari concentrate mari - ca efect al rezemarii unor grinzi secundare- importante pe grinzile principale, al caror efect poate fi amplificat de seism, producand fisuri verticale in dreptul lor;
- efecte de “tirant” din interactiunea cu zidaria de umplutura, intinderi care suprapuse cu incovoierea si forta taietoare au condus la aparitia de fisuri casante in mai multe sectiuni normale pe axa grinzii, si care au trecut uneori si in placi. Actiunea alternanta a solicitarii seismice a produs uneori fisuri inclinate din forta taietoare, actionand cu directie inversa fata de cazul curent, respectiv inclinat spre camp.

In general structurile in cadre din beton armat proiectate si realizate conform P13-63 prezinta urmatoarele deficiente:

- β Insuficienta rigiditate la deplasari orizontale;
- β Insuficienta capacitate de rezistenta la incovoiere si/sau forta taietoare
- β In cazul atacurilor seismice repetate, prin cumulare succesiva, reducerea rigiditatilor relative de nivel poate ajunge la circa 60-70% din valorile initiale.
- β 30-35% din energia disipata prin deformatii postelastice este consumata la baza si 60-70% impreuna cu celelalte niveluri din treimea inferioara.
- β Propunerile de interventii pentru punerea in siguranta prin camasuirea stalpilor si grinzilor nu rezolva ambele insuficiente majore.
- β Atunci cand structura sufera de un singur tip de deficienta , se doreste eliminarea acesteia, dar orice interventie realizata pentru suprastructura are repercursiuni asupra substructurii si fundatiilor.

4. Metode de punere in siguranta structurala

a. Introducere

Structurile in cadre proiectate si realizate conform normativului P13-63 sunt caracterizate de o rigiditate si rezistenta laterale insuficiente in raport cu cerintele seismice ale teritoriului Romaniei, fara un control eficient al mecanismelor structurale de disipare de energie. Stalpii au de regula sectiune insuficienta, cadrele fiind de tipul stalpi slabi grinzi puternice. Datorita sectiunii si armarii insuficiente, stalpii ajung la stadiul de rupere din forta taietoare inainte de dezvoltarea articulatiilor plastice. Valoarea mare a fortei de compresiune normalizata si innadirile insuficiente ale armaturilor verticale contribuie de asemenea la dezvoltarea acestui fenomen.

Evaluarea structurala a acestor tipuri de structuri, in conformitate cu prevederile seismice in vigoare, indica faptul ca in aproximativ toate cazurile este nevoie de reabilitare.

Scopul consolidarii il reprezinta impunerea unui mecanism structural de disipare de energie favorabil, in cazul de fata, dezvoltarea zonelor plastice la extremitatile grinzilor si la baza stalpilor. Se urmareste de asemenea marirea rezistentei laterale, a rigiditatii si a capacitatii de deformare plastice ale elementelor structurale si ale ansamblului structurii.

Normativul P100-3 Cod de evaluare si proiectare a lucrarilor de consolidare la cladiri existente, vulnerabile seismic, Vol. 2 - Consolidare prezinta urmatoarele solutii de interventii in cazul structurilor in cadre din beton armat:

• Consolidarea structurilor de beton armat

- Interventii care nu implica modificarea sistemului structural :
 - Camasuire cu beton armat
 - Camasuire cu piese de otel
 - Camasuire cu polimeri armati cu fibre (FRP)
- Interventii cu transformarea sistemului structural:
 - Introducerea de contravanturi metalice
 - Introducerea de pereti structurali de beton armat

• Reabilitare seismica a cladirilor folosind sisteme de disipare a energiei

• Interventii prin izolarea seismica a bazei

b. Metode de punere in siguranta structurala a cladirilor:

A. Metode clasice:

- i. Camasuieli elemente cu beton armat
- ii. Introducerea unor pereti structurali din beton armat

B. Metode moderne:

- i. Camasuieli cu polimeri armati cu fibre (FRP)
- ii. Izolatoare seismice de baza
- iii. Dispozitive de amortizare cu masa acordata (TMD)
- iv. Amortizoare

c. Metode clasice de punere in siguranta structurala

1. Camasuieli ale elementelor structurale existente cu beton armat

Creșterea performanțelor structurale ale cadrelor de beton armat se poate obține și prin intervenții care nu schimbă esențial caracteristicile structurii inițiale.

La aplicarea acestei tehnici de intervenții trebuie să se țină seama de următoarele considerente:

- a) Intervențiile au ca obiective creșterea rezistenței elementelor la forță tăietoare, la moment încovoiător sau forță axială, creșterea rigidității sau mărirea capacității de deformare postelastice;
- b) Deficiențe sistematice de alcătuire a elementelor de beton armat, cu efecte negative asupra performanței cadrelor (armare transversală insuficientă, înădări incorecte ale armăturilor, noduri slabe etc.) impun, de regulă, intervenții generalizate bazate pe tehnica cămășuirii elementelor. În aceste cazuri, soluțiile localizate, bazate pe contravântuirea cadrelor sau introducerea de pereți structurali, nu sunt în măsură să asigure în unele cazuri protecția adecvată a elementelor structurii existente.
- c) Soluția de cămășuire a elementelor cadrelor nu modifică caracteristicile de comportare inițiale ale acestor structuri caracterizată prin solicitarea relativ uniformă și moderată a cadrelor și diaframelor orizontale;
- d) Ca urmare, soluția de intervenție prin cămășuirea elementelor cadrelor conduce și la cerințe de rezistență și rigiditate ale infrastructurii și fundațiilor sensibil mai mici, comparativ cu tehnicile de intervenție localizate (prin adăug de pereți structurali, cu cadre cu pereți de umplutură sau contravântuite etc.);
- e) Cămășuirea elementelor cadrelor cu beton armat, poate afecta în măsură importantă și elementele nestructurale ale construcției, astfel încât costul și durata lucrărilor poate fi mai mare comparativ cu alte soluții.

v Camasuirea stalpilor

Camasuirea stalpilor se face pe toate fetele pentru a putea fi egal eficienta pe toate fetele. Atunci cand acest lucru nu este posibil si se accepta un grad diferit de consolidare, se vor lua masuri pentru prevenirea desprinderii camasii de stalpul existent: se vor utiliza ancore post-instalate, fixate cu mortar sau rasina epoxidica, in gauri forate in stalpul existent(Fig. 4.2.1.1.a). De asemenea se pot monta ramuri de completare a etrierului in grosimea acoperirii cu beton a laturii care nu se camasuiește(Fig. 4.2.1.1.b).

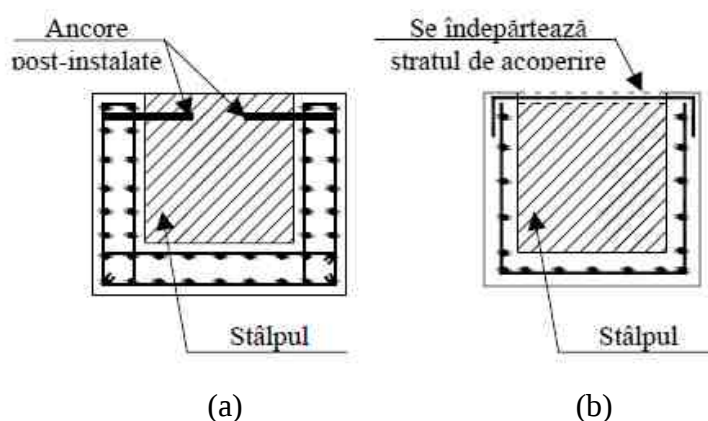


Fig.4.2.1.1. Soluții de camasuire a stalpilor pe 3 laturi (conform P100-3):

(a) Cu ancore post-instalate

(b) Cu montarea ramurii de completare a etrierului

Daca scopul camasuirii il reprezinta doar sporirea rezistentei la forta taietoare, se pot prevedea numai etrieri perimetrali.

Dacă se dorește să se evite sporirea rezistenței la încovoiere prin cămășuire, cămașa se oprește la 30 mm de intradosul grinzii, respectiv fața planșeului.

În cazul unui stâlp cuprins între un parapet înalt și grindă, stâlpul este expus unei rupe periculoase specifică elementelor scurte dacă rezistența la forță tăietoare este insuficientă, iar soluția de camasuire se va realiza în modul următor:

- i. Dacă parapetul de beton are grosime mare se recomandă camasuirea numai pe înălțimea liberă a stâlpului
- ii. Dacă parapetul de beton are grosime redusă se recomandă executarea unui rost vertical între cele două elemente și efectuarea camasurii pe întreaga înălțime a stâlpului.
- iii. Stâlpul poate fi cămășuit pe toate laturile, pe întreaga înălțime, fără executarea rosturilor verticale, prin suprapunerea etrierilor cu bare introduse în găuri forate în elementele adiacente (Fig 4.2.1.2).

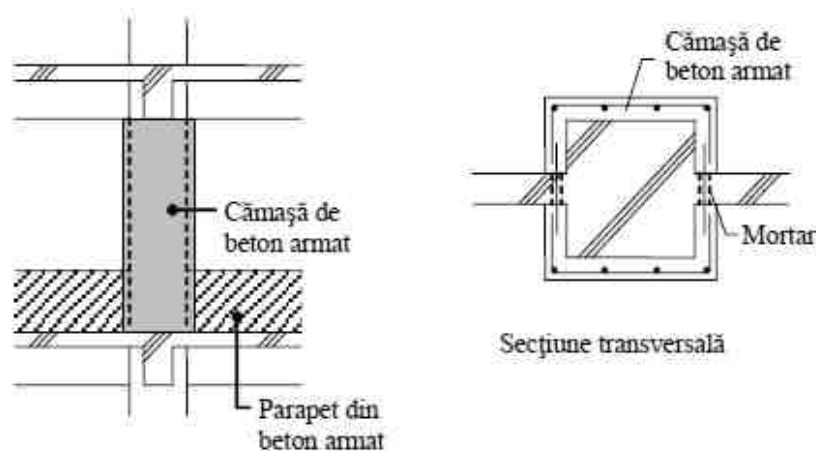


Fig. 4.2.1.2. Camasuire stâlp adiacent parapete din beton armat (P100-3/2008)

Dacă stâlpul este adiacent unui perete nestructural se recomandă desfacerea locală a unui rost vertical între cele două elemente, care să permită cămășuirea stâlpului pe întreaga înălțime.

- Grosimea camasii:
 - în cazul executării din beton turnat în cofraj ≥ 100 mm
 - în cazul betonului torcretat ≥ 60 mm.
- Clasa de beton :
 - $\geq C20/25$
 - cel puțin clasa betonului din stâlpul existent.
- Armarea camasii:
 - armături orizontale - armături principale în preluarea forței tăietoare
 - armături verticale - armături de montaj - se dispun la interiorul etrierilor.
 - dacă grosimea cămășii este ≥ 120 mm armarea se va realiza din câte două planuri de armături.

- in cazul utilizării barelor independente, diametrul minim al etrierilor este de 10 mm, iar distanța maximă între etrieri este de 100 mm. Etrierii vor fi detaliați astfel încât să se asigure și o bună confinare a stâlpului existent. Etrierii se vor închide prin sudare, cu cârlige de tip seismic (de 10d, îndoite la 135°) sau prin suprapunere. Atunci când se prevăd cârlige, se va lege o grosime a cămășii care să permită realizarea lor.
- in cazul utilizării plaselor sudate, trebuie asigurată o lungime suficientă de suprapunere pentru închiderea plasei pe una dintre fețele stâlpului.

Atunci când se urmărește îmbunătățirea rezistenței la încovoiere, aceasta atrage și necesitatea creșterii rezistenței la forța tăietoare. În acest caz armaturile verticale reprezintă armături de rezistență și trebuie respectate următoarele prevederi din P100-3:

- dacă armaturile lucrează la compresiune, acestea trebuie asigurate împotriva flambajului
- pentru montarea etrierilor de închidere a barelor longitudinale intermediare se admite desfacerea locală a acoperirii cu beton a elementelor existente. Dacă numărul barelor este mare, o parte din ele pot fi fixate prin agrafe ancorate chimic în elementul de beton existent.
- armăturile trebuie să fie ancorate suficient dincolo de secțiunile de la extremitățile elementelor pentru a putea fi mobilizate integral în aceste secțiuni și vor trece prin placa planșeului
- în cazul în care camășuirea se oprește la un anumit nivel, ancorarea armaturilor se realizează astfel:
 - prin ancorarea în betonul turnat în nodul terminal
 - prin dispozitive cu plăci și piulițe filetate
 - prin înșădirea cu ancore chimice postinstalate în grindă existentă, soluție acceptată în cazul unor armături de diametru mai mic.

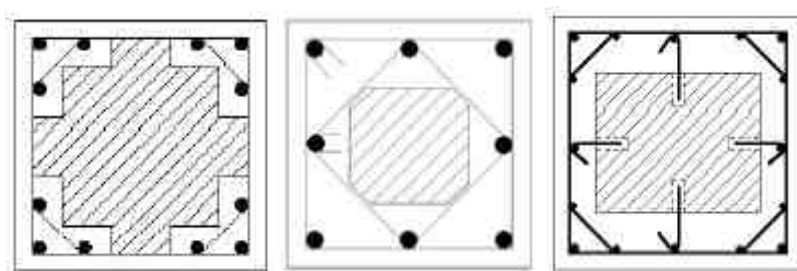


Fig. 4.2.1.3. Tipuri de prindere a armaturilor longitudinale intermediare (P100-3/2008)

v *Camășuirea grinzilor*

Camășuirea grinzilor se aplica pe cele două fețe laterale ale grinzilor.

În cazul în care nu se urmărește și sporirea rezistenței la încovoiere armăturile orizontale sunt simple armături de montaj.

Dacă cămășuirile se realizează prin turnare, iar grinda face parte dintr-un planșeu sunt necesare perforări ale plăcii adiacente grinzii pentru trecerea armăturilor și turnarea

betonului. Dacă golurile de turnare secționează placa pe mai mult din jumătatea deschiderii se va analiza dacă este necesară sprijinirea provizorie a plăcii.

- Grosimea camasii: ≥ 100 mm
- Armarea camasii:
 - armăturile verticale (etrierii) trebuie ancorate eficient la capete pentru a putea fi active pe toată înălțimea grinzii.
 - ancorarea armăturilor verticale poate face necesară completarea cămășii și pe a treia sau și pe a patra latură a grinzii.
 - diametrul minim al armăturilor transversale din cămașă este de 12 mm. Distanța dintre aceste armături trebuie să fie mai mică de 150 mm.
 - armătura din cămașă trebuie acoperită în întregime de beton sau mortar. Stratul de acoperire trebuie să aibă o grosime minimă de 25 mm.
 - continuizarea armăturilor pe reazeme este stânjenită de prezența stâlpilor care, de regulă sunt substanțial mai lați decât grinzile. Soluții:
 - o armăturile ocolesc stâlpul prin îndoirea sub unghiuri suficient de mici pentru a limita tendința de îndreptare a armăturii în zona de deviere a acesteia,
 - o armăturile se sudează de gulere rigide și rezistente din piese metalice (corniere cu rigidizări) montate imediat deasupra și dedesubtul grinzii.
 - o în cazul armăturilor de diametru relativ mic (≤ 14 mm) se pot folosi ancore postinstalate în stâlp, înădite prin petrecere cu armăturile de la extremitățile grinzii.

v Camasuirea nodurilor

Datorită poziției marginale a armaturilor nodurilor față de zona de transfer a forței tăietoare, camasa aplicată nodurilor are o eficacitate limitată asupra rezistenței acestuia la forța tăietoare.

Armătura orizontală are și un efect indirect asupra rezistenței la forță tăietoare a nodului prin sporul de rezistență al diagonalei comprimate mobilizate în interiorul nodului, ca rezultat al creșterii armăturii de confinare.

Armătura orizontală pe înălțimea nodului trebuie să fie continuă, iar această condiție se poate realiza prin 2 moduri: traversarea grinzilor prin gauri perforate și ancore chimice postinstalate în peretele grinzii (Fig. 4.2.1.4).

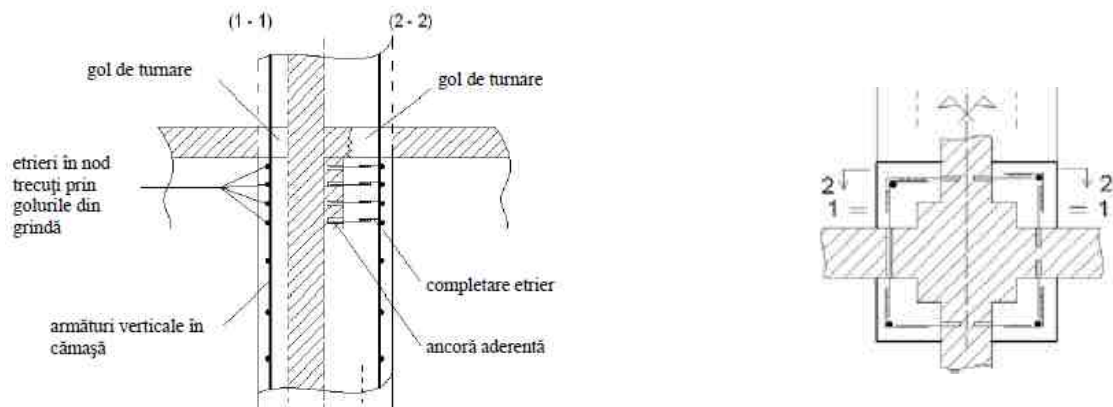


Fig. 4.2.1.4. Solutie camasuire nod (P100-3/2008)

2. Introducerea unor pereti structurali din beton armat

Introducerea unor elemente mai rigide si mai rezistente fata de cadrele rezistente determina o reducere a cerintelor de rezistenta si ductilitate in elementele neconsolidate ale cadrului si astfel se poate evita o interventie generalizata asupra majoritatii elementelor structurale. Daca nu influenteaza suficient elementele neconsolidate, se pot consolida prin camasuire, o parte din elementele existente.

Aceasta metoda de consolidare a cadrelor de beton armat determina modificari in repartizarea incarcarii laterale intre componentele structurii laterale. Peretii de beton armat vor prelua o parte din aceste incarcari, care trebuie apoi transmise la terenul de fundare. Astfel trebuie luate masuri de intarire a sistemului de fundatie existent. Structura consolidata poate avea influenta si asupra planseelor care trebuie verificate daca sunt capabile sa preia eforturile si, in caz contrar, vor fi consolidate.

Conlucrarea cadrelor existente cu peretii structurali de beton armat are o comportare specifica structurilor duale sau structurilor rigide cu pereti. Deplasarile relative de nivel scad considerabil si astfel se diminueaza riscul de degradare al elementelor structurale ale cadrelor, dar si al elementelor nestructurale.

Peretii introdusi pot atribui structurii proprietati de disipare a energiei.

Solutia de consolidare este eficienta si in cazul constructiilor cu parter flexibil sau slab din punct de vedere al rezistentei.

Peretii structurali pot fi amplasati la exteriorul sau la interiorul cladirii si pot fi perforati de goluri de usi si ferestre.

Amplasarea peretilor prezinta o serie de avantaje si dezavantaje , dupa cum urmeaza:

- Dispunerea peretilor la interior implica:
 - o intreruperea functionalitatii,
 - o modificarea compartimentarii interioare
 - o afectarea functiunilor existente
 - o inlocuirea partiala a instalatiilor existente, ceea ce sporeste costurile de executie

- Dispunerea peretilor la exterior implica:
 - o un acces mai simplu pentru executie si un cost mai mic
 - o afectarea functiunii cladirii pe durata executiei este minima
 - o interventia afecteaza finisajele si este expusa mediului
 - o modifica infatisarea fatadei-inchiderea sau reducerea unor goluri de ferestre
 - o peretii adosati fatadei se pot conecta usor la elementele cadrului marginal

Dispunerea peretilor structurali in plan si elevatie trebuie sa fie cat mai uniforma pentru a evita aparitia unor efecte semnificative de rasucire generala, pentru a limita eforturile in plansee si pentru a evita variatii bruste ale rigiditatii si rezistentei laterale a structurii pe inaltime.

Efectul introducerii peretilor este de a prelua partial eforturile din actiuni seismice si astfel cerinta de rezistenta a cadrelor va fi redusa pana la nivelul capacitatii efective a acestora. Peretii vor lucra la incovoiere cu deformatii plastice la baza peretelui, in armaturile verticale ale stalpilor existenti si in armaturile din elementele nou introduse. Daca se prevad goluri de usi si ferestre in pereti , zona de deasupra golului poate fi conceputa ca grinda de cuplare.

Solutii constructive (conform P100-3/2008):

- Realizarea unei inimi de beton armat prin umplerea totală sau parțială la interior a ochiului de cadru, ancorate adecvat de elementele cadrului;
- Realizarea unei inimi de beton armat adosate grinzii existente și conectarea la cămășuielile stâlpilor structurii
- Introducerea unor pereți, prevăzuți sau nu cu bulbi, în afara și la distanță de planurile cadrelor.
- Realizarea noilor pereți structurali din panouri prefabricate, conectate adecvat de elementele existente

La proiectarea si realizarea peretilor structurali din beton armat se vor respecta prevederile din „Cod de proiectare seismică — Partea a III-a Prevederi pentru evaluarea seismică a clădirilor existente, indicativ P 100-3/2008” precum si „Cod de proiectare pentru construcții cu pereți structurali de beton armat”, indicativ CR2-1-1.1:2006.

d. Metode moderne de punere in siguranta structurala

1. Camasuirea cu polimeri armati cu fibre (FRP)

Materialele din polimeri armati cu fibre au un potential ridicat in ceea ce priveste consolidarea si reabilitarea structurilor existente datorita rezistentei mari si aplicarii usoare.

Aceasta metoda de consolidare se utilizeaza pentru:

- sporirea rezistenței la forță tăietoare a stâlpilor, grinzilor și pereților, prin aplicarea FRP cu fibrele orientate perpendicular pe axul elementului (paralel cu armăturile de forță tăietoare)

- sporirea capacității de deformare în domeniul plastic (ductilitate) în zonele plastice potențiale (critice) ale elementelor structurale, cu fibrele orientate în lungul perimetrului secțiunilor transversale
- îmbunătățirea performanțelor înădărilor armăturilor prin creșterea confinării aplicate zonei de înădire, prin FRP cu fibrele orientate în lungul perimetrului.

Cămășile cu FRP trebuie astfel proiectate încât să nu se atingă rezistența materialului înainte de dezvoltarea deformațiilor plastice de încovoiere ale elementului de beton armat.

v Camasuirea cu FRP a stălpilor

Camasuirea stălpilor cu FRP se realizează pe întreg perimetrul stălpului după pregătirea în prealabil a suprafețelor laterale ale acestuia. Fibrele se dispun perpendicular pe axul longitudinal al stălpului și se suprapun pe o lungime suficientă pentru evitarea cedării camășii în zonele de îmbinare. Aceste zone de îmbinare se dispun alternativ pe cele patru fețe ale stălpului.

Adezivii utilizați la lipirea foilor de FRP pe suprafața de beton trebuie să aibă o rezistență suficientă care să asigure aderența dintre fibre și stălp.

Camasa va fi protejată împotriva focului și a acțiunilor mecanice prin tencuire, placare sau vopsire.

În cazul în care stălpul este adiacent unui parapet sau perete nestructural, se va realiza un rost între elemente pentru a putea fi posibilă camasuirea pe întreaga înălțime a stălpului.

v Camasuirea cu FRP a grinzilor

Camasuirea grinzilor cu FRP poate fi camasuire continuă în cazul grinzilor independente sau la distanțe finite în cazul grinzilor de planșeu. Aplicarea se va face astfel încât direcția fibrelor să fie orientată pe direcția forței tăietoare.

În cazul grinzilor de planșeu se execută goluri în placă, prin care se trec benzile și se fixează în betonul plăcii prin ancore specifice sau se vor petrece pe lungimi de suprapunere suficiente conform P 100-3/2008.

2. Izolatoare seismice de bază

Principiul fundamental al izolării bazei este acela de a modifica răspunsul clădirii în așa fel încât terenul să se miste sub clădire fără a transmite mișcarea acesteia. Sistemul ideal ar consta într-o separație totală dar, în realitate, este necesar să existe câteva zone de contact între structură și teren. Astfel, se poate implementa un anumit control structural prin amplasarea unor dispozitive speciale care permit decuplarea suprastructurii de fundații.

Amplasarea izolatoarelor seismice duce la o marire a flexibilității bazei în plan orizontal, în scopul creșterii perioadei de vibrație, astfel încât accelerația transmisă structurii să fie considerabil redusă.

Izolarea seismică se poate atinge cu sau fără amortizare aditională. În cazul în care izolatoarele sunt fără amortizare aditională, cum ar fi cazul dispozitivelor elastomere sau glisante, acestea pot fi folosite cu scopul creșterii deformabilității urmata de o reducere corespunzătoare a acțiunii seismice asupra structurii. Când se considera amortizare

suplimentara, dispozitivele cu amortizare ridicata sunt folosite pentru a disipa o parte din energia de intrare cu scopul reducerii amplitudinii deplasarilor sub miscarea seismica.

Avantaje:

- Controlul preformantei seismice a constructiei cu un grad inalt de incredere
- Obtinerea unui nivel de performanta (siguranta) superior
- Reducerea cerintelor seismice ale structurii (forte si deplasari relative de nivel)
- Reducerea cerintelor seismice ale componentelor nestructurale si ale elementelor adapostite in cladirile de toate tipurile

Dezavantaje:

- cost ridicat comparativ cu celelalte metode de consolidare
- complexitatea interventiei:
 - β sprijinirea adecvata a constructiei existente
 - β taierea stalpilor sau peretilor la baza
 - β executarea unor fundatii noi
 - β executarea unei structuri orizontale de transfer deasupra izolatorilor
 - β instalarea izolatorilor
 - β transferarea incarcarii verticale la izolatori fara deplasari care sa degradeze structura
- in cazul structurilor flexibile solutia necesita introducerea de amortizori si disipatori suplimentari
- in urma izolarii bazei, cerintele seismice pot depasi capacitatea unor elemente ale structurii de rezistenta fiind necesara consolidarea elementelor structurii
- necesitatea unui spatiu perimetral pentru executia excavarii
- distanta fata de cladirile existente deoarece deplasările laterale se consuma in principal la nivelul planului de izolare
- existenta subsolului - montarea izolatorului necesita un anumit spatiu
- accesul pentru executia si intretinerea izolatorilor

Clasificare:

- i. Dispozitive elastomere:
 - Reazeme de cauciuc natural sau neopren [NRB]
 - Reazeme de cauciuc cu amortizare ridicata [HDRB]
 - Reazeme de cauciuc cu miez de plumb [LRB]
 - Reazeme de cauciuc cu amortizare aditionala [ADRB]
 - Reazeme de cauciuc armate cu fibre[FRRB]
- ii. Dispozitive glisante (cu frecare)

- Reazeme glisante plate
 - Reazeme glisante curbate, de tip pendul [FPS]
- iii. Dispozitive elasto-plastice
- Reazeme elasto-plastice

Dispozitive elastomere

- *Reazeme de cauciuc natural sau neopren [NRB- Natural Rubber Bearings]*

Sunt reazeme realizate pentru industria constructiilor, la fabricarea carora se pot folosi compusi din cauciuc natural sau neopren. Reazemele din cauciuc laminat reprezinta cea mai simpla metoda de izolare putand fi utilizate in cazul miscarilor seismice cu frecvente ridicate.

- *Reazeme de cauciuc cu amortizare ridicata [HDRB-High Damping Rubber Bearings]*

Reazemele sunt realizate prin unirea unor fasii de neopren de placi din otel tratate cu teflon. Legatura dintre cele doua materiale se realizeaza prin vulcanizare. Astfel se combina capacitatile de deformare ale neoprenului cu capacitatea de amortizare a otelului, realizandu-se un sistem de izolare performant.

- *Reazeme de cauciuc cu miez de plumb [LRB- Lead Rubber Bearings]*

Reazemele din cauciuc laminat cu miez de plumb, pe langa capacitatea de deplasare ceruta de un izolator seismic, se mai adauga si capacitatea de disipare histeretica a energiei, datorita miezului de plumb. Astfel amortizarea necesara sistemului de izolare poate fi incorporata intr-o singura componenta compacta.

Avantaje dispozitive elastomerice:

- Eficacitate mare in reducerea atat a raspunsului cat si a degradarilor atunci cand este utilizat corect (in cazul cladirilor rigide si pe teren tare)
- Capacitate de deformare orizontala cu capacitate de incarcare pe verticala mare, mai ales in cazul HDRB;
- Amortizare vascoasa in cazul ADRB
- Costuri si greutate redusa in cazul FRRB

Dezavantaje dispozitive elastomerice:

- Probleme de stabilitate atunci cand u loc deplasari orizontale mari
- Probleme din cauza fenomenului de imbatranire in cazul unor tipuri de materiale elastomere
- Un exces de deformatie pentru stadiul de lucru limita

Dispozitive glisante (cu frecare)

- *Reazeme de tipul pendul cu frecare [FPS- Friction Pendulum System]*

Sistemul izolator combina actiune de lunecare cu forta de revenire datorata geometriei. Aceasta consta dintr-o articulatie glisanta peste care este asezata o suprafata concava din otel inoxidabil.

Fata articulatiei glisante care este in contact cu suprafata sferica este captusita cu un material compozit cu un coeficient de frecare mic. Reazemele sunt inchise si sigilate cu suprafata glisanta asezata in jos pentru a se evita contaminarea acesteia.

Reazemul actioneaza ca o siguranta, activata numai in cazul in care forta taietoare care apare pe suprafata glisanta este mai mare decat forta de frecare statica.

Odata aflata in miscare, articulatia glisanta se misca pe suprafata sferica, rezultand o ridicare a masei , miscare asemanandu-se cu cea a unui pendul. Miscarea cinematica si modul de operare al reazemului este identic, indiferent daca suprafata este pozitionata cu fata in jos sau in sus.

Avantaje dispozitive glisante:

- iv. Reducerea deplasarilor in stadiul de lucru limita datorata frecarii
- v. Curba histeretica e stabila
- vi. Capacitatea de revenire in cazul FPS
- vii. Costuri scazute de fabricatie

Dezavantaje dispozitive glisante

- i. Probleme in definirea coeficientului de frecare datorata sensibilitatii la coroziune
- ii. Sensibilitate ridicata la incarcările de compresiune pe suprafetele de glisare
- iii. Degradarea suprafetelor de glisare dupa cateva cicluri de incarcare

Dispozitive elasto-plastice

- *Reazeme elasto-plastice*

Acest tip de reazem utilizeaza proprietatile de deformare plastica a metalelor puternic disipative pentru obtinerea efectului de izolare, precum si pentru a atinge amortizarea dorita

Avantaje dispozitive glisante:

- Curba histeretica stabila
- Stabilitate si durabilitate ridicata
- Costuri reduse de fabricare, instalare si intretinere
- Valori mari ale energiei disipate

Dezavantaje dispozitive glisante

- Proprietatile de ductilitate influentate de geometria reazemului
- Comparativ, capacitate scazuta la forte verticale

3. Dispozitive de amortizare cu masa acordata (TMD)

Un amortizor cu masa acordata [TMD – Tuned Mass Damper] este un dispozitiv compus dintr-o masa, un resort si un amortizor atasate unei structuri cu rolul de a-i reduce raspunsul dinamic. Frecventa amortizorului este acordata la o anumita frecventa a structurii in asa fel incat atunci cand este excitat, amortizorul va vibra defazat cu miscarea structurii. Energia este disipata de forta de inertie a amortizorului care actioneaza asupra structurii.

Controlul vibratiilor cu ajutorul amortizorilor cu masa acordata poate fi pasiv, activ, semi-activ sau hibrid in functie de existenta sau inexistenta unui dispozitiv de control activ conectat la masa acordata sau in functie de strategiile de control ce sunt adoptate pentru dispozitiv.

Dispozitivul se caracterizeaza prin masa, rigiditate si amortizare. Masa si rigiditatea amortizorului cu masa acordata sunt alese in asa fel incat sa apropie frecventa proprie a dispozitivului de frecventa de rezonanta a structurii ce trebuie amortizata.

TMD-urile sunt adaptate pentru utilizarea in cadrul structurilor flexibile actionate de fenomene exterioare caracterizate prin frecvente disturbatoare care sa excite frecventa proprie a acestora. Cele mai potrivite excitatii asupra structurilor sunt cele de tip armonic precum incarcarea cu vant asupra cladirilor inalte, incarcarile utile pentru podurile pietonale.

Pentru excitatii aleatoare cum este miscarea seismica se pot dipune dispozitive de amortizare cu masa acordata de tip multiplu, activ, semi-activ sau hibrid. Este problematica utilizarea in cazul cutremurelor a TMD-urilor active sau semi-active datorita dependentei de o sursa de curent.

In cazul unui *amortizor cu masa acordata de translatie*, masa aditionala este asezata pe reazeme cu functia de role, permitand acesteia sa aiba o miscare de translatie relativa fata de planseu. Resoartele si amortizorii se introduc intre masa si elementele verticale adiacente care transmit forta laterala planseului, si apoi intregului sistem structural.

Amortizorul cu masa acordata bidirectional este realizat cu resoarte si amortizori dispuse pe doua directii ortogonale, ceea ce ii confera capacitatea de a controla miscarea structurii pe doua planuri ortogonale.

Eficacitatea unui TMD se poate mari prin atasarea unei mase auxiliare si a unui mecanism de actionare pentru ca raspunsul acesteia sa fie defazat fata de raspunsul masei acordate. Efectul urmarit de actionarea masei aditionale este de a produce o forta aditionala care completeaza forta generata de masa acordata , prin urmare rezultand o crestere a amortizarii pentru TMD.

Amortizorul cu masa acordata semiactiv (STMD) se poate realiza inlocuind dispozitivul de amortizare pasiva cu un dispozitiv cu amortizare ajustabila, cum ar fi un orificiu variabil, un amortizor hidraulic sau un dispozitiv folosind fluid magneto-reologic.

Sistemele de control hibrid (HTMD) se realizeaza prin asamblarea in serie a amortizorilor activi si pasivi. Masa dispozitivului ATMD este actionata de un acuator in directia opusa deplasarii TMD-ului, marind efectul amortizarii.

Problema asociata reazemelor sistemului de amortizare se poate elimina prin agatarea masei prin intermediul cablurilor, ceea ce permite sistemului sa aiba o comportare de pendul. Miscarea planseului excita pendulul, iar miscarea relativa a pendulului produce o forta orizontala care se opune miscarii planseului.

Avantaje:

- mecanism relativ simplu si usor de realizat,
- fiabilitate crescuta datorita de simplitatea mecanismului,
- reduce amplitudinile deplasarilor, acceleratiilor de nivel si ale eforturilor cu 20%-50%,
- creste amortizarea oscilatiilor sistemului structural,
- reduce incursiunile in domeniul plastic ale elementelor de constructie,
- ofera avantaje chiar daca structura depaseste domeniul elastic de comportare.

Dezavantaje:

- incarca local elementele structurii cu forte gravitationale importante,
- sistemul de prindere de structura trebuie gandit astfel incat sa distribuie incarcarea la cat mai multe elemente,
- daca modurile proprii de vibratie de translatie pe cele doua directii principale difera mult (ca masa participante si/sau perioada), acestea nu pot fi controlate simultan cu acelasi pendul

4. Amortizori

Amortizorii sunt dispozitive care prin absorbția și disiparea unei părți semnificative din energia seismică indusă în structură, limitează eforturile ce revin elementelor structurale.

Tipuri de amortizoare

- Amortizori histeretici
- Amortizori cu frecare
- Amortizori vascosi

a. Amortizori histeretici

Comportarea histeretica a dispozitivelor cu materiale ductile (dispozitive elasto-plastice) este rezultatul capacității de deformare a materialului constituent;

Dispozitivul de disipare absoarbe energia seismică utilizând proprietățile de deformare plastică a metalelor puternic disipative precum oțelul, plumbul și câteva aliaje speciale;

Dispozitivele histeretice pot fi folosite atât în controlul pasiv, cât și cel semiactiv al sistemelor structurale.

Avantaje:

- Stabilitate și durabilitate ridicată;
- Cicluri stabile pentru curba histeretică;
- Sensibilitate limitată la schimbările condițiilor mediului înconjurător;

- Controlul incarcarii maxime transferate structurii ca urmare a unei consolidari scazute;
- Capacitate mare de disipare de energie pentru deplasari relativ mici
- Usurinta inlocuirii elementelor
- Comportare multi-directionala

Dezavantaje:

- In cazul sudurilor, acestea au o comportare casanta;
- Ductilitatea dispozitivului este influentata puternic de forma acestuia

Dispozitivele pot fi folosite atât la clădiri cât și la poduri, dovedindu-se foarte eficiente în cazul consolidărilor și restaurărilor clădirilor istorice. In cazul structurilor in cadre acestea indeplinesc urmatoarele roluri : reducerea răspunsului structural sub încărcări seismice, reducerea deplasărilor relative de nivel, reducerea degradării elementelor structurale ca urmare a disipării energiei.

b. Amortizori cu frecare

Dispozitivul cu frecare disipa o mare cantitate de energie prin frecarea dintre doua suprafete glisante.

Introducerea amortizării suplimentare, cu care este înzestrat amortizorul cu frecare, reduce forțele laterale de inerție si amplitudinea vibrațiilor.

Aceste dispozitive sunt folosite atât in cazul controlului structural pasiv, cat si cel semi-activ.

În cazul amortizării interioare a structurii, deplasările sunt datorate deplasărilor relative de nivel, aplicate amortizorilor cu frecare. Aceasta necesita ca amortizorul sa facă legătura între doua nivele consecutive, conexiunea realizându-se prin intermediul unor elemente structurale cum ar fi diagonale sau panouri de perete cu rigiditate finita, legătura dintre acestea fiind făcuta in serie cu amortizorului.

Amortizorii cu frecare sunt proiectați ca sa nu lucreze sub acțiunea încărcărilor de serviciu sau a celor datorate vântului. In schimb, in timpul unui seism major, aceștia se activează (la o valoare optima a încărcării, înainte ca alte elemente structurale sa prezinte incursiuni in domeniul plastic) și disipa o mare cantitate din energia seismică.

c. Amortizori vascosi

Amortizorul vascos, consta intr-un cilindru inchis ce contine un fluid vascos. Fluidul poate fi silicon, ulei sau alt fluid cu vascozitate controlabila. Un brat al pistonului este conectat la un element cu orificii. Prin fortarea fluidului prin gaurile capului de piston se creeaza o presiune rezultand o forta de amortizare, disipandu-se in acest fel de energie.

Datorita faptului ca forta de amortizare variaza numai cu viteza de incarcare, amortizorul vascos poate fi clasificat ca un dispozitiv disipator de energie dependent de viteza. In general, amortizorii vascosi sunt utilizati ca sisteme de control pasiv, dar prin controlul asupra dimensiunilor orificiilor sau a vascozitatii fluidului ei pot fi utilizati si in cadrul sistemelor de control semi-active.

Amortizorii vascosi reprezinta o alternativa la plastificarea sau cedarea unor elemente structurale, ca o cale de a absorbi energia seismica. Acestia pot disipa aproape intreaga energie seismica, lasand structura intacta si gata pentru utilizare imediat dupa eveniment

Avantaje:

- curba histeretica stabila
- functiunea de transmitere a socurilor
- stabilitate si durabilitate ridicata
- usor de implementat;
- sensibilitate limitata la schimbarea conditiilor de mediu.

Dezavantaje:

- necesitatea de a se produce deplasari mari pentru o comportare optima
- fenomenul de uzura si imbatranire a fluidului
- necesitatea existentei unei forte de revenire

In cazul cladirilor in cadre aceste dispozitive au rolul de : reducere a raspunsului structural sub actiunea seismica, reducere a deplasarilor relative de nivel, reducere a degradarilor la elementele structurale ca urmare a disiparii de energie.