

PARTEA A II-A.

Erori care pot afecta fiabilitatea anvelopei clădirilor

Motto:

Există nenumărate cauze pot
provoca prăbușirea unei clădiri.
NU EXISTĂ NICI O SCUZĂ DACĂ
S-A ȘI PRĂBUȘIT...
(după R.Kipling)

II.1. În loc de introducere

Cedările structurilor clădirilor nu sunt numai simple accidente sau acțiuni ale lui Dumnezeu. Ele sunt rezultatele greșelii umane care provine din neatenție, din neglijență, din necunoaștere sau din lăcomie.

Odată cu progresele în sofisticarea proiectării și procedeele tehnologice apare și proliferarea cedărilor structurale.

Economia inițială la costurile de proiectare și de execuție are adesea ca efect costuri ulterioare mai mari pentru reparații sau soluționarea litigiilor

Clădirile vulnerabile ale secolului 20 vor furniza pâinea și untul pentru inginerii experți judiciari din secolul 21.

Ratay, R.T. (Editor –in –Chief)
Forensic Structural Engineering
Handbook, McGraw- Hill 2000

II.1.1.Motivarea

Condiția principală a siguranței clădirilor **arhitecturii zonelor seismice** se referă la *eliminarea alcătuirilor arhitectural - structurale și a detaliilor constructive care s-*

au aflat la originea unor accidente structurale grave la cutremurele trecute. Din acest motiv, atât în timpul formării profesionale a arhitecților și inginerilor constructori, cât și pe tot parcursul activității lor, aceștia trebuie să fie informați asupra progreselor obținute în cunoașterea comportării la cutremur a clădirilor realizate cu diferite tipuri de alcătuiți și de materiale. Cele mai prețioase informații sunt furnizate de **marele laborator natural** care este **cutremurul**.

În fapt, cutremurul scoate la iveală toate slăbiciunile / compromisurile profesionale ale proiectanților, executanților și producătorilor de materiale de construcție dar și neglijența, superficialitatea sau dorința de câștig a investitorilor.

Evitarea greșelilor este facilitată și de cunoașterea în profunzime a spiritului și literei reglementărilor tehnice. Reglementările tehnice evoluează continuu, ca urmare a progreselor realizate în cercetarea teoretică și aplicativă dar și ca urmare a verificării în practică a comportării clădirilor, mai ales la acțiunea cutremurului dar și a clădirilor realizate cu materiale sau tehnologii noi / neconvenționale.

Unele dintre erorile sau soluțiile corecte prezentate în continuare sunt exemple de evitat sau, după caz, de urmat, în proiectele care vor fi întocmite de inginerii din România sau, de ce nu, de inginerii străini care, în multe cazuri, nu sunt deloc familiarizați cu proiectarea în zone seismice. Reducerea numărului greșelilor și, în consecință, a urmărilor acestora, va avea ca rezultat prelungirea duratei de viață a clădirilor și reducerea costurilor de întreținere și de reparații.

II.1.2. Definiții

II.1.2.1. Anvelopa și componentele sale

Conform definițiilor curente, **clădirea** este

*Construcție **închisă**, cu una sau mai multe încăperi, dotată cu instalații și echipamente și destinată desfășurării sau servirii unei anumite activități umane.*

Închiderea (sau delimitarea exterioară) se realizează prin părțile de construcție care se află în contact cu mediul înconjurător (natural sau construit).

Părțile clădirii prin care se realizează închiderea, denumite și **anvelopa** clădirii, sunt:

- fațadele (pereții exteriori) - prin care se realizează închiderea laterală (de regulă, verticală);
- acoperișul - prin care se realizează închiderea la partea superioară (de regulă, orizontală).

Elementele de închidere pot fi **structurale** sau **nestructurale**.

II.1.2.2. Fiabilitatea anvelopei

Componentele anvelopei sunt cele care preiau nemijlocit acțiunile diferiților agenți din mediul natural (vântul, zăpada, cutremurul, temperatura și variațiile acesteia, agenții fizico-chimici agresivi).

În aceste condiții este necesar ca anvelopa în ansamblu, și fiecare componentă în parte, să răspundă cerințelor de **fiabilitate** care se definesc astfel:

- siguranță structurală:

capacitatea construcției în ansamblu și a părților sale

componente de a rezista tuturor acțiunilor mecanice, ca și unor evenimente accidentale specificate, susceptibile de a se manifesta în timpul execuției și exploatării sale.

- aptitudine pentru exploatare:

capacitatea construcției în ansamblu și a părților sale componente de a se comporta adecvat în condiții de utilizare normală.

- durabilitate:

capacitatea construcției în ansamblu și a părților sale componente de a păstra, în timp, o comportare adecvată.

În mod concret, prin cerința de **fiabilitate structurală**, utilizatorul și/sau investitorul are ca obiectiv asigurarea și menținerea în timp, a **integrității fizice** a construcției. Prin cerințele de siguranță structurală și aptitudine pentru exploatare, utilizatorul și/sau investitorul exprimă obiectivul ca acțiunile susceptibile de a se exercita asupra construcției, cu o probabilitate rezonabilă, în timpul execuției și pe durata exploatării, să nu aibă ca efect producerea unuia dintre următoarele evenimente:

- prăbușirea totală sau parțială a clădirii;
- deformații a căror mărime este inacceptabilă pentru exploatarea normală a clădirii;
- avarierea unor părți ale clădirii, ale instalațiilor sau ale echipamentelor, rezultată ca urmare a deformațiilor excesive ale elementelor portante;
- avarii care ar putea rezulta din evenimente accidentale, de amploare disproporționată în raport cu cauza lor inițială.

Deoarece factorii care intervin în estimarea fiabilității, adică:

- acțiunile agenților mecanici;
- proprietățile materialelor;
- comportarea elementelor de construcție, de la solicitarea "zero" până la rupere;
- comportarea construcției în ansamblu (structura și elemente nestructurale).

au caracter **aleator** (variabil, în sens statistic, pe mulțimea respectivă de elemente), atât valorile funcțiilor de stare limită cât și valorile performanțelor așteptate, trebuie înțelese în sens statistic, adică asociate cu o anumită probabilitate de a se realiza.

Prin urmare, **noțiunea de fiabilitate structurală nu poate avea un caracter absolut** (nu există **fiabilitate "certă"**!).

Cu alte cuvinte, pentru orice construcție există, cu o probabilitate mai mică sau mai mare, posibilitatea producerii unor **avarii** prin atingerea sau depășirea unora dintre stările limită, pe timpul duratei de exploatare prevăzută în proiect.

Din aceste motive, *fiabilitatea structurală trebuie evaluată, prin probabilitatea ca, pe toată durata de exploatare, răspunsul structural așteptat, al elementului sau al construcției în întregime, pentru toate situațiile de proiectare (grupările de încărcări), să rămână mai mic decât capacitatea respectivă (exprimată prin funcția de stare limită corespunzătoare).*

Această cerință trebuie să fie satisfăcută în corelație cu cerința de **"economie"** care se referă la:

- *reducerea, în raport cu beneficiile estimate, a nivelului costurilor probabile legate de toate etapele din existența construcției.*

Pentru stabilirea rațională a nivelului de fiabilitate structurală trebuie să țină seama de costul total probabil al clădirii pe întreaga durată de exploatare prevăzută prin tema de proiectare.

Principalele costuri care trebuie avute în vedere sunt:

- costurile concepției, execuției și exploatării;
- costurile rezultate în cazurile de imposibilitate de utilizare;
- costurile asociate riscurilor și consecințelor unei diminuări a performanțelor clădirii în timpul duratei de exploatare și costul asigurării corespunzătoare acestor riscuri;
- costurile renovărilor parțiale propuse;
- costurile inspecțiilor, întreținerii și reparațiilor curente și capitale;
- costul demolării și reciclării materialelor;
- costul măsurilor de protecție a mediului.

Notă. Aceste costuri se iau în considerare și pentru stabilirea "*duratei de exploatare rațională din punct de vedere economic*". Durata de exploatare rațională din punct de vedere economic a unei construcții poate fi stabilită diferențiat (mai mică), în funcție de costurile respective, pentru diferitele elemente și părți de construcție față de cea adoptată pentru ansamblul construcției.

II.1.2.3. Condiții tehnice pentru asigurarea fiabilității anvelopei

În condiții normale, proiectarea și execuția clădirilor pentru satisfacerea cerinței de fiabilitate structurală trebuie să se

realizeze astfel încât să fie satisfăcute cerințele generale ale standardului **SR EN 1990**, citate în continuare:

- alegerea sistemului structural și proiectarea structurii se efectuează de personal cu calificare și experiență adecvată;
- execuția se efectuează de un personal care are calificare și experiență adecvată;
- se asigură supravegherea și controlul calității adecvate în timpul execuției lucrării, de exemplu în unități de proiectare, fabrici, uzine și pe șantier;
- materialele și produsele de construcții sunt utilizate conform specificațiilor din standardul **SR EN 1990**, din standardele **SR EN 1991** ÷ **SR EN 1999**, din standarde de execuție corespunzătoare sau din alte specificații citate ca referințe pentru materiale și produse;
- structura beneficiază de întreținere adecvată;
- structura se utilizează în conformitate cu ipotezele utilizate la proiectare.

Aceste cerințe au ca scop eliminarea sau, cel puțin, minimizarea principalelor surse de erori de pe întreg lanțul activităților de construcție.

II.1.2.4. Categoriile de erori care pot afecta fiabilitatea anvelopei

Abaterile de la cerințele exprimate în paragraful anterior, se definesc ca **erori de proiectare/execuție/exploatare** și pot afecta toate cele trei componente ale fiabilității.

În detaliu, erorile care intervin în cursul procesului de construcție (proiectare/execuție/exploatare), putând afecta cerința de **fiabilitate structurală**, se grupează astfel:

Erori de proiectare:

- Erori de modelare pentru calcul:
 - modelare neconformă cu alcătuirea efectivă a clădirii și cu natura solicitărilor;
 - modele incomplete / care omit factori esențiali pentru descrierea comportării reale a clădirii.
- Erori de metodă de calcul:
 - metodă inadecvată pentru alcătuirea și/sau materialele clădirii;
 - metodă incompletă și/sau simplificări inacceptabile și/sau inoportune:
 - date de intrare incomplete și/sau insuficiente și/sau eronate;
 - erori grosolane de calcul.
- Erori de alcătuire de ansamblu:
 - alcătuire nefavorabilă pentru condițiile specifice de solicitare (alcătuire nefavorabilă pentru condiții seismice sau eoliene sau de variație a temperaturii);
 - lipsă de robustețe și/sau neglijarea riscului de colaps progresiv
- Erori de detaliere constructivă:
 - alegerea și/sau specificarea necorespunzătoare și/sau incompletă a materialelor și/sau tehnologiilor de execuție;

- detalii inadecvate pentru condițiile specifice expunere la mediul natural/de exploatare.

Statisticile efectuate în USA [III.27] arată că în medie la trei săptămâni se produce căderea unei fațade de zidărie. În ultima decadă a secolului XX s-au produs în USA cel puțin 49 astfel de accidente în care au murit 30 de oameni și au fost răniți alți 81. Aceste prăbușiri s-au produs în condiții “normale” de solicitare.

Dintre sutele de expertize întocmite de autorul cap.13 din [III.27] s-a constatat că în circa 50% din cazuri prăbușirea s-a produs din cauza greselilor/omisiunilor din proiect, în circa 25% din cazuri din cauza greșelilor/omisiunilor de execuție iar din cauza folosirii unor materiale necorespunzătoare în circa 15% din cazuri. În 10% din cazuri prăbușirea s-a datorat faptului că utilizatorul nu a realizat măsurile corespunzătoare de întreținere.

O altă statistică a cauzelor accidentelor în construcții, ca urmare a nerealizării cerinței de siguranță structurală, datorită **erorilor de proiectare** arată astfel [III.29]:

1. Pregătire profesională necorespunzătoare.....36%
2. Subestimarea la proiectare a unor factori16%
3. Neglijențe de proiectare.....14%
4. Omisiuni în proiecte, alte erori.....13%
5. Preluarea unor soluții fără verificare9%
6. Alte cauze12%

Erori de execuție:

- Abateri de la prevederile proiectului: detalii și/sau specificații tehnice

- Înlocuirea necontrolată/fără acordul proiectantului a materialelor prevăzute în proiect
- Nerespectarea regulilor de bună practică și/sau tehnologice

Erori de exploatare:

- Exploatare în condiții mai severe decât cele din proiect
- Lipsa monitorizării comportării în exploatare
- Lipsa lucrărilor de întreținere și/ sau reparații curente și/sau capitale

Câteva date statistice [11.22]:

- Statistica pe 800 de clădiri avariate în Europa
 - 52% la clădiri civile și 22 % la clădiri industriale
 - 63% cedări structurale (ULS) și 37% deformații și fisurare peste limitele admise (SLS).
- Cauze
 - 36% din erorile de proiectare și 54% din erorile de execuție au provenit din cunostințe insuficiente
 - 63% din avarii s-au datorat încălcării regulilor generale de execuție și de exploatare și 16% s-au datorat nerespectării prescripțiilor specifice.
- Efectul verificărilor și al controlului pentru evitarea erorilor grosolane:
 - 52% din erori au fost depistate pe durata execuției, 45% în timpul exploatării și 3% după demolare;

- 55% din erori pot fi descoperite prin control suplimentar, 32% fără un astfel de control și 13% nu au fost identificate prin control.

II.1.2.5. Efectele erorilor

Toate categoriile de erori identificate mai sus pot avea drept consecință imediată, sau pe termen mai lung, atingerea și/sau depășirea stărilor limită conducând astfel la **degradarea fizică** a elementelor de construcție și, eventual, a construcției în întregime.

Starea de degradare fizică se materializează prin **avariere** (așa cum se știe, cerința de fiabilitate structurală poate fi formulată și ca "**menținerea integrității fizice**" ↔ **lipsa avariilor**).

În particular, avarierea elementelor componente și/sau subansamblurilor **anvelopei** unei clădiri poate proveni din una sau mai multe dintre următoarele cauze:

- solicitări efective mai mari decât cele așteptate (cele luate în calcul la proiectare);
- rezistențe efective ale materialelor mai mici decât cele luate în calcul (cele garantate de producătorul de materiale de construcție);
- degradarea, în timp, a proprietăților fizico-mecanice ale materialelor (coroziunea oțelului, carbonatarea betonului, putrezirea lemnului);
- exploatarea construcției în condiții improprii, mai severe decât cele prevăzute la elaborarea proiectului;
- lipsa lucrărilor de întreținere și de reparații curente.

Avariile suferite de anvelopa unei clădiri sau de unele elemente sau părți ale acesteia, ca urmare a depășirii stărilor limită asociate cerinței de rezistență și stabilitate, pot fi clasificate

după cum urmează:

- **dezordini locale:**
 - deformații excesive;
 - degradarea minoră a elementelor nestructurale și a finisajelor;
 - fisurarea elementelor structurale din beton sau din zidărie.
- **avarii locale:**
 - depășirea stării limită ultime pentru unul sau mai multe elemente structurale sau nestructurale ale anvelopei, fără a fi afectată integritatea ansamblului.
- **avarii generalizate:**
 - depășirea stării limită ultime pentru un număr mare de elemente componente ale anvelopei ceea ce ar putea antrena prăbușirea parțială sau totală a acesteia sau chiar a clădirii (în special în cazul fațadelor structurale).

Avariile anvelopei se pot manifesta și prin modificarea aspectului exterior al acesteia (în condițiile în care siguranța structurală nu este afectată):

- modificarea culorii sau nuanțelor inițiale/prevăzute în proiect,
- degradarea locală a unor subansambluri nestructurale cu consecințe care se referă la una sau mai mult dintre cerințele esențiale (pierderea etanșeității la apă și aer, de exemplu).

II.2. Răspunderile proiectanților de structuri pentru avariile cauzate de erori de proiectare

În cazul în care măsurile prevăzute în proiect și condițiile de execuție nu asigură satisfacerea cerințelor menționate mai sus pot rezulta deteriorări și/sau avarii cu consecințe dintre cele mai grave.

Autorii erorilor, din toate categoriile menționate mai sus, care pot avea drept consecință deteriorări și/sau avarii care ar putea ieși la iveală pe parcursul exploatării clădirii sunt supuși consecințelor legale după cum urmează:

- Legea nr 10/1995: Lege privind calitatea in construcții

⇒ Art. 28. Proiectantul și verificatorul de proiecte....

.....răspund pentru viciile ascunse apărute în 10 ani de la recepția lucrării și, după împlinirea acestui termen, *pe toată durata de existență a construcției pentru viciile **structurii de rezistență rezultate din nerespectarea normelor de proiectare**.....*

⇒ Art. 31: Constituie infracțiune și se pedepsește cu închisoare de la 5 la 10 de ani și interzicerea unor drepturi, proiectarea, verificarea, expertizarea,fără respectarea reglementărilor tehnice privind stabilitatea și rezistența dacă s-ar putea produce una sau mai multe din următoarele consecințe: pierderi de vieți omenești, vătămare corporală gravă, distrugerea totală sau parțială a construcției, ...ori alte consecințe deosebit de grave.

Fapta prevăzută mai sus se pedepsește cu închisoare de la 10 la 20 de ani și interzicerea unor drepturi, dacă s-au produs una sau mai multe din următoarele consecințe: pierderi de vieți omenești, vătămare corporală gravă,

distrugerea totală sau parțială a construcției, ...ori alte consecințe grave

Impunerea respectării reglementărilor tehnice de construcție, cu precădere în țările cu regim seismic sever este o preocupare mai veche, aplicată mai ales imediat după producerea unui cutremur sever. Amintim astfel că în Portugalia, după cutremurul devastator din 1755, marchizul de Pombal, însărcinat de rege cu reconstrucția Lisabonei, a emis un ordin conform căruia **orice construcție care nu respecta reglementările în vigoare era imediat demolată.**

II.3. Erori de proiectare arhitecturală a fațadelor

Abaterile de la prevederile reglementărilor tehnice și de la regulile de bună execuție pot avea consecințe foarte variate, care să afecteze satisfacerea tuturor celor șase **cerințe esențiale** stabilite prin Legea privind calitatea în construcții (Legea nr.10/1995 cu modificările ulterioare):

- *siguranța structurală* (denumită uneori, convențional, "rezistență și stabilitate");
- *siguranța în exploatare*;
- *siguranța la incendiu*;
- *protecția termică și economia de energie*;
- *protecția contra zgomotului*;
- *protecția sănătății și a mediului înconjurător.*

Notă. Cerințele esențiale sunt definite prin "*Directiva Comunității Economice Europene referitoare la produsele de construcții*" (1988) și sunt explicitate în "*Documentele interpretative*" (1993) corespunzătoare.

Implicit, se formulează și cerința de "**durabilitate**", ceea ce înseamnă că satisfacerea cerințelor utilizatorilor (cele esențiale

și, eventual, altele) trebuie asigurată pe întreaga durată de exploatare prevăzută prin tema de proiectare, dacă sunt respectate condițiile de exploatare și de întreținere stabilite prin proiect.

II.3.1. Tratarea necorespunzătoare a rosturilor dintre tronsoanele adiacente.

Rosturile dintre tronsoanele adiacente trebuie să permită deplasările relative libere ale acestora sub efectul variațiilor de temperatură sau al mișcării impuse de cutremur (sau uneori chiar de vânt). Pentru aceasta rosturile trebuie să fie plane iar spațiile libere dintre tronsoane trebuie să aibă lățimea corespunzătoare (rezultată din calculele de specialitate). Rosturile se închid cu dispozitive speciale care permit deplasările libere și asigură și etanșarea împotriva pătrunderii umidității sau a aerului. În absența acestor măsuri tronsoanele adiacente se ciocnesc și astfel de produc degradări cu diferite grade de severitate la elementelor de închidere sau numai ale finisajelor fațadei.

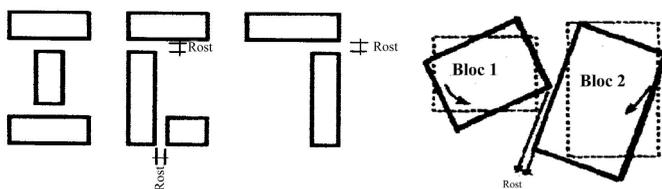


Figura II.1. Poziționarea rosturilor între tronsoane [II.24]



Figura II.2. Spargerea placajului de marmură prin ciocnirea tronsoanelor la rost [II.17]

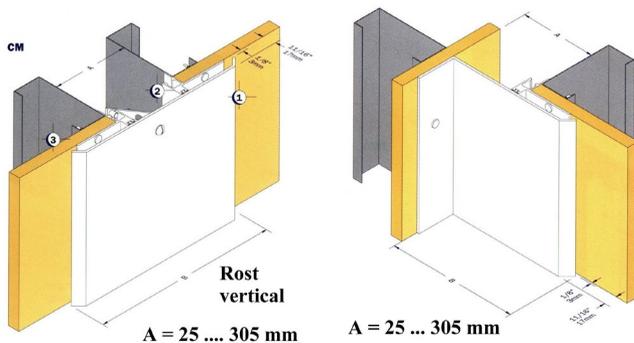


Figura II.3. Dispozitive pentru acoperirea rosturilor produse de firma BALCO (USA)

Închiderea rosturilor cu tencuială, practică des întâlnită pe șantier constituie o **greșală de execuție** gravă deoarece mortarul blochează posibilitatea de deplasare relativă a tronsoanelor. În timp mortarul din rost fisurează și nu mai asigură etanșeitătea rostului la aer și la apă. Menționăm și faptul că în numeroase cazuri proiectanții nu specifică soluțiile de închidere a rosturilor între tronsoane astfel încât

constructorul întinde tencuiala peste rost (cel mult cu un nut în stratul superior al tencuiei).



(a)

(b)

Figura II.4. Deteriorarea fațadelor la rosturile între tronsoane

(a) Ciocnirea tronsoanelor la un rost cu lățime insuficientă

(b) Rost acoperit cu elementele de placaj

II.4. Erori de proiectare și de execuție și avarii caracteristice la fațade din zidărie

II.4.1. Erori de proiectare structurală care afectează performanța seismică a anvelopei

În condițiile seismice specifice României o atenție deosebită trebuie dată realizării componentelor nestructurale ale anvelopei în strictă conformitate cu reglementările în vigoare și cu regulile de bună practică.

Conform Codului de proiectare seismică **P100-1/2006** componentele nestructurale ale fațadelor clădirilor sunt următoarele:

A.1. Elemente atașate anvelopei construcției:

- finisaje, elemente de protecție termică sau decorații din cărămidă, beton, piatră, materiale ceramice, sticlă sau similare, care au ca suport elementele de închidere, structurale sau nestructurale;
- copertine, balustrade, atice, marchize, profile ornamentale, statui;
- echipamente diverse;
- firme, reclame, antene de televiziune.

A.2. Elemente ale anvelopei:

- elementele structurii proprii a anvelopei - panouri de perete pline sau vitrate, montanți, rigle, buiandrugi, centuri și alte elemente care nu fac parte din structura principală a construcției;
- tâmplăriile înglobate, inclusiv sticla.

Identificarea și localizarea erorilor posibile la proiectarea și/sau execuția componentelor nestructurale ale fațadelor necesită cunoașterea comportării caracteristice a acestora la acțiunea seismică:

1. Avarierea / ruperea componentelor nestructurale datorită efectului direct al cutremurului se poate produce din una dintre următoarele cauze (sau dintr-o combinație a acestora):
 - depășirea rezistenței materialului;
 - răsturnare datorită ancorării insuficiente sau lipsei de

- ancorare;
- deplasare prin lunecare datorită ancorării insuficiente sau lipsei de ancorare.

Principalele erori care pot genera avarii legate de efectul direct al cutremurului constau în principal în:

- lipsa ancorajelor sau ancoraje insuficient de rezistente;
- lipsa măsurilor constructive speciale pentru asigurarea stabilității (elemente/subansambluri care au ca rol asigurarea stabilității).

Avarierea / ruperea **CNS** prin efectul indirect al cutremurului poate fi favorizată de una dintre următoarele categorii de erori de proiectare:

- deplasarea relativă de nivel a structurii depășește valorile limită din reglementările tehnice;
- rigiditatea componentei nestructurale este incompatibilă cu rigiditatea structurii;
- alcătuirii constructive care conduc la interacțiuni necontrolate între elementele structurii și componentele fațadelor;
- prinderea componentelor nestructurale ale fațadelor de două structuri (tronsoane) independente;
- prinderea de structură în mai multe puncte.

Principalele erori de proiectare care favorizează avarierea componentelor nestructurale ale fațadelor prin efectul indirect al cutremurului constau în:

- lipsa controlului deplasărilor relative de nivel ale structurii principale sau acceptarea unor deplasări care depășesc limitele admise de reglementări;
- dimensionarea insuficientă a componentelor sau a prinderilor acestora de structura principală (de exemplu

lipsa spațiilor libere în jurul componentelor pentru a permite deplasările libere ale structurii)

Sensibilitatea componentelor nestructurale ale fațadelor la cele două tipuri de efecte ale acțiunii seismice este rezumată în tabelul următor.

Tabelul II.1

Categoria componentei nestructurale	Efect direct	Efect indirect
A1 Elemente atașate anvelopei		
Finisaje, elemente de protecție termică sau decorații din cărămidă, beton, piatră, materiale ceramice, sticlă sau similare, care au ca suport elementele de închidere, structurale sau nestructurale (elemente lipite de fațadă sau ancorate de fațadă)	S	P
Copertine, balustrade, atice, profile ornamentale, marchize, statui, firme/reclame rezemate în consolă, antene.	P	----
A2 Elementele anvelopei		
Elementele structurii proprii a anvelopei - panouri de perete pline sau vitrate, montanți, rigle, buiandrugii, centuri și alte elemente care nu fac parte din structura principală a construcției; tâmplăriile înglobate, inclusiv geamurile/sticla.	S	P

P - efect principal

S - efect secundar

II.4.1.1. Exemplificarea cerințelor de fiabilitate structurală în cazul zidărilor de fațadă

În cazul clădirilor cu fațade de zidărie performanțele seismice ale acestora se cuantifică în funcție de starea zidăriei după cutremurul de proiectare.

- Clădire operațională și clădire funcțională : fisuri minore < 1.6 mm; deformare minoră.
- Clădire care asigură protecția vieții: Fisuri distribuite, zdrobire din incovoiere și desfacerea unor elemente; se produc unele rupeuri dar panourile nu cad.
- Clădire în stare de precolaps: Idem, dar panourile nu trebuie să cadă în zonele cu aglomerare de oameni.

II.4.1.2. Ignorarea interacțiunilor între structură și elementele nestructurale.

Așa cum se știe, răspunsul seismic al unei clădiri este rezultatul unor interacțiuni complexe, derulate *în regim dinamic și în diferite domenii de comportare*, dintre:

- terenul de fundare;
- infrastructură;
- structură;
- componentele nestructurale.

În consecință, la elaborarea proiectului, interacțiunile posibile/probabile trebuie să fie, în permanență, controlate și dirijate, urmărind compatibilizarea răspunsurilor seismice ale subansamblurilor componente.

Astfel este necesară compatibilizarea concepției / proiectării arhitecturale cu:

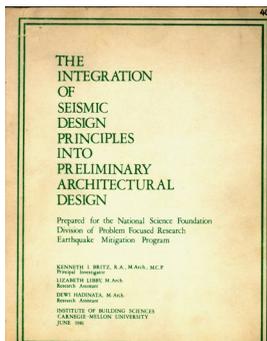
- concepția /proiectarea structurală, prin care se asigură *rezistența clădirii*;

- concepția /proiectarea subsistemelor de instalații și echipamente electro-mecanice care asigură funcționarea clădirii după cutremur.

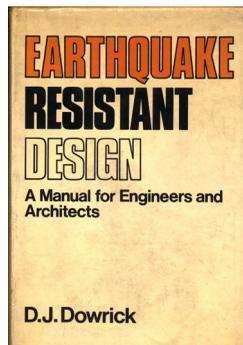
Aplicarea acestui concept trebuie să pornească din fazele preliminare de proiectare (idee recunoscută de specialiști de circa 25-30 de ani – vezi!)

“Integrarea cu succes în proiectare a principiilor seismice cere ca acestea să fie compatibile cu cerințele de arhitectură: satisfacerea necesităților utilizatorilor, respectarea disponibilităților economice ale clientului și realizarea unui obiect de arhitectură care contribuie la calitatea vizuală a ambientului “ [II.8] (1981)

“Niciodată nu va fi în puterea unui inginer structurist să realizeze o structură suficient de rezistentă la cutremur pentru o clădire prost concepută din punct de vedere arhitectural” [II.12].



[II.8]



[II.12]

Figura II.5. Lucrări de referință privind arhitectura zonelor seismice

În ceea ce privește controlarea interacțiunilor dintre “structură” și “componentele nestructurale”, în cazul proiectelor clădirilor

cu structura alcătuită din cadre de beton armat, una dintre erorile cele mai frecvente și cu consecințe deosebit de grave, este neglijarea efectelor de ansamblu și locale ale zidărilor de umplură.

II.4.1.3. Efecte de ansamblu ale zidărilor de umplură

Efectele de ansamblu ale panourilor de zidărie înrămate asupra răspunsului seismic al structurilor alcătuite din cadre se concretizează prin sporirea rigidității locale a unui cadru, la un nivel sau la mai multe niveluri, sau prin sporirea rigidității de ansamblu în unele zone ale structurii. Ca prim efect al acestei interacțiuni este afectată nefavorabil regularitatea structurală a clădirii în plan și în elevație prin deplasarea poziției centrului de rigiditate (**CR**) în raport cu centrul de greutate al planșeului (**CG**) ceea ce antrenează producerea/accentuarea răsucirii de ansamblu a clădirii. Acest efect este ilustrat cu situațiile prezentate în figura de mai jos.

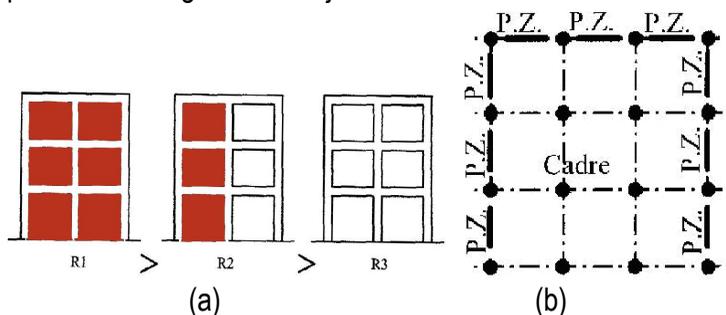


Figura II.6. Efectele panourilor de zidărie de umplură [II.24.]

(a) Modificarea rigidității cadrelor plane

(b) Producerea unor efecte de răsucire de ansamblu

În figurile următoare este prezentat un caz tipic de ignorare a efectelor panourilor de umplură în cazul clădirilor cu structura

alcătuită din cadre. Atragem atenția asupra faptului că panourile de închidere erau realizate din elemente prefabricate din beton armat și căderea acestora a provocat moartea a două persoane.

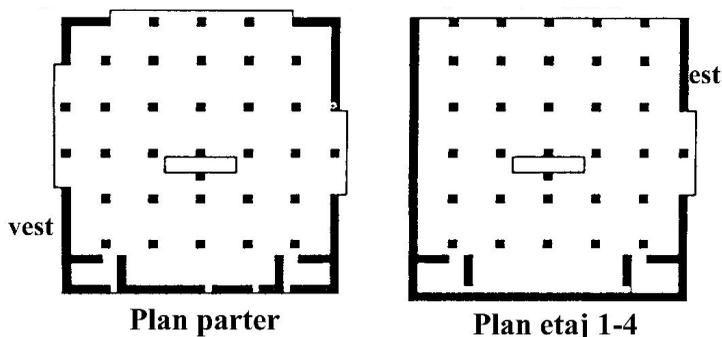


Figura II.7. J.C. Penney. Department Store grav avariat și demolat ulterior (Anchorage- Alaska – 1964)

Disponerea neregulată în elevație a panourilor de umplură, sau chiar lipsa acestora la un anumit nivel, conduce, în cele mai multe cazuri, la formarea etajelor "slabe". Această situație este întâlnită mai ales la clădirile cu funcțiuni multiple: magazine la parter și eventual la etajul 1, cu vitrine de dimensiuni mari, și locuințe la etajele superioare cu închideri din zidărie. Desființarea la parter a pereților de pe una din fațade pentru amenajarea garajelor este de asemenea o cauză a avariilor grave constatate chiar la cutremure cu intensitate

medie. În aceste cazuri, cerința de ductilitate rotațională concentrată la nivelul stâlpilor parterului nu poate fi satisfăcută cu dimensiunile și armările care rezultă în condițiile proiectării specifice clădirilor cu puține niveluri astfel încât formarea mecanismului de etaj este, practic, inevitabilă.

Ilustrarea acestui adevăr evident, care astăzi este necontestat de adevărații specialiști, arată manifestări brutale, dramatice chiar, practic identice, la clădiri situate la mii de kilometri distanță și cu un interval de timp de zece ani între ele.

Ignorarea de către proiectantul structurii a acestui efect constituie o **gravă eroare de proiectare**.



(a)

(b)

Figura II.8. Distrugerea identică a clădirilor cu parter "slab"
(a) Taiwan (1999) (b) L'Aquila (2009)

II.4.1.4. Efecte locale ale zidărilor de umplutură

II.4.1.4.1. Deteriorarea nodurilor cadrelor de beton armat

Un alt efect negativ al zidărilor de umplutură se produce din cauza neglijării de către proiectanți a efectului de împănare a zidăriei în nodurile cadrului în timpul mișcării seismice, ceea ce conduce în cele mai multe cazuri la cedarea grinzii / stâlpului prin forță tăietoare sau la deteriorarea nodului.

Fisurarea nodului, chiar în stadii incipiente, cu deschideri mici, sporește deformabilitatea cadrului și reduce aderența

armăturilor din grindă și prin aceasta reduce și valoarea momentului capabil de la capătul grinzii. Procesul de fisurare a nodului de cadru nu contribuie însă la disiparea energiei seismice.

Avarierea nodurilor de cadru se poate produce chiar și în condițiile unor panouri de umplură relativ "slabe", cum sunt cele din elemente cu goluri mari și cu pereți subțiri, în condițiile în care armarea barelor cadrului și, mai ales, armarea nodului, sunt insuficiente. Acest tip de avarie a fost identificat în mai multe lucrări teoretice (fig.II.9a) și prezența sa a fost confirmată la majoritatea cutremurelor.

Totodată, trebuie reținut și faptul că remedierea avariilor nodurilor, cum sunt cele din figurile II.9b și II.9c, este foarte complicată din punct de vedere tehnic, este costisitoare și, în unele cazuri, are implicații nefavorabile asupra funcționalității construcției și a aspectului acesteia, mai ales dacă se face o consolidare prin cămășuire și/sau manșonare cu beton armat.

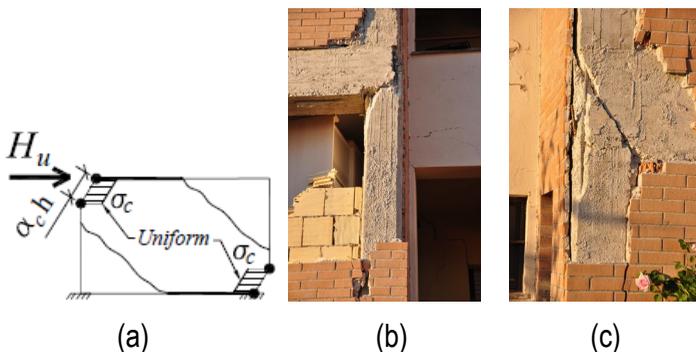


Figura II.9. Avarierea nodurilor de cadru provocată de panoul de umplură

(a) Modelul teoretic de rupere [II.19] (b) și (c) Avarii produse la cutremurul de la L'Aquila (2009) [II.20]

II.4.1.4.2. Modificarea schemei statice a cadrelor.

Efectele locale ale panourilor de zidărie înrămate în cadre constau în modificarea schemei statice a cadrului cu consecințe, uneori grave, asupra stării de eforturi din bare. Neglijarea acestei modificări, din necunoaștere sau din superficialitate, conduce în cele mai multe cazuri la avarii care pot pune în pericol siguranța clădirii.

Efectul cel mai important al panourilor de zidărie este modificarea lungimii efective a barelor, prin crearea unor reazeme suplimentare care nu sunt luate în considerare la proiectarea rezistenței cadrului.

Fenomenul cel mai periculos este formarea stâlpilor scurți prin efectul panourilor de zidărie care se dezvoltă parțial pe înălțimea etajului.

În figura III.10a este reprezentat mecanismul prin care un parapet de zidărie executat incorect (împănat/fixat lateral la contactul cu stâlpii) conduce la avarierea structurii:

- reduce lungimea stâlpului;
- modifică schema statică astfel încât zidăria diagonalei comprimate devine "**reazem**" suplimentar pentru stâlp;
- reacțiunea reazemului suplimentar (**D**) solicită stâlpul între nodurile cadrului și modifică astfel diagramele de eforturi secționale (forța tăietoare și momentul încovoietor) pentru care se realizează armarea **clasică** a stâlpilor.

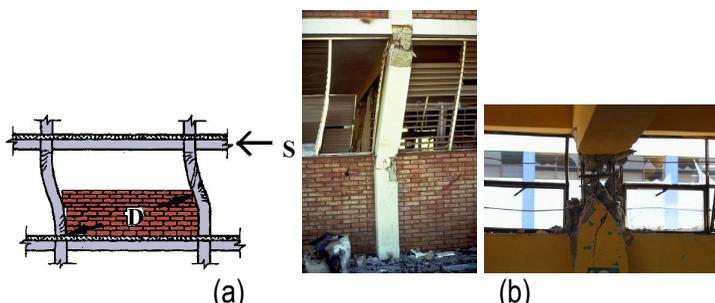


Figura II.10. Eroare de proiectare și de execuție:
 Zidăria a blocat deformația liberă a stâlpului care s-a rupt
 complet prin încovoiere (a) sau forfecare/zdrobirea betonului
 (b)

Modul de rupere depinde de raportul între "lungimea" stâlpului scurtat și dimensiunea secțiunii transversale în planul cadrului.

În cazul din figura III.10 (b), în care raportul menționat este aproximativ cinci, stâlpul a cedat prin articularea plastică la ambele extremități ca urmare a capacității insuficiente de rezistență la compresiune excentrică.

În cazul din figura III.10(c) lungimea stâlpului scurtat a devenit practic egală cu latura sa (stâlp **extrem de scurt**) ceea ce a generat o rupere explozivă prin forfecare, cu expulzarea betonului. Rapoartele echipelor de investigare post-seism conțin zeci de astfel de fotografii. În mod similar se poate produce, cu aceleași efecte, scurtarea grinzilor prin panouri care se dezvoltă numai pe o parte din lungimea grinzii.

Soluția corectă pentru realizarea parapetelor din zidărie este ilustrată în figura III.11 și implică următoarele măsuri constructive:

- Separarea zidăriei de cadru.
- Izolarea spațiului între zidărie și cadru cu chit permanent plastic, rezistent la pătrunderea aerului și apei și la foc.

- Parapetul se ancorează în grindă pentru a se asigura stabilitatea sub acțiunea încărcărilor perpendiculare pe fațadă (din vânt sau din cutremur).

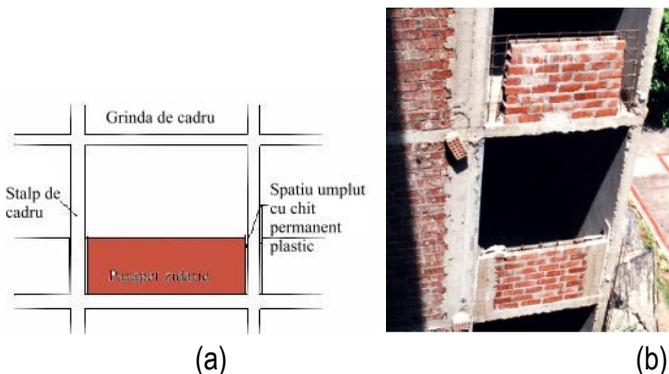


Figura II.11. Izolarea zidăriei parapetilor de cadrul de beton armat

(a) Schema de izolare propusă în [II.12] (b) Exemplu de realizare [II.28]

II.4.1.5. Deteriorarea zidăriei de umplură

Deteriorarea zidăriei de umplură sub acțiunea cutremurului poate avea două cauze principale.

II.4.1.5.1. Cedarea panoului de zidărie în planul median.

Se produce ca urmare a deformațiilor laterale impuse de structura principală, prin depășirea rezistenței la :

- Lunecare în rost orizontal (Rd1)
- Fisurare în lungul diagonalei comprimate (Rd2)
- Cedarea la compresiune a zidăriei pe diagonala comprimată (Rd3)

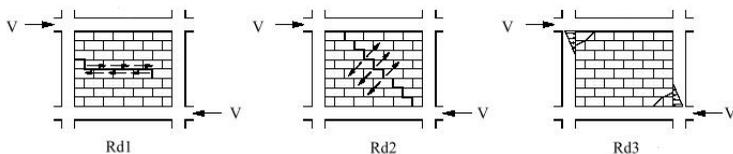


Figura II.12. Mecanismele de cedare în plan ale panourilor de umplură la structurile în cadre conform Codului CR6-2006

La cutremurul de la L'Aquila-Italia (2009) s-au înregistrat avarii moderate sau mai severe ale zidărilor de umplură la 29% dintre clădirile investigate. Panourile înrămate folosite la aceste clădiri au fost, în marea majoritate pereți dublu strat cu gol interior, din cărămizi cu goluri orizontale (sau dispuse orizontal) și fără armături în rosturi [II.20].

Acest cutremur a pus în evidență comportarea nesatisfăcătoare a panourilor de umplură din zidărie cu elemente cu goluri și pereți subțiri (din grupa **2S** conform clasificării din Codul **CR6-2006**). Sub efectul deplasărilor laterale ale cadrului (probabil mai mari decât limitele admise în mod rațional pentru acest tip de elemente), panourile s-au dezintegrat pur și simplu, elementele prezentând spargeri explozive ceea ce reprezintă o dovadă în plus pentru lipsa de **robustețe** a acestor elemente.



Figura II.13. Avarierea panourilor de umplură din elemente cu goluri și pereți subțiri la cutremurul L'Aquila [foto Fred Turner]

Zdrobirea zidăriei prin eforturi de compresiune, la colțul cadrului sau în centru (pe diagonală –**D**) se produce pentru valori mari ale efortului în diagonala comprimată sau pentru zidărie cu elemente cu rezistențe scăzute. În acest caz se produce o împănare puternică a zidăriei la colțul cadrului iar ruperea se produce la contactul panoului de zidărie cu stâlful (pentru componenta **H**) sau cu grinda (pentru componenta **V**) în funcție de direcția pe care rezistența la compresiune a zidăriei este mai mică.

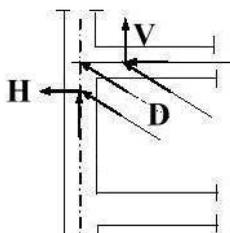


Figura II.14. Componentele forței axiale din diagonala comprimată a panoului de umplutură

În cazul elementelor pentru zidărie cu goluri, rezistența zidăriei depinde de poziția golurilor în raport cu cele două componente. În cazul așezării elementelor cu golurile pe verticală, rezistența minimă a zidăriei este pe direcție orizontală (pentru forța **H**) iar în cazul așezării elementelor cu golurile pe orizontală rezistența minimă este pe direcție verticală (pentru forța **V**).

Raportul rezistențelor la compresiune ale zidăriei, pe cele două direcții (perpendicular pe rostul de așezare și paralel cu acesta), calculate conform **SR EN 1996-1-1** și **CR6-2006**, variază în limite largi în funcție de rezistența elementelor la compresiune paralel cu rostul de așezare (f_{bh}).

Pentru calculul rezistenței la compresiune paralel cu rosturile de așezare, standardul **SR EN 1996-1-1**, art.3.6.1.2. 4, prevede:

În cazul în care efectele acțiunilor sunt paralele cu direcția rosturilor de așezare, rezistența caracteristică poate fi determinată de asemenea din relațiile (3.2), (3.3) sau (3.4), folosind rezistența standardizată la compresiune a elementelor pentru zidărie, f_b , obținută din încercări în care direcția de aplicare a forței pe epruvetă este aceeași cu direcția efectelor acțiunilor în zidărie, dar factorul δ , dat în **EN 772-1**, nu va fi luat mai mare de 1,0. Pentru elementele din grupele 2 și 3, K se înmulțește cu 0,5.

Pentru zidăria cu elemente cu goluri din grupa 2 și mortar de utilizare generală avem valoarea $K = 0.45$.

În cazul zidărilor în zone seismice, standardul **SR EN 1998-1** recomandă ca valoare minimă a rezistenței elementelor paralel cu rostul de așezare $f_{bh,min} = 2.0 \text{ N/mm}^2$, valoarea care se folosește în fiecare țară urmând a fi stabilită prin **Anexa națională**.

Anexa națională a României la **SR EN 1998-1** și Codul **CR6-2006** au adoptat valoarea recomandată ($f_{bh} = 2.0 \text{ N/mm}^2$) iar Anexa națională a Italiei a adoptat o valoare inferioară $f_{bh} = 1.5 \text{ N/mm}^2$. Dacă se consideră o zidărie cu elemente din grupa 2, cu rezistența standardizată la compresiune perpendicular pe rosturile de așezare $f_b = 10 \text{ N/mm}^2$ și mortare M5 și M10, și factorul $K = 0.45$, valorile caracteristice ale rezistențelor la compresiune a zidăriei, calculate cu formulele

- perpendicular pe direcția rosturilor $f_k = K f_b^{0.7} f_m^{0.3}$
- paralel cu direcția rosturilor $f_{kh} = 0.5 K f_{bh}^{0.7} f_m^{0.3}$

sunt arătate în tabelul III.2.

Tabelul II.2

Rez.elemente	Mortar M5	Mortar M10
$f_b = 10 \text{ N/mm}^2$	$f_k = 3.66 \text{ N/mm}^2$	$f_k = 4.50 \text{ N/mm}^2$
$f_{bh} = 1.5 \text{ N/mm}^2$	$f_{kh} = 0.48 \text{ N/mm}^2$	$f_{kh} = 0.60 \text{ N/mm}^2$
$f_{bh} = 2.0 \text{ N/mm}^2$	$f_{kh} = 0.59 \text{ N/mm}^2$	$f_{kh} = 0.73 \text{ N/mm}^2$
$f_{bh} = 2.5 \text{ N/mm}^2$	$f_{kh} = 0.69 \text{ N/mm}^2$	$f_{kh} = 0.85 \text{ N/mm}^2$

Simpla examinare a acestui tabel permite să se remarce vulnerabilitatea sporită a zidărilor cu elemente din grupa 2 a căror rezistență paralel cu rostul de așezare (f_{kh}) este numai circa 15% din rezistența perpendicular pe acest rost (f_k) și astfel se explică avariile de tipul celor arătate în figura II.13 și diferența față de comportarea favorabilă recunoscută pentru zidăriile cu elemente pline [II.18].

II.4.1.5.2. Cedarea panoului de zidărie perpendicular pe planul median.

În acest caz cedarea panourilor de zidărie se produce din cauza forțelor de inerție generate de accelerația seismică perpendiculară pe planul peretelui.

Fenomenul se produce atât la pereții structurali cât și la panourile de umplură ale structurilor în cadre.

În cazul pereților structurali, fenomenul este favorizat în special dacă planșeele descarcă pe o singură direcție (planșee cu grinzi din lemn sau din oțel) iar pereții paraleli cu grinzile nu sunt ancorați de planșeu. Codul de proiectare seismică **P100-3/2008** semnalează riscurile care decurg din această alcătuire pentru clădirile vechi și propune măsuri de reducere a acestora (figura II.15).

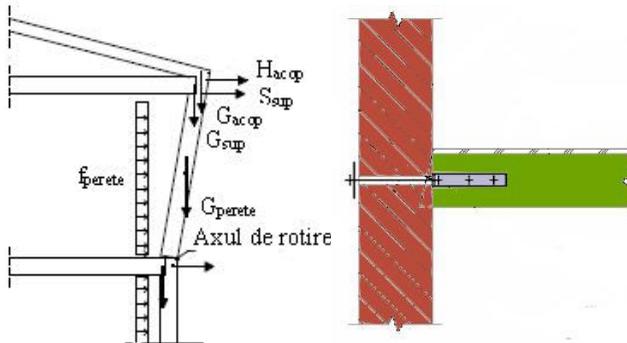


Figura II.15. Acțiunea seismică perpendiculară pe planul fațadei.
 (a) Schema de calcul (b) Posibilitate de ancorarea peretelui la nivelul planșeului de lemn

Existența unor astfel de alcătuiți în clădirile vechi este o consecință a nivelului scăzut al cunoștințelor de inginerie seismică din timpul realizării acestora. În cazul clădirilor noi, pentru care, conform Codului **P100-1/2006**, se permite folosirea planșeelor de lemn, lipsa ancorajului peretelui de fațadă constituie însă o **eroare de proiectare** inacceptabilă.

Expulzarea panourilor de umplură la cadre este un fenomen des întâlnit atât în cazul panourilor monostrat cât și în cazul panourilor alcătuite din două straturi.

În cazul panourilor monostrat riscul de expulzare este sporit dacă zidăria este rezemată pe console și, în special, nu este înrămată cu elemente din beton armat. Se cunosc multe cazuri în care s-a produs expulzarea panourilor și a fost necesară evacuarea clădirii fără să existe avarii semnificative ale structurii.



(a)



(b)

Figura II.16. Expulzarea panourilor de închidere la structuri în cadre

(a) Caracas (1967) (b) Grecia (1999).

O altă cauză sistematică a avariilor care s-au manifestat la cutremurele recente este folosirea, la exterior, a pereților dublu strat, cu gol interior, dar fără legături între straturi sau cu legături insuficiente, incapabile să preia acțiunea seismică perpendiculară pe plan și să solidarizeze cele două straturi.



(a)

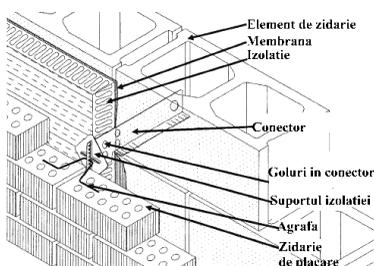


(b)

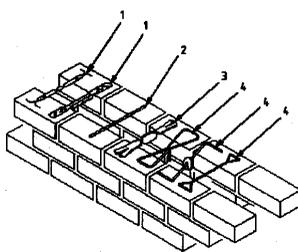
Figura II.17. Zidărie dublu strat fără legături/cu legături slabe între straturi

(a) Turcia 1999 (b) Italia, L'Aquila 2009

În figura III.17 se vede că legăturile între cele două straturi ale peretelui cu gol și/sau cu izolație la interior nu au fost realizate cu ancorele metalice protejate împotriva coroziunii prevăzute în standardul SR EN 845 sau în reglementările similare din USA.



(a)



(b)

Figura II.18. Detalii de prindere între straturi la zidăria de fațadă

(a) Conform prevederilor din USA

(b) Conform

prevederilor din Europa SR EN 845-1:2004

Legăturile între straturi prin elemente ceramice dispuse transversal cu distanțe mari între ele și, probabil, insuficient țesute, nu s-au dovedit capabile să asigure nici stabilitatea stratului exterior și nici integritatea stratului interior.

În alte situații cedarea legăturilor între straturile panoului de fațadă a fost facilitată de **erori de execuție**:

- Poziționarea greșită a termoizolației.
- Utilizarea ancorelor neprotejate împotriva coroziunii.



Figura II.19. Poziționarea greșită a termoizolației

II.4.1.6. Deformabilitatea excesivă a cadrelor de beton armat.

O cauză importantă de avariere a panourilor de zidărie de umplură provine și din faptul că, la proiectare, rigiditatea cadrelor, exprimată prin valoarea maximă a deplasărilor relative de nivel nu este corelată cu capacitatea de deformare/rezistența zidărilor respective. Uneori, această neconcordanță se produce și ca urmare a înlocuirii necontrolate la execuție a elementelor pentru zidărie specificate în proiect cu altele cu rezistență inferioară.

În reglementările de proiectare prevederile referitoare la valoarea driftului admisibil au lipsit până recent, așa cum a fost, de exemplu, cazul reglementărilor **P13-63/70** din România. Această omisiune s-a aflat la originea unui număr mare de

degradări ale zidărilor de fațadă la cutremurul din 1977 dar și la cel din 1986. Din nefericire lipsa de rigiditate a structurilor în cadre proiectate după aceste reglementări nu poate fi remediată cu ușurință atât din punct de vedere tehnic cât și economic. Rămâne numai posibilitatea înlocuirii zidărilor fragile cu închideri de alt tip (fațade cortină) care să se adapteze valorilor probabile ale deplasărilor produse de următorul cutremur sever.

În cazul în care la proiectare se ia în considerare efectul interacțiunii panourilor de zidărie cu structura, performanțele panourilor sunt condiționate atât de caracteristicile proprii ale acestora cât și de rezistența și, mai ales, de rigiditatea structurii principale. Astfel, structurile proiectate cu niveluri de ductilitate ridicate pentru cutremure rare, sunt susceptibile de a căpăta, în cazul unor cutremure frecvente sau ocazionale, deplasări laterale incompatibile cu capacitatea de deformare a panourilor de umplură și ca atare, există o probabilitate ridicată ca aceste clădiri să înregistreze avarii însemnate ale panourilor.

Din acest motiv, în reglementările tehnice recente, bazate pe conceptul de *performanță seismică*, se impune, în primul rând, limitarea driftului (**IDI** – *interstory drift index*), în mod diferențiat, în funcție de nivelurile de performanță țintă pentru cutremurele cu diferite grade de severitate.

Orientativ, pentru evitarea avarierii exagerate a panourilor de umplură într-o lucrare recentă [III.15] se propune asocierea nivelului de afectare pentru cadrele cu panouri de umplură cu valoarea driftului de etaj (δ_{et} ‰) după cum urmează:

- **Neafectat** (nici o avariere); eventual fisuri minore, izolate în tencuială $\Rightarrow \delta_{et} < 1‰$
- Cu avarii **reparabile**

- Avarii **ușoare**: desprinderi la rosturile orizontale și verticale între cadru și panouri, inițiererea fisurilor la colțurile golurilor; fisuri fine în grinzile și stâlpii cadrului $\Rightarrow \bar{\delta}_{et} = 2\text{‰}$
- Avarii **moderate**: fisuri din încovoiere și/sau forfecare în barele cadrului $\Rightarrow \bar{\delta}_{et} < 4\text{‰}$
- Clădire cu avarii **ireparabile**: avarierea gravă a panourilor de zidărie și a elementelor cadrului; ruperea stâlpilor scurți rezultați din interacțiunea necontrolată a panourilor de zidărie cu structura $\Rightarrow \bar{\delta}_{et} > 4\text{‰}$

Valorile driftului de etaj menționate mai sus trebuie corelate și cu rezistența și robustețea elementelor pentru zidărie. Elementele pline arată o comportare mult superioară elementelor cu goluri așa cum s-a constatat și la cutremurul de la Wenchuan (2008) [II.18]

II.4.2. Greșeli de execuție a zidăriei

Calitatea zidăriei se caracterizează, în principal, prin :

- rezistența la compresiune;
- aderența între mortar și elementele pentru zidărie (are un rol decisiv în cazul zidărilor solicitate de cutremur);
- durabilitate.

Aceste proprietăți depind de:

- calitatea materialelor componente: elemente pentru zidărie și mortar;
- calitatea manoperei.

Toate abaterile de la reglementările tehnice și de la regulile de bună execuție au ca efect reducerea performanțelor zidăriei.

Dintre cele mai frecvente erori de execuție a zidăriei semnalăm următoarele:

II.4.2.1. Folosirea elementelor pentru zidărie care nu respectă condițiile de calitate din standardele SR EN 771-1 ÷ SR EN 771-6

Folosirea elementelor pentru zidărie care nu corespund cerințelor reglementărilor specifice are ca efect imediat scăderea tuturor performanțelor zidăriei (performanțele de rezistență, de durabilitate și de aspect).

Cele mai severe reduceri se produc dacă, la zidirea pereților de fațadă structurali sau nestructurali se utilizează elemente cu defecte [II.1]:

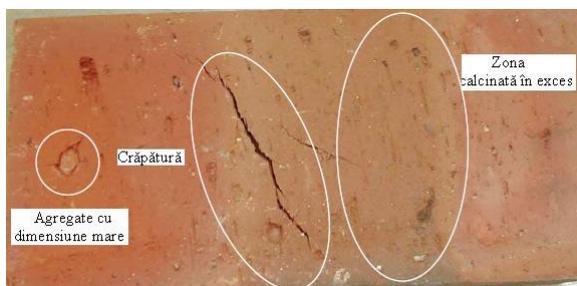
- incluziuni de agregate cu dimensiuni mari -c-;
- incluziuni de carbonat de calciu - a-;
- deficiențe ale procesului de ardere (răcire rapidă→crăpături - c; temperaturi ridicate→vitrificare →b).



(a)



(b)



(c)

Figura II.20. Defecte majore ale elementelor pentru zidărie

Amplerea fenomenului de "împușcare" datorat incluziunilor de carbonat de calciu (a) este limitată în unele reglementări - de exemplu, standardul austriac **AS/NZS 4456** - prin numărul și dimensiunile craterelor pe fețele unui element pentru zidărie:

- Afectare **ușoară**: cel mult 5 crateres cu diametru ≤ 8 mm
- Afectare **moderat**: toate crateresle au diametrul < 10 mm
- Afectare **sever**: unul sau mai multe crateres cu diametru ≥ 10 mm.

Standardul anterior din România **STAS 457-86** prevedea că la cărămizile pline de calitate A nu se admit granule de var. Pentru calitate I-a și II-a granulele de var erau admise cu condiția să nu producă deteriorări prin umflare după încercarea la umezeală a cărămizii. Prin abrogarea acestui standard și înlocuirea cu **SR EN 771-1** aceste prevederi au fost supimate astfel încât, în prezent (octombrie 2010) nu există nici o prevedere reglementară care să limiteze acest tip de defecte

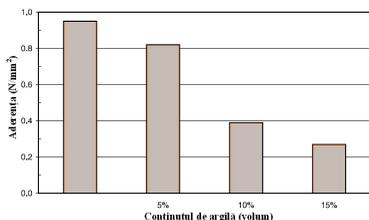
Folosirea elementelor care depășesc limitele menționate trebuie considerată o **eroare de execuție** asupra căreia trebuie să se concentreze toate serviciile de control (intern sau extern).

Trebuie să menționăm că evitarea folosirii elementelor pentru zidărie cu defecte de fabricație poate fi realizată efectiv numai de către zidar, singurul care are în mână fiecare element, deoarece toate testele pe parcursul fabricației se fac numai prin procedee de eșantionare statistică.

II.4.2.2. Folosirea mortarelor cu conținut ridicat de argilă

Mortarele confecționate cu nisip care are un conținut ridicat de argilă au aderență redusă la elementele pentru zidărie. Folosirea nisipului care nu a fost spălat în prelabil reduce drastic aderența mortarului. Această reducere se manifestă atât prin scăderea efortului unitar de aderență - figura (a) - cât și la reducerea suprafețelor pe care elementele alăturate sunt legate prin mortar - figura (b).

Pentru evitarea acestei situații este necesar să se verifice conținutul de argilă al nisipului folosit în conformitate cu reglementările de specialitate și să nu se utilizeze nisipul care depășește aceste limite.



(a)



(b)

Figura II.21. Efectul mortarului cu conținut ridicat de argilă
(a) Scăderea efortului unitar de aderență [II.9]
(b) Reducerea suprafeței pe care aderă mortarul [II.23]

II.4.2.3. Finisarea necorespunzătoare a rosturilor zidăriei aparente

În cazul zidărilor aparente (care rămân netencuite), de cele mai multe ori, alegerea tipului de finisare a mortarului din rost se face în principal pentru a obține anumită expresie a fațadei fără a se ține seama de particularitățile respective de comportare la acțiuni mecanice și, în special, la efectele intemperțiilor. Alegerea formei de finisare a mortarului din rost trebuie să împiedice pătrunderea umidității în zidărie și, implicit în clădire, contribuind astfel la confortul higrotermic de ansamblu. În cazul zidărilor aparente, situate în interiorul clădirilor curente, criteriul etanșeității nu mai are relevanță dar criteriul comportării favorabile la acțiunile mecanice rămâne în continuare valabil.

În figurile următoare tipurile de rosturi sunt grupate în funcție de comportarea față de efectele intemperțiilor

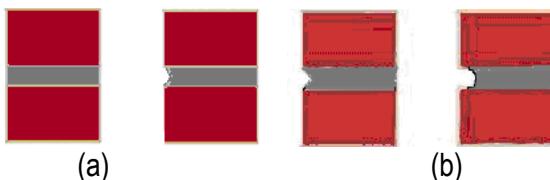


Figura II.22. Tipuri de rosturi orizontale de mortar

- (a) Forme care nu permit infiltrarea apei
- (b) Forme care favorizează infiltrarea apei

Modul de finisare din figurile (a) nu permite acumularea apei în rost în timp ce modul de finisare din figurile (b) favorizează stagnarea apei între cărămizi.

Referitor la umplerea rosturilor cu mortar, standardul SR EN 1996-2 stabilește și unele condiții suplimentare care au atât rolul de a asigura transmiterea eforturilor de compresie cât și cerința de durabilitate și confortul termic:

- *Dacă nu există o altă prevedere, în pereții cu grosime de 200 mm sau mai mică, este necesar ca rosturile să nu rămână neumplute cu mortar pe o adâncime mai mare de 5 mm.*
- *În cazul în care se folosesc elemente pentru zidărie cu goluri, este necesar ca rosturile să nu rămână neumplute cu mortar pe o adâncime mai mare decât $1/3$ din grosimea feței exterioare, dacă nu există o altă prevedere.*

Limitarea spațiilor neumplute cu mortar are în vedere și diminuarea eforturilor suplimentare de întindere care se dezvoltă în elementele zidăriei ca urmare a devierii fluxului eforturilor de compresiune. Umplerea incompletă a rostului se poate produce și dacă mortarul de la extremitatea rostului se tasează și se desprinde de elementul superior sau capătă contracții mari din cauza excesului de apă în mortarul proaspăt.

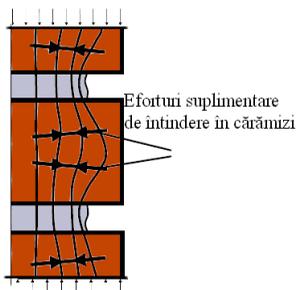


Figura II.23.Efectul umplerii incomplete a rosturilor în zidăria comprimată

II.4.2.4.Betonarea incompletă a stâlpișorilor

Se produce la elementele verticale de confinare ca urmare a folosirii unui beton cu consistență nepotrivită și/sau în lipsa unor măsuri corespunzătoare de compactare.

Pentru evitarea/reducerea probabilității de producere a acestei defecțiuni, Codul de proiectare **CR6** indică folosirea următoarelor clase de consistență:

- pentru stâlpișorii cu aria $\leq 750 \text{ cm}^2$ → clasa **T4**
- pentru stâlpișorii cu aria $> 750 \text{ cm}^2$ → clasa **T3/T4**



Figura II.24. Betonarea incompletă a stâlpișorului

II.4.2.5. Defecte de zidire

Defectele de zidire constau de regulă în următoarele categorii de abateri de la regulile de bună practică:

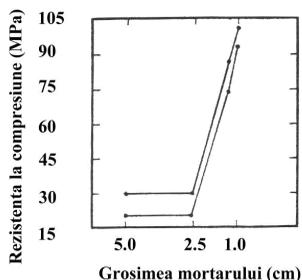
- Țeserea neregulată, cu folosirea excesivă a fragmentelor de elemente
- Grosimea neuniformă a rosturilor
- Umplerea incompletă cu mortar a rosturilor verticale transversale și/sau longitudinale



(a)



(b)



(c)

Figura II.25. Defecte de zidire

(a) Țeserea neregulată cu multe fragmente de cărămizi
(Colecția autorului)

(b) Rosturi verticale exagerat de largi

(c) Efectele lățimii rostului asupra rezistenței la compresiune a zidăriei [II.2]

Rosturile verticale foarte largi reduc drastic rezistențele zidăriei la compresiune și la forfecare așa cum rezultă din graficul II.25(c). Graficul confirmă totodată faptul că grosimea optimă a rosturilor se află între 10÷12 mm, valoare prescrisă de majoritatea reglementărilor tehnice.

II.4.3. Precizia execuției pereților din zidărie

Respectarea la execuție a prevederilor proiectului privind geometria clădirii este un factor care condiționează în mare măsură satisfacerea cerințelor structurale așa cum acestea sunt prevăzute în reglementările de proiectare. Încadrarea în toleranțele stabilite constituie o primă garanție a conformității construcției cu ipotezele avute în vedere în modelul și/sau în metoda de calcul. Elementele de construcție care au abateri care nu se încadrează în limitele admisibile necesită lucrări corectare/remediere și, uneori, chiar de refacere. Acceptarea, la execuție, în fazele intermediare de urmărire și control, a unor abateri care depășesc valorile admise are drept consecință evidentă realizarea unei construcții cu nivel de siguranță inferior celui proiectat. În acest caz este necesară refacerea calculului cu considerarea abaterilor efective pentru a evidenția amploarea impactului acestora asupra siguranței clădirii.

II.4.3.1. Prevederile standardului SR EN 1996-1-1

Standardul recomandă valori pentru abaterile admisibile elementelor de construcție din zidăriei în ceea ce privește:

- verticalitatea;
- rectiliniaritatea;
- grosimea.

Figura II.26a indică modul în care se măsoară abaterile de la verticalitate iar în figura II.26b este reprezentată măsurarea abaterii de la alinierea verticală a pereților.

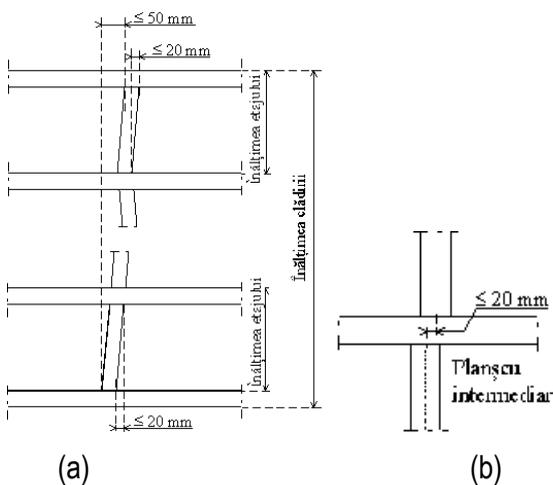


Figura II.26. Abateri admisibile conform SR EN 1996-1-1

Tabelul II.3.

Poziția	Abateră maximă
Verticalitate	
În orice etaj	± 20 mm
Pe toată înălțimea clădirii cu ≥ 3 etaje	± 50 mm
Aliniere verticală	± 20 mm
Liniaritate(rectiliniaritate)	
Pe fiecare metru	± 10 mm
Pe 10 metri	± 50 mm
Grosime	
A unui strat al peretelui	Cea mai mare valoare dintre: ± 5 mm, sau ± 5 % din grosimea stratului
Pe tot peretele dublu cu gol interior	± 10 mm.

Totodată standardul acceptă ca în cazurile în care practica locală a unei țări prevede abateri mai mici decât cele date în tabelul III.3 acestea să fie luate în considerare la aprecierea coecitudinii execuției. Această mențiune trebuie făcută în **Anexa națională** a țării respective.

Prin **Anexa națională** la **SR EN 1996-1-1** în România sunt acceptate abaterile maxime recomandate.

II.4.3.2. Prevederile Codului CR6-2006

Pentru a facilita verificarea practică a corectitudinii execuției, în continuare se dau valorile abaterilor admisibile stabilite în Codul **CR6-2006**.

Tabelul II.4

Denumirea caracteristicilor	Abateri limită (mm)
<i>La dimensiunile zidurilor, la grosimea de execuție a zidurilor:</i>	
a. Din cărămidă și blocuri ceramice:	
- ziduri cu grosimea ≤ 63 mm	± 3
- ziduri cu grosimea de 90 mm	± 4
- ziduri cu grosimea de 115 mm	+4, -6
- ziduri cu grosimea de 140 mm	+4, - 6
- ziduri cu grosimea de 240 mm	+6,- 8
- ziduri cu grosimea > 240 mm	± 10
b. Din blocuri mici de beton cu agregate ușoare:	± 4
- ziduri cu grosimea ≤ 240 mm	± 5
- ziduri cu grosimea de 290 mm	± 10
- ziduri cu grosimea ≥ 365 mm	
c. Din blocuri mici, fâșii și plăci de BCA:	
- ziduri cu grosimea ≤ 126 mm	± 4

Denumirea caracteristicilor	Abateri limită (mm)
- ziduri cu grosimea de 190 mm - ziduri cu grosimea de 240 mm	± 5 ± 8
<i>La goluri:</i> a. Pentru ziduri din cărămizi, blocuri ceramice și din blocuri mici de beton cu agregate ușoare: - pentru dimensiunea golului ≤ 100 cm - pentru dimensiunea golului > 100 cm	± 10 +20,- 10
b. Pentru ziduri din blocuri mici, din plăci și fâșii de BCA	± 20
c. Pentru ziduri din plăci și fâșii din ipsos	± 20
d. Din piatră naturală:	± 20
<i>La dimensiunile în plan ale încăperilor:</i> - cu latura încăperii ≤ 300 cm - cu latura încăperii > 300 cm	± 15 ± 20
<i>La dimensiunile parțiale în plan (nișe, spaieți, etc.)</i>	± 20
<i>La dimensiunile în plan ale întregii clădiri</i>	± 50
<i>La dimensiunile verticale:</i> a. Pentru ziduri din cărămidă, din blocuri ceramice și din blocuri mici de beton cu agregate ușoare: - pentru un etaj - pentru întreaga clădire (cu ≤ 5 niveluri)	± 20 +50,- 20
b. Pentru ziduri din blocuri mici și din plăci de BCA: - pentru un etaj - pentru întreaga clădire (cu 2 niveluri executată din	± 20 ± 30

Denumirea caracteristicilor	Abateri limită (mm)
blocuri mici)	
c. Pentru ziduri din plăci și fâșii din ipsos - pentru un etaj - pentru întreaga clădire	± 20 ± 30
<i>Dimensiunea rosturilor dintre cărămizi, blocuri sau plăci:</i> - rosturi orizontale - rosturi verticale - rosturi la zidării aparente	+ 5,- 2 + 5,- 2 ± 2
<i>La suprafețe și muchii:</i> a) Planeitatea suprafețelor: - ziduri portante - ziduri neportante - zidărie aparentă, la pereți portanți și neporanți	3 mm/m 5 mm/m 2 mm/m
b) Rectilinitatea muchiilor: - ziduri portante - zidărie aparentă, la pereți portanți și neporanți	2 mm/m 1 mm/m
c) Verticalitatea suprafețelor și muchiilor: - ziduri portante - ziduri neportante - zidărie aparentă, la pereți portanți și neporanți	3 mm/m 2 mm/m 2 mm/m
<i>Abateri față de orizontala ale fețelor superioare</i>	

Denumirea caracteristicilor	Abateri limită (mm)
<i>ale fiecărui rând de cărămizi sau blocuri:</i> a. Pentru ziduri din cărămidă, blocuri ceramice și blocuri mici de beton cu agregate ușoare: - ziduri portante - ziduri neportante	2 mm/m 3 mm/m
b. Pentru pereți din blocuri mici și plăci de BCA: - ziduri portante - ziduri neportante	4 mm/m 6 mm/m
c. Pentru ziduri din plăci de ipsos - ziduri neportante	3 mm/m
<i>Coaxialitatea zidurilor suprapuse:</i> - dezaxarea de la un nivel la următorul - maximă pe întreaga construcție	± 10 ± 30
<i>La rosturile de dilatație, tasare și antiseismice:</i> - lățimea rostului - verticalitatea muchiilor rosturilor	+ 20, - 10 2 mm/m

II.5. Erori care afectează aspectul și durabilitatea zidărilor de fațadă

Pentru prevenirea producerii și evoluției degradărilor fizice ale fațadelor sunt necesare măsuri tehnice și tehnologice adecvate care depind de severitatea condițiilor de mediu în care se va afla clădirea în ansamblu și în particular, elementele anvelopei.

Adoptarea unor măsuri exagerate în raport cu agresivitatea mediului conduce la costuri suplimentare nejustificate iar omiterea măsurilor adecvate sau adoptarea unor măsuri insuficiente accelerează procesul de degradare în timp reducând durata de exploatare a clădirii și implicând costuri suplimentare pentru remediere. Ca atare proiectarea zidărilor de fațadă pentru durabilitate trebuie să pornească de la definirea condițiilor de mediu în care se vor afla pe durata de exploatare. Cunoașterea cât mai exactă a agresivității mediului permite aplicarea celor mai adecvate metode de protecție și în același timp evitarea erorilor care ar putea rezulta prin aplicarea unor procedee inadecvate.

II.5.1. Clasificarea condițiilor de microclimat pentru zidăriile de fațadă conform SR EN 1996-1-1, SR EN 1996-2 ȘI CR6-2006

Pentru asigurarea durabilității clădirilor din zidărie, standardul **SR EN 1996-2** ia în considerare două categorii de condiții de mediu natural:

Macrocondiții: factori climatici care depind de climatul general al regiunii în care o construcție este realizată, modificat, după caz, prin efectele topografiei locale și / sau ale altor particularități ale amplasamentului.

Microcondiții: factori locali climatici și de mediu înconjurător care depind de poziția unui element de zidărie în ansamblul construcției și care iau în considerare efectele protecției, sau ale lipsei de protecție, care rezultă din detaliile de construcție și/sau din eficiența finisajelor utilizate.

Macrocondițiile care se iau în considerare pentru determinarea clasei de expunere se referă la:

- factorii climatici specifici ai amplasamentului:
 - ploaia și zăpada;
 - acțiunea simultană a vântului cu ploaia;
 - variațiile de temperatură;
 - variațiile umidității relative;
- severitatea expunerii la umezire;
- expunerea la cicluri îngheț/dezghet;
- prezența compușilor/substanțelor chimice care, în contact cu apa, pot conduce la reacții care afectează integritatea zidăriei (în special clorurile din aer sau din apa de mare).

Efectele celor două grupuri de condiții se pot influența reciproc. De exemplu, în cazul zidărilor de la fațade, efectul macrocondițiilor asupra microcondițiilor trebuie luat în considerare atunci când se determină umezirea zidăriei și expunerea acesteia la cicluri de îngheț / dezghet .

Conform standardului **SR EN 1996-2** și Codului **CR6-2006** condițiile de microclimat de expunere a zidăriei în exploatare se încadrează în **clase de expunere** definite după cum urmează:

- **MX1** – zidărie în mediu ambiant uscat;
- **MX2** – zidărie expusă la umiditate sau umezire;
- **MX3** – zidărie expusă la umezire cu cicluri de îngheț-dezghet;
- **MX4** – zidărie expusă la aer saturat de sare, apă de mare sau alte ape cu săruri;
- **MX5** – zidărie în mediu ambiant chimic agresiv.

Este evident că pentru clădirile de locuit și social culturale (care nu adăpostesc procese tehnologice cu substanțe agresive)

încadrarea în clasele de expunere se referă în special la zidăria de fațadă.

Detalierea, localizarea și exemplificare situațiilor în care zidăriile de fațadă se încadrează în aceste clase de expunere este dată în **SR EN 1996-2** după cum urmează:

MX1 – zidărie în mediu ambiant uscat:

- stratul interior al pereților exteriori dubli, cu gol interior, care probabil nu devin umezi;
- zidărie tencuită în pereți exteriori, care nu este expusă la scurgeri moderate sau severe de apă de ploaie și izolată de umezeala din zidărie sau materialele adiacente.

MX2 – zidărie expusă la umiditate sau umezire.

MX2.1. Zidărie expusă la umiditate, dar care nu este expusă la cicluri de îngheț/dezghet sau la surse exterioare cu nivel semnificativ de sulfați sau substanțe chimice agresive:

- pereți exteriori din zidărie adăpostiți de streașini sau atice înclinate, care nu este expusă la scurgere severă de apă sau la îngheț;

MX2.2. Zidărie expusă la umezire severă dar care nu este expusă la cicluri de îngheț/dezghet sau la surse exterioare cu nivel semnificativ de sulfați sau substanțe chimice agresive:

- zidărie amplasată în pereți exteriori cu piese de acoperire sau streașini drepte

MX3 – zidărie expusă la umezire cu cicluri de îngheț-dezghet.

MX3.1. Zidărie expusă la umiditate sau la umezire severă și la cicluri de îngheț/dezghet dar care nu este expusă la surse

exteroare cu nivel semnificativ de sulfați sau substanțe chimice agresive:

- zidărie ca în clasa **MX2.1**, expusă la cicluri de îngheț/dezgeț.

MX3.2. Zidărie expusă la umezire severă și la cicluri de îngheț/dezgeț dar care nu este expusă la surse exteroare cu nivel semnificativ de sulfați sau substanțe chimice agresive:

- zidărie ca în clasa **MX2.2**, expusă la cicluri de îngheț/dezgeț.

MX4 – zidărie expusă la aer saturat de sare, apă de mare sau alte ape cu săruri.

Zidărie expusă la aer saturat de săruri, apă de mare sau săruri de topire a gheții:

- zidărie exteroară în zona de litoral;

MX5 – zidărie în mediu ambiant chimic agresiv.

zidărie exteroară în apropierea zonelor industriale unde în atmosferă se află substanțe chimice agresive.

Împreună cu condițiile de mediu identificate așa cum am arătat mai sus durabilitatea zidărilor de fațadă poate fi redusă prin neglijarea condițiilor particulare de expunere adică de modul în care acestea sunt protejate împotriva umidității.

Din punct de vedere al severității, standardul **SR EN 771-1** încadrează condițiile de expunere la agenții din mediul înconjurător în trei categorii :

- **F0** - expunere în condiții **pasive**
- **F1** - expunere în condiții **moderate**
- **F2** - expunere în condiții **severe**

Cele trei condiții de expunere menționate mai sus se stabilesc, pentru un anumit amplasament, prin evaluarea probabilității de expunere la un conținut ridicat de apă, în funcție de regimul de umiditate, simultan cu cicluri de îngheț/dezghet, a căror manifestare este estimată în funcție de regimul termic specific amplasamentului.

Dacă în proiect se prevede o protecție sigură împotriva pătrunderii apei (de exemplu, un strat gros de tencuială sau alte tipuri de protecție) nu este necesară nici o restricție privind rezistența elementelor la îngheț/dezghet.

Rezistența zidăriei la îngheț-dezghet trebuie asigurată atât pentru zidăriile neprotejate cu elemente din clasa **HD** cât și pentru zidăriile cu elemente din clasa **LD** dacă au protecție limitată (de exemplu, un strat subțire de tencuială).

Proiectantul trebuie să specifice alegerea cărămizilor pentru zidăria de fațadă pe baza celor trei condiții de expunere care sunt exemplificate în continuare, conform anexei **B** la standardul **SR EN 771-1**:

- **F0** - Expunere în condiții pasive:
 - pereții exteriori prevăzuți cu protecție din tencuială cu grosimea stabilită conform condițiilor climatice locale;
 - straturile interioare din pereții exteriori dubli;
- **F1** - Expunere în condiții moderate:
 - zidăria de fațadă la care s-au luat măsuri adecvate pentru evitarea saturării cu apă (glafuri la ferestre, membrane sau alte sisteme de etanșare la partea superioară a aticelor și parapetilor, straturi de rupere a capilarității).
- **F2** - Expunere severă:

- parapete, atice, cornișe, pervaze, unde există condiții de acumulare a umidității în timpul sezonului cu temperaturi negative;
- orice perete exterior rămas neprotejat cu tencuială;

Standardul **SR EN 1996-2**, anexa **A**, ilustrează localizarea acestor situații de expunere pentru principalele elemente de construcție din clădirile curente în funcție de:

- poziția elementului în construcție;
- alcătuirea de detaliu a elementelor cele mai expuse.

Elementele fațadei care nu au protecție prin streășină sunt considerate cu **expunere severă** și impun măsuri speciale de protecție.

Pentru unele dintre elementele componente ale fațadelor prin concepția greșită a detaliilor, fără elemente/piese de protecție, nivelul de expunere crește de la **expunere moderată** la **expunere severă** așa cum rezultă din detaliile de mai jos pentru atice și parapetii ferestrelor.

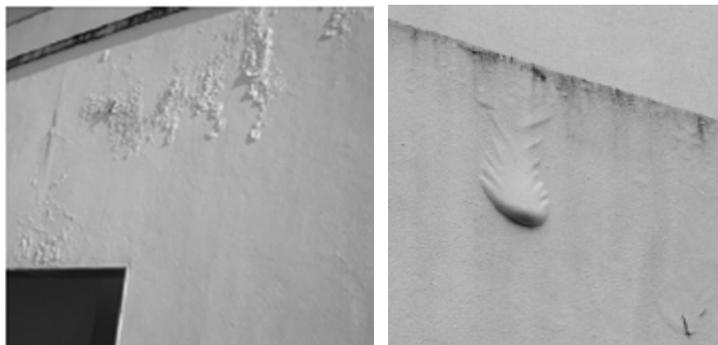


Figura II.27. Aspectul fațadei cu zidărie neprotejată împotriva umezelii.

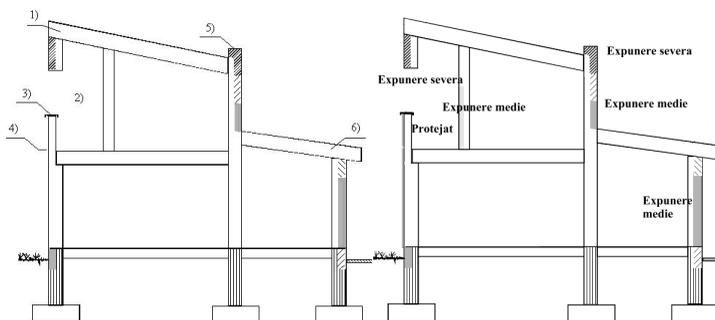


Figura II.28a. Expunerea zidăriei la acțiuni din mediul natural conform **SR EN 1996-2**

- 1) streășină dreaptă 2) balcon 3) piesă de acoperire 4) tencuială 5) parapet 6) streășină cu proeminență

Severitatea expunerii relative la umezire a diferitelor părți de construcție este reprezentată pe scara grafică din figura II.28b.



Figura II.28b. Scara expunerii relative la umezire conform **SR EN 1996-2**

P - protejat **ES** - expunere severă

Același standard ilustrează efectele concepției detaliilor de construcție asupra gradului de expunere pentru câteva elemente de construcție și permite astfel identificarea unor alcătuirii nefavorabile și, în consecință, evitarea lor.

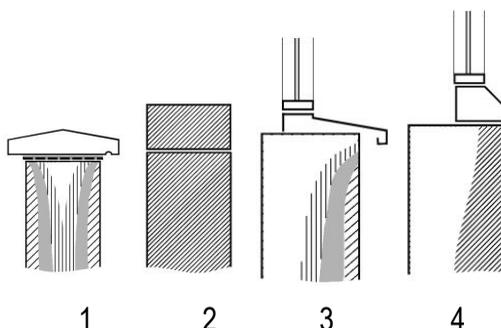


Figura II.28c. Efectul detaliilor de execuție asupra expunerii relative la umiditate

A. Parapet din zidărie: 1. Piesă de acoperire cu proeminență 2. Piesă de acoperire fără proeminență (dală simplă) → expunere severă în totalitate.

B. Perete de fațadă: 3. Glaf cu proeminență 4. Glaf fără proeminență (glaf plat) → expunere severă a stratului exterior al zidăriei

II.5.2. Alegerea materialelor pentru zidărie

II.5.2.1. Cauzele degradării elementelor pentru zidărie din argilă arsă

Degradarea în timp a elementelor pentru zidărie din argilă arsă se datorează efectelor produse de:

- Caracteristicile proprii ale elementelor.
- Condițiile mediului natural sau antropic în care se află în timpul exploatării.

Dintre caracteristicile proprii ale elementelor care pot produce degradarea în timp a elementelor pentru zidărie din argilă arsă menționăm:

Compoziția pastei și în special conținutul de săruri (mai ales săruri alcaline) și conținutul de carbonat de calciu. În timpul arderii în cuptor, carbonatul de calciu se transformă în var nestins care, în combinație cu apa, formează hidroxid de calciu care își mărește semnificativ volumul. Dacă granulele de var sunt mari și apropiate de fața exterioară se poate produce fenomenul cunoscut pe șantier sub denumirea de "împușcare" adică expulzarea unei bucăți din cărămidă cu formarea unui micrater circular (a se vedea figura III.20 (a)). Fenomenul este analog celui care se produce adesea în tencuielile cu var stins incomplet.

Amploarea fenomenului este cuantificată în unele reglementări - de exemplu, standardul **AS/NZS 4456** - prin numărul și dimensiunile craterelor pe fețele unui element pentru zidărie.

Prepararea elementelor. Elementele a căror pastă este preparată manual și care sunt formate/presate manual se caracterizează prin porozitate ridicată.

- Condițiile de ardere. Temperatura și durata arderii determină conținutul de sulfați care este mai mare la elementele incomplet arse; arderea la temperaturi ridicate dă naștere unor elemente cu porozitate redusă și rezistență la compresiune ridicată.
- Defecte de ardere. Unele elemente pot prezenta microfisuri datorate șocurilor termice sau chiar deformații de ansamblu.
- Defecte de execuție a zidăriei. Durabilitatea poate fi afectată de incompatibilitatea elementelor cu mortarul de zidire/tencuire (de exemplu, conținutul excesiv de săruri solubile din mortar).

II.5.2.2. Alegerea elementelor pentru zidărie

În cazul zidărilor cu elemente din argilă arsă, necesitatea protecției în vederea asigurării durabilității este stabilită, conform **SR EN 771-1**, în funcție de densitatea aparentă:

- elemente **LD (low density)**, cu densitatea aparentă în stare uscată $\leq 1000 \text{ kg/m}^3$, care pot fi utilizate numai pentru zidării protejate;
- elemente **HD (high density)**, cu densitatea aparentă în stare uscată $> 1000 \text{ kg/m}^3$, pot fi utilizate în zidării neprotejate (de fațadă)

În condiții date de expunere probabilă din cursul exploatării (condițiile de mediu natural și nivelul protecției), următoarele proprietăți ale elementelor pentru zidărie influențează în principal durabilitatea zidărilor:

- Rezistența la cicluri repetate de îngheț/dezghet în prezența umidității (gelivitatea);
- Rezistența la agresiunea chimică, în funcție de conținutul de săruri solubile active.

Aceste proprietăți trebuie luate în considerare atât pentru zidările neprotejate cu elemente din clasa **HD** cât și pentru zidările cu elemente din clasa **LD** dacă au protecție limitată (de exemplu, un strat subțire de tencuială).

Efectele ciclurilor îngheț/dezghet și ale agresiunii chimice pot fi amplificate sau reduse în funcție de măsurile adoptate la proiectare și de corectitudinea realizării lor la execuție.



Figura II.29. Distrugerea cărămizilor prin migrația sărușilor solubile [II.11]

Dintre efectele mediului natural trebuie să se țină seama în primul rând de umezirea zidăriei, uneori până la saturație, provenită din una dintre următoarele cauze:

- efectul direct al ploii sau al zăpezii topite;
- ascensiunea capilară de la fundații a apei din infiltrații sau din pânza freatică.

În ceea ce privește înghețul, acesta, chiar fără a fi repetat în cicluri, poate conduce, în anumite situații, la degradarea prematură a elementelor pentru zidărie (este, de exemplu, cazul zidărilor care în timpul execuției suferă temperaturi negative înainte de a fi protejate).

Efectele chimice provocate de agenții externi pot avea manifestări lente dar persistente. Este cazul celor date de prezența calciului și a magneziului care produc solubilizarea granulelor de cuarț și, prin aceasta, pierderea în timp a coeziunii materialului și scăderea rezistenței.

Durabilitatea elementelor din argilă arsă rezultă din relația între forțele care tind să producă dezagregarea materialului și rezistența acestuia. Cu cât există mai puțini pori deschiși cu

atât este mai mic efectul de dezagregare pe unitatea de volum (deci durabilitatea elementului este mai ridicată).

II.5.2.2.1. Rezistența la cicluri de îngheț/ dezgheț

Rezistența la îngheț-dezgheț a elementelor pentru zidărie ceramică are importanță deosebită în cazul zidărilor care sunt expuse, fără protecție corespunzătoare, efectelor mediului natural.

În cazul zidărilor netencuite, pătrunderea apei în pori sau în golurile elementelor cu perforații conduce, chiar după un număr redus de cicluri de îngheț-dezgheț, la distrugerea elementelor.



Figura II.30. Zidărie netencuită afectată de cicluri de îngheț/dezgheț în București (circa 15 ani) [II.25]

Porozitatea și dimensiunile porilor sunt importante pentru determinarea rezistenței la atacul sărurilor alcaline, pentru rezistența la îngheț și pentru rezistența mecanică.

Astfel, s-a constatat că elementele din argilă arsă cu volum mic de pori cu dimensiuni mici au cea mai bună rezistență la îngheț. Temperatura de ardere ridicată favorizează formarea porilor cu dimensiuni mari.

II.5.2.2.1.1.Prevederile reglementărilor tehnice

Standardul **SR EN 1996-2** precizează că, deoarece în prezent nu există o reglementare europeană privind încercarea la îngheț/dezghet, se poate ține seama în acest scop de experiența națională, verificată în timp. Criteriile indirecte, bazate pe considerente mecanice și/sau fizice, cum sunt rezistența la compresiune sau capacitatea de absorbție a apei nu pot defini, cu certitudine, comportarea elementelor pentru zidărie la îngheț/dezghet. Aceste condiții sunt însă luate în considerare în reglementările din USA.

Clasificarea elementelor ceramice din punct de vedere al rezistenței la îngheț/dezghet se poate face și pe baza testelor de laborator.

Astfel, standardul britanic **BS 3921** definește trei categorii de rezistență la îngheț/dezghet pentru elementele din argilă arsă:

- Categoria F: Cărămizi rezistente la îngheț/dezghet; cărămizi care rezistă, în stare de saturație, la 100 de cicluri de îngheț/dezghet, în condiții de laborator.
- Categoria M: Cărămizi cu rezistență moderată la îngheț/dezghet; cărămizi care sunt rezistente la îngheț/dezghet cu excepția cazurilor în care se află în stare de saturație. Aceste cărămizi sunt considerate a fi mai puțin durabile decât cele din categoria **F** dar au durabilitate normală la zidurile exterioare dacă au fost protejate corespunzător pentru a se împiedica saturația cu apă. Pentru încadrarea cărămizilor în această categorie se cere numai rezistența la 10 cicluri de îngheț/dezghet în condiții de laborator.
- Categoria O: Cărămizi fără rezistență la îngheț; cărămizi susceptibile de a fi degradate din îngheț/dezghet. Ele pot fi folosite numai pentru zidării

interioare și necesită chiar și măsuri speciale de protecție dacă sunt depozitate în spații deschise în timpul iernii.

II.5.2.2.2. Stabilitatea chimică a componentelor zidăriei

În prezența apei care migrează, existența sulfaților solubili în apă (sulfații de sodiu, de potasiu sau de magneziu) conduce, de regulă, la degradarea zidăriei, în special în condițiile unui nivel ridicat de umiditate. De exemplu, prezența unor cantități mari de sulfat de magneziu produce modificarea aspectului exterior, sau chiar degradarea elementelor, prin fenomenul cunoscut sub denumirea de **cripto-eflorescență** (figura II.31.b). Fenomenul este datorat cristalizării sărurilor solubile pe suprafața elementelor sau în interiorul acestora, aproape de suprafață și nu trebuie confundat cu **eflorescența** obișnuită care se produce la suprafața elementelor din argilă arsă și care poate fi corectată chiar prin procesul natural de uscare.

Mecanismul degradării zidăriei sub efectul sulfaților solubili este arătat în figura II.31(a).

1. Zona în care sulfații sunt dizolvați.
2. Sulfații dizolvați pătrund în mortar și reacționează cu aluminatul tricalcic (C_3A) din cimentul Portland.
3. Zona în care se produce umflarea și sfărâmarea mortarului.

Aspectul zidăriei care rezultă din agresiunea sulfatică este arătat în figurile II.31 (b) și (c).

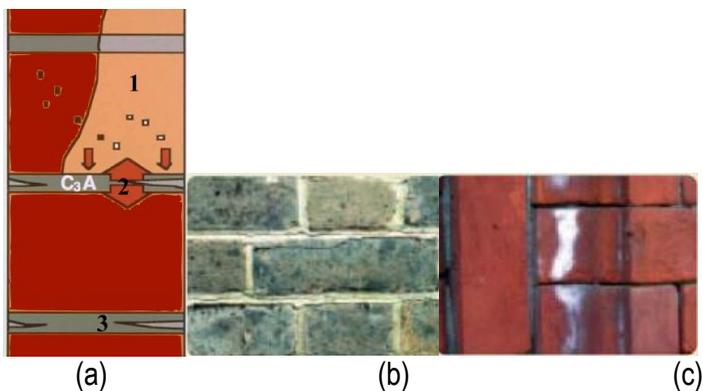


Figura II.31. Degradarea zidăriei din cauza sulfatilor solubili [II.26]

(a) Schema acțiunii chimice (b) (c) Aspectul zidăriei

Fenomenul nu se produce dacă pentru prepararea mortarului se folosește ciment rezistent la acțiunea sulfatilor.

Cunoașterea conținutului de săruri solubile active (sodiu, potasiu, magneziu) este necesară mai ales în cazul în care elementele pentru zidărie sunt destinate a fi utilizate cu protecție limitată (de exemplu, numai un strat subțire de tencuială).

Valoarea maximă procentuală a acestor substanțe determină clasificarea elementelor pentru zidărie în trei clase (**S0**, **S1**, **S2**), conform **SR EN 771-1**.

Tabelul II. 5

Clasa	Procentul total în masă ≤	
	Na ⁺ ,K ⁺	Mg ⁺
S0	nu se cere	nu se cere
S1	0.17	0.08
S2	0.06	0.03

Utilizarea elementelor pentru zidărie din diferitele clase trebuie să fie corelată cu valorile conținutului de săruri și cu condițiile de expunere. În cazul zidărilor care rămân neprotejate (aparente), proiectantul trebuie să precizeze explicit clasa elementelor care pot fi utilizate.



Figura II.32. Eflorescențe pe zidăria aparentă [II.4]

- (a) Eflorescență intensă pe care se văd și cristalele de săruri
- (b) Eflorescență difuză

Încadrarea elementelor pentru zidărie din punct de vedere al gelivității și al conținutului de săruri solubile, trebuie comunicate de către producător/furnizor în avizul de însoțire a produselor, conform prevederilor din **SR EN 771-1**.

Absența sau pierderea stabilității chimice în timp a elementelor pentru zidărie și/sau a mortarelor are ca principal efect degradarea aspectului zidărilor aparente sau tencuite.

Ciclurile succesive umezire/uscare favorizează migrația sărurilor către suprafața cărămizilor și agravează deteriorarea zidăriei.

Erorile de proiectare, în special cele care se produc, din neglijență, la alegerea materialelor și la detalierea constructivă precum și greșelile de execuție sunt principala cauză a producerii eflorescenței. În cea mai mare parte a cazurilor

alegerea necorespunzătoare a materialelor este favorizată de absența / insuficiența **specificațiilor tehnice**.

Fenomenul de eflorescență poate afecta și tencuielile executate cu mortare necorespunzătoare.

II.5.2.2.3. Factori care favorizează producerea eflorescenței

Așa cum se arată în continuare, în sinteza preluată din [II.7], există un număr mare de factori care interacționează defavorabil și care pot produce eflorescențe. Severitatea efectelor lor este diferită dar, în unele situații, chiar unele cauze minore pot contribui la sporirea efectului negativ final.

1. Defectele de proiectare, în special cele care se produc la alegerea materialelor și la detalierea constructivă precum și greșelile de execuție sunt principala cauză a producerii eflorescenței.
2. Cele mai severe forme de eflorescență sunt produse de sărurile solubile alcaline (în principal sulfatați de sodiu și potasiu). Alte săruri solubile sau insolubile (carbonat de calciu, sulfat de calciu, etc) sunt mai puțin periculoase iar efectele lor sunt temporare.
3. Anumite tipuri de cărămizi, în special cărămizile puțin arse și cărămizile cu absorbție mare de apă au cel mai ridicat potențial de producere a eflorescenței. Se recomandă utilizarea cărămizilor arse complet, cu capacitate de absorbție scăzută/moderată sau a cărămizilor care au fost încercate în ceea ce privește potențialul de producere a eflorescenței printr-o metodă recunoscută, de exemplu, conform **ASTM C67**.
4. Cimenturile Portland cu conținut ridicat de alcali au potențial ridicat de producere a eflorescenței. Se

recomandă cimenturile cu conținut redus de alcali sau ciment alb.

5. Varul dă naștere la mortare cu potențial redus de eflorescență (unele tipuri de var nu produc deloc eflorescență). Varul hidraulic obținut din calcare impure, cu mult siliciu, are potențial mai ridicat decât cel al varului pur, apropiat chiar de cel al cimentului.
6. Apa murdară sau apa de mare folosită la prepararea mortarului dă naștere la eflorescențe; se recomandă să se folosească numai apă curată/potabilă
7. Cea mai sigură cale pentru a evita formarea eflorescenței este împiedicarea umezelii să pătrundă în perete prin realizarea rosturilor etanșe. Se recomandă mortare cu conținut ridicat de var care dau zidărie impermeabilă datorită aderenței, plasticității și conținutului scăzut de săruri solubile.

II.5.2.2.4. Efectele variațiilor de volum ale zidăriei.

Variațiile de volum ale zidărilor pot proveni din două categorii principale de cauze:

- variațiile de temperatură sezoniere;
- variațiile conținutului de umiditate.

Amploarea acestor efecte depinde în primul rând de materialele din care sunt realizate elementele pentru zidărie și de modul în care sunt legate elementele în perete (în particular, modul de realizare a rosturilor verticale dintre elemente).

Cunoașterea proprietăților zidăriei și adoptarea în consecință a măsurilor constructive asigură evitarea unor manifestări, care fără a implica riscuri referitoare la rezistență și stabilitate, pot

avea consecințe nefavorabile în ceea ce privește condițiile de confort și de aspect și implicit costuri pentru remediere.

II.5.2.2.4.1. Expansiunea din umiditate

Proprietățile mecanice ale elementelor de zidărie sunt afectate de fenomene reologice specifice materialului din care sunt realizate.

În timp, sub stare de eforturi constantă, elementele din argilă arsă prezintă deformații de **umflare** (expansiune).

Umflarea, care este datorată umidității, are un caracter lent - valorile maxime sunt atinse după circa 500 de zile - și se dezvoltă ca urmare a unor reacții chimice complexe care se produc datorită absorbției apei din mediul înconjurător.

Alte cercetări afirmă că procesul de umflare a elementelor din argilă arsă poate să se manifeste chiar pe durate foarte lungi, cuprinse între 20 ani și 50 de ani.

Datele din literatură privitoare la mărimea acestor deformații sunt foarte diferite. Diferențele sunt atât obiective (provin din particularitățile de fabricare ale elementelor respective) cât și subiective (provin din metodologiile de măsurare).

Astfel:

- Standardul englez **BS 5628:2001** evaluează expansiunea la 1 mm/1m (1‰).
- Datele din [III.13] indică următoarele valori ale acestor parametri pentru elementele fabricate în Canada:
 - Coeficient de expansiune (umflare) la umiditate: 0.016% ÷ 0.028% (la 500 de zile).
- În Australia [III.3] cărămizile sunt clasificate în trei grupe pe baza valorilor expansiunii produse de umiditate:
 - expansiune mică $\leq 0.06\%$;
 - expansiune medie $\leq 0.12\%$;

- expansiune mare $\leq 0.18\%$.
- În Suedia, conform **BKR**, cerința privind stabilitatea dimensională sub efectul umidității se consideră satisfăcută dacă testele standard arată că variațiile lungimilor satisfac următoarele condiții:
 - valoarea medie a măsurătorilor $\leq 0.05\%$;
 - valoarea maximă pentru o probă $\leq 0.06\%$.

În absența rosturilor de dilatare variațiile de volum (expansiunea elementelor din argilă arsă) conduc la fisurarea zidăriei. Formarea acestor fisuri constituie premiza reducerii rezistenței la cutremur în planul peretelui sau perpendicular pe plan.

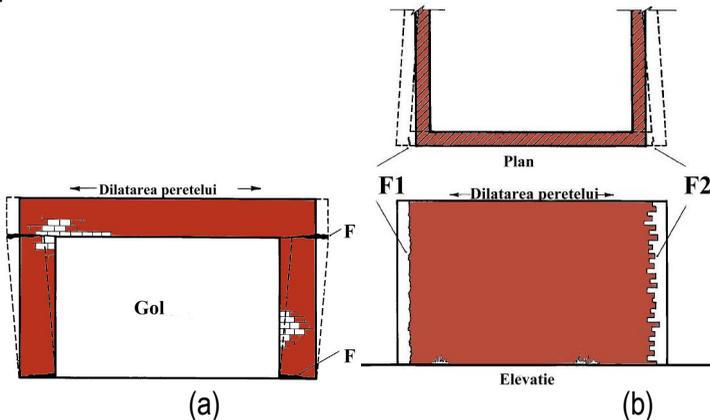


Figura II.33.Efectele dilatării zidăriei în absența rosturilor de dilatare [II.27]

(a) Perete cu gol (b) Perete plin

F – fisuri orizontale în montanți F1 – fisură verticală prin elemente și rosturi F2 – fisură verticală prin rosturile mortar verticale și orizontale

Zonele de discontinuitate a planului zidăriei (decoșarea pe lungime/adâncime mică) sunt deosebit de sensibile la dilatarea termică și la efectul variației de umiditate a zidăriei (expansiunea) deoarece dilatările de semn contrar a celor două planuri ale peretelui conduc la fisurarea colțurilor. Fisurarea poate fi evitată dacă la unul dintre colțuri se introduce un rost vertical care permite deplasarea.

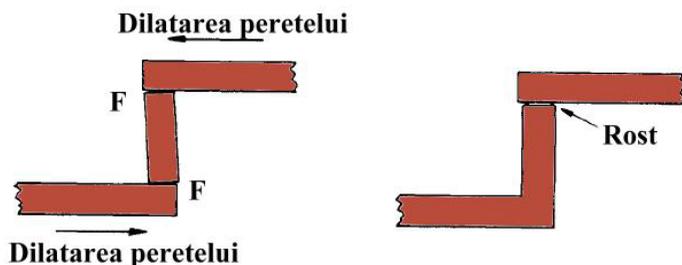


Figura III.34. Efectul dilatării zidăriei în planul fațadei
F – fisura verticală

11.5.2.4.2. Alegerea elementelor pentru zidărie în funcție de condițiile de expunere conform standardului SR EN 1996-2.

Standardul **SR EN 1996-2** prevede condiții specifice de folosire a diferitelor tipuri de elemente pentru zidărie, în funcție de condițiile de expunere.

I. Pentru elementele din **argilă arsă**, în corelare cu condițiile de expunere și cu utilizarea prevăzută a elementelor din zidărie, în proiect trebuie să se precizeze încadrarea elementelor pentru zidărie din punct de vedere al rezistenței cerute la îngheț/dezghet (clasele **F0÷F2**), și din punct de vedere al conținutului de săruri solubile (clasele **S0÷S2**). Domeniile de folosire a

elementelor, exprimate prin clasele de expunere **MX1** ÷ **MX3.2**, corelate cu prevederile **SR EN 771-1**, sunt următoarele:

Tabelul II.6.

Clasa de expunere	MX1	MX2.1	MX2.2	MX3.1	MX3.2
Elemente recomandate	Oricare	F0,F1,sau F2 S1 sau S2		F1 sau F2 S1 sau S2	F2 S1 sau S2

II.Pentru utilizarea elementelor **silico calcare** și din **beton cu agregate** (grele sau ușoare) în clasele de expunere **MX2.1** și **MX2.2** nu există restricții de folosire iar în clasele de expunere **MX3.1** și **MX3.2**. folosirea este condiționată numai de rezistența la îngheț/dezgheț.

III.Elementele din **BCA** pot fi folosite în clasele de expunere **MX2.2**, **MX3.1** și **MX3.2** numai dacă au greutate specifică mai mare de 400 kg/m³.

IV.Pentru elementele din **piatră artificială** care respectă prevederile **SR EN 771-5** nu există restricții de folosire până la clasa de expunere **MX3.2**, inclusiv.

V.Pentru elementele din **piatră naturală** este necesară consultarea furnizorului în ceea ce privește folosirea în clasele de expunere **MX3.1** și **MX3.2**.

Pentru clasele de expunere **MX4** și **MX5**, având în vedere complexitatea acțiunilor agresive posibile, folosirea diferitelor categorii de elemente pentru zidărie se analizează pentru fiecare caz în parte:

- **MX4:** în fiecare caz se evaluează gradul de expunere la săruri, agenți de umezire și cicluri de îngheț/dezghet și se consultă furnizorul pentru alegerea elementelor în funcție de aceste date;
- **MX5:** în fiecare caz se face o evaluare specifică a mediului înconjurător și a efectului substanțelor chimice din acesta luând în considerare concentrațiile, cantitățile existente și tipul de reacție și se consultă furnizorul pentru alegerea elementelor în funcție de aceste date.

II.5.2.2.4.3. Alegerea elementelor pentru zidărie în funcție de condițiile de expunere conform practicii din USA

Criteriile de folosire din punct de vedere al durabilității prevăzute în standardele **ASTM C62** și **ASTM C216** pentru elementele pentru zidărie, se referă, în primul rând, la rezistența acestora la ciclurile de îngheț-dezghet:

- Calitatea **SW** (condiții climatice de afectare severe ⇒ **Severe Weathering**): elementele se folosesc acolo unde se cere un nivel de rezistență ridicat și uniform la acțiunea înghețului și la acțiunea distructivă a mediului, dacă există o expunere permanentă la îngheț în prezența apei.
- Calitatea **MW** (condiții climatice de afectare moderate ⇒ **Moderate Weathering**): elementele se folosesc în situațiile în care urmează să fie expuse la temperaturi negative dar cu probabilitate foarte mică de a fi în același timp îmbibate cu apă, în cazurile în care este acceptat un grad moderat și neuniform de rezistență la îngheț.

- Calitatea **NW** (condiții climatice de afectare neglijabile ⇒ ***Negligible Weathering***): elementele se folosesc numai pentru stratul suport al pereților de fațadă plăcați sau numai pentru pereți interiori.

Condițiile de durabilitate formulate mai sus sunt asociate, pentru elementele de calitate **SW** și **MW**, cu cerințe specifice referitoare la rezistența la compresiune (a se vedea capitolul **4.2**) și cu cerințe referitoare la unele proprietăți fizice cum sunt:

- Absorbția maximă de apă, cu valorile următoare:
 - **SW** → media 17.0% , dar maximum 22.0% pentru o probă;
 - **MW** → media 22.0% , dar maximum 25.0% pentru o probă;
 - **NW** → nu se limitează ca medie și nici pentru o probă.

Media se calculează pe cinci epruvete.

- Coeficientul de saturație maxim, cu valorile următoare:
 - **SW** → media 0.78, dar maximum 0.80 pentru o probă;
 - **MW** → media 0.88, dar maximum 0.90 pentru o probă;
 - **NW** → nu se limitează ca medie și nici pentru o probă.

Pentru elementele de calitate **NW** nu se limitează valorile medii sau individuale nici pentru absorbția maximă de apă și nici pentru coeficientul de saturație maxim.

II.5.2.3. Alegerea mortarului

II.5.2.3.1. Factori de care depinde durabilitatea mortarului

În general, pentru toate tipurile de mortare, durabilitatea crește odată cu creșterea dozajului de ciment. Mortarele fabricate pe baza conceptului de performanță (mortare **proiectate**) sunt

astfel cele care oferă proprietăți de durabilitate superioare, dar și mortarele de rețetă pot fi folosite cu elemente argilă arsă. Prin folosirea unor adaosuri speciale (asemănătoare cauciucului) se poate obține reducerea permeabilității mortarului și pe această cale îmbunătățirea rezistenței la pătrunderea apei de ploaie.

Durabilitatea mortarului este influențată și de calitatea materialelor componente.

Astfel proprietățile cimentului Portland se degradează în cazul în care se află mult timp în contact cu aerul. Prin folosirea nisipului cu conținut ridicat de argilă sau a celui monogranular cu particule mici rezultă mortare poroase deci cu permeabilitate ridicată, susceptibile de acumulare a apei în pori și de degradare rapidă în cazul înghețului.

Rezistența la îngheț-dezghet este un indicator de durabilitate pentru mortarele care în cursul exploatării pot fi supuse acțiunii apei din precipitații asociată cu alternanțe de temperaturi pozitive și negative.

Fenomenul produce degradarea fizică a mortarului prin eforturile induse în masa acestuia datorită creșterii volumului apei din pori în momentul înghețului. Prin repetarea de câteva ori pe an a acestui fenomen, dezagregarea mortarului avansează în interiorul rosturilor și prin aceasta rezistența mecanică a zidăriei scade rapid, în numai câțiva ani, mai ales în cazul în care aceasta nu este protejată cu tencuială. Menționăm că fenomenul afectează în primul rând mortarul de tencuială și, după degradarea acestuia, avansează în mortarul dintre cărămizi.

În situațiile în care există o probabilitate ridicată de producere a acestui fenomen este necesară testarea mortarului înainte de punerea în operă. Se consideră că mortarul are rezistență

satisfăcătoare dacă pierderea în greutate după 50 de cicluri îngheț-dezgeț este de cel mult 1%.

II.5.2.3.2. Alegerea mortarele pentru durabilitate

Mortarul pentru zidărie se alege în funcție de condițiile de expunere ale zidăriei și de tipul și proprietățile elementelor pentru zidărie.

În prezent nu există un standard european de încercare pentru durabilitate, astfel încât măsura în care mortarele pentru zidărie corespund cerințelor de durabilitate se determină pe baza informațiilor existente în zona/regiunea amplasamentului privind performanțele anumitor materiale și/sau rețete de mortare.

Pentru elementele de construcție aflate în clasele de expunere **MX3÷MX5**, ale clădirilor din clasele de importanță **I** și **II**, din zonele seismice cu accelerația seismică de proiectare $a_g \geq 0.20g$, se recomandă ca producătorul elementelor pentru zidărie să avizeze tipul mortarului pentru zidărie care urmează să fie folosit sau încercările care pot fi făcute în concordanță cu standardele din seria **SR EN 1015**.

II.5.2.3.2.1. Alegerea mortarelor conform SR EN 1996-2

Standardul **SR EN 1996-2** prevede ca alegerea mortarelor pentru zidărie să se facă ținând seama de riscul de expunere la umiditate al zidăriei și de probabilitatea producerii, în același timp, a efectelor de "îngheț/dezgeț".

Cerințele de durabilitate pentru mortare sunt formulate în **SR EN 998-2**.

Tabelul II.7

Tipul mortarului și domeniul de folosire	Proporțiile amestecului (în volum)				
	Ciment GP	Ciment GB	Ciment de zidărie	Var	Nisip
M4 Mediu agresiv	1	---	---	$0 \div \frac{1}{4}$	3
	1	---	---	$\frac{1}{2}$	$4\frac{1}{2}$
	---	1	---	$0 \div \frac{1}{4}$	$2\frac{1}{2}$
	1 + AS	---	---	---	4
	---	---	1	---	3
M3 Mediu moderat agresiv	1	---	---	1	6
	---	1	---	1	5
	1 + AS	---	---	---	5
	---	---	1	---	4
M2 Mediu slab gresiv	1	---	---	1	9
	---	1	---	2	8

AS – Adaos tip “apa stop”

II.5.2.4. Alegerea armăturilor

Standardul **SR EN 1996-2** recomandă alegerea armăturilor pe baza criteriilor de durabilitate formulate în **SR EN 1996-1-1** care prevăd următoarea cerință:

"Oțelul pentru armare trebuie să fie suficient de durabil, fie fiind rezistent la coroziune, fie având o protecție adecvată, astfel încât, dacă este pus în operă în conformitate cu regulile de execuție din secțiunea 8, el să reziste condițiilor de expunere locale pentru durata de viață prevăzută a clădirii".

Tipul oțelului pentru armături și nivelul minim de protecție pentru armături se aleg ținând seama de clasa de expunere corespunzătoare amplasamentului și/sau elementului conform tabelului III.8 (reprodus din **SR EN 1996-2**).

Tabelul II.8

Clasa exp.	Nivelul minim de protecție pentru oțelul armăturilor	
	Înglobat în mortar	Înglobat în beton cu o acoperire mai mică decât cea cerută în tabelul III.8.
MX1	Oțel carbon neprotejat	Oțel carbon neprotejat
MX2	Oțel carbon, puternic galvanizat sau cu protecție echivalentă Oțel carbon neprotejat într-o zidărie tencuită pe fața expusă(*)	Oțel carbon neprotejat sau, dacă este folosit mortar pentru umplerea golurilor, oțel carbon, puternic galvanizat sau cu protecție echivalentă
MX3	Oțel inoxidabil austenitic AISI 316 sau 304 Oțel carbon neprotejat într-o zidărie tencuită pe fața expusă(*)	Oțel carbon, puternic galvanizat sau cu protecție echivalentă
MX4	Oțel inoxidabil austenitic AISI 316 Oțel carbon, puternic galvanizat sau cu protecție echivalentă cu o tencuială de mortar pe fața expusă	Oțel inoxidabil austenitic AISI 316
MX5	Oțel inoxidabil austenitic AISI 316 sau 304(**)	Oțel inoxidabil austenitic AISI 316 sau 304 (**)

(*) Pentru protecție se folosește mortarul de utilizare generală sau pentru rosturi subțiri, de clasă cel puțin M4, și este recomandat ca acoperirea laterală să fie sporită la 30 mm și zidăria să fie tencuită cu un mortar de tencuială conform **SR EN 998-1**.

(**) Este posibil ca în cazul clasei de expunere **MX5**, oțelul inoxidabil austenitic să nu corespundă tuturor condițiilor de mediu agresive și din acest motiv este necesară examinarea acestora pentru fiecare proiect în parte.

II.5.2.5. Alegerea materialelor auxiliare

Materialele auxiliare care intră în alcătuirea zidărilor sunt:

1. Agrafe, bride de fixare, suporturi și console
2. Buiandrugii prefabricați
3. Armături pentru rosturile orizontale

Principalele probleme legate de durabilitate se referă la elementele metalice, atât cele care nu se înglobează în mortar sau în beton cât și cele care se înglobează.

Aceste elemente sunt supuse în primul rând coroziunii atmosferice ale cărei efecte pot fi amplificate de prezența umidității.

Cerințele referitoare la durabilitatea materialelor auxiliare sunt în principal următoarele:

- Elementele de legătură pentru pereți și prinderile lor vor fi capabile să reziste la acțiunea relevantă a mediului înconjurător și la mișcările relative între straturi. Ele vor avea rezistență la coroziune corespunzătoare mediului în care sunt utilizate.

- Elementele de ancorare ale placajelor din zidărie sau ale stratului exterior al fațadelor ventilate (cu gol de aer) vor fi executate din oțel inoxidabil.
- Eclisele, ancorele, scoabele și cornierele înglobate în zidărie vor avea rezistență la coroziune corespunzătoare condițiilor de mediu în care sunt utilizate. Protecția acestora se va realiza cu orice procedeu recunoscut în practica curentă pentru condiții de mediu similare.

Durabilitatea ancorelor trebuie asigurată pe toată durata de existență a clădirii care poate atinge 100 de ani sau chiar mai mult.

Rezistența ancorelor la coroziune depinde de un număr mare de factori dintre care efectele cele mai importante sunt date de:

- calitatea oțelului și nivelul de protecție intrinsecă sau superficială;
- compatibilitatea cu materialele (metalele) alăturate;
- condițiile de expunere;
- condițiile de montaj.



Figura II.35. Ancoră din oțel galvanizat corodată în zona înglobată în mortar

II.5.3. Asigurarea durabilității zidăriei

II.5.3.1. Protecția zidăriei

II.5.3.1.1. Măsuri constructive pentru prevenirea saturării zidăriei

Pentru cazul zidărilor expuse în condiții medii, standardul **SR EN 998-2**, anexa **B**, propune, mai multe măsuri constructive pentru prevenirea saturării zidăriei:

- protecția extremităților pereților cu piese speciale, (a se vedea figura III.28c) sau cu materiale hidroizolante;
- prevederea unor orificii de scurgere;
- asize de etanșare (cu elemente speciale) la baza peretelui și la partea de sus a acestuia.

II.5.3.2. Măsuri pentru protecția armăturilor

Asigurarea durabilității armăturilor se realizează, de regulă, prin protejarea oțelului obișnuit (oțel carbon) prin diferite metode/procedee tehnologice. Complexitatea măsurilor de protecție diferă în funcție de clasa de expunere a elementului în care este înglobată armătura respectivă.

În cazul elementelor de construcție din clasa de expunere **MX1** nu sunt necesare măsuri de protecție pentru oțel.

Pentru clasele de expunere **MX2** și **MX3**, care sunt clasele care întâlnesc în mod obișnuit pentru clădirile curente (cu excepția celor de pe litoral), protecția oțelului se poate realiza prin:

- înglobare în mortar sau beton;
- galvanizare;
- acoperire cu rășini epoxidice;
- printr-o combinație a acestor procedee (la aprecierea proiectantului).

Pentru a se realiza protecția armăturilor prin înglobare în mortar trebuie să fie îndeplinite următoarele condiții:

- Tipul și marca minimă a mortarului vor fi alese în funcție de umiditatea relativă cu caracter permanent a aerului din încăperile respective:
 - mortar de ciment-var **M5** - pentru încăperi cu umiditate relativă interioară permanentă a aerului $\leq 60\%$;
 - mortar de ciment cu adaos de plastifianți **M10** - pentru încăperi cu umiditate relativă interioară permanentă a aerului $> 60\%$.
- Acoperirea laterală cu mortar a barelor dispuse în rosturile orizontale va fi de cel puțin 20 mm, la pereții care se tencuiesc ulterior și cel puțin 35 mm la pereții care rămân netencuiți; pentru clasele de expunere **MX4** și **MX5**, în cazul pereților care urmează să rămână netencuiți (zidărie aparentă sau de placaj), este necesar ca grosimea stratului de protecție să fie sporită până la 45 mm.
- Zidăria va fi tencuită cu mortar \geq **M2.5**.

Pentru armăturile din elementele de confinare din beton armat, protecția se asigură prin prevederea în proiecte a unui strat de acoperire cu grosime conform cerințelor din **SR EN 1992**

Standardul **SR EN 1996-1-1** stabilește grosimea minimă stratului de acoperire cu beton pentru clasele de expunere, în funcție de dozajul de ciment și de raportul apă/ciment al betonului.

În tabelul II.8 sunt date grosimile straturilor de acoperire în funcție de acești parametri pentru cele cinci clase de expunere.

Tabelul II.8

Clasa de expunere	Dozaj minim de ciment (kg/m ³)				
	275	300	325	350	400
	Raport maxim apă/ciment				
	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Grosime minimă a stratului de acoperire				
MX1	20	20	20	20	20
MX2	----	35	30	25	20
MX3	----	----	40	30	25
MX4 ,MX5	----	----	----	60	50

Pentru asigurarea durabilității necesare, în cazurile în care oțelul carbon necesită protecție conform tabelului III.7, armăturile trebuie să fie galvanizate conform prevederilor standardului **EN ISO 1461**, astfel încât acoperirea cu zinc să aibă o cantitate de zinc de minimum 900 g/m² sau se galvanizează prin acoperire cu o cantitate de zinc de minimum 60 g/m² și se acoperă cu un strat aderent de epoxy cu grosime de cel puțin 80 μm, cu o medie de 100 μm. Ca alternativă, protecția necesară se poate realiza integral printr-un strat de pulbere de epoxy aplicat prin fuziune.

Pentru a se evita deteriorarea protecției, oțelul va fi galvanizat după fasonare.

În unele cazuri speciale, în special pentru clasele de expunere **MX4** și **MX5**, dacă protecțiile prin înglobare în mortar /acoperire cu zinc sunt considerate insuficient de sigure, se pot folosi oțeluri rezistente la coroziune (**SR EN 1996-1-1**, recomandă oțel inoxidabil austenitic **AISI 3161**). Această soluție implică sporuri substanțiale ale costului inițial al lucrării dar se pot dovedi rentabile dacă se au în vedere cheltuielile totale pe durata de exploatare.

II.5.3.3. Protecția materialelor auxiliare din zidărie

II.5.3.3.1. StratURI de rupere a capilarității

Deoarece lucrările de întreținere, reparare sau înlocuire a straturilor de rupere a capilarității sunt practic imposibil de realizat, acestea trebuie să aibă durabilitatea corespunzătoare tipului de clădire la care se utilizează și condițiilor de mediu respective. Straturile vor fi alcătuite din materiale cu rezistență suficientă pentru a nu fi străpunse la utilizare și vor fi capabile să reziste la eforturile mecanice fără să favorizeze producerea condensului sau a migrație apei.

Straturile pentru ruperea capilarității trebuie să fie realizate din materiale ale căror proprietăți nu se deteriorează în timp. Astfel, nu se vor folosi materialele care sunt susceptibile de a putrezi, cum sunt cartonul asfaltat și pânda asfaltată.

Cele mai indicate soluții sunt cele care folosesc materiale plastice sau tencuieli hidrofuge. În cazul tencuielilor hidrofuge este necesar să se verifice agresivitatea față de ciment a apelor respective.

II.5.3.3.2. Elemente metalice auxiliare

Materialele pentru fabricarea componentelor auxiliare și sistemele lor de protecție anticorosivă sunt specificate complet în părțile relevante ale **SR EN 845** și fiecare este indicat printr-o referință unică material/acoperire. Standardul **SR EN 1996-2**, anexa **C**, tabelele **C.1**, **C.2** și **C.3** indică o scurtă descriere a materialelor și claselor de expunere pentru care acoperirea specificată este corespunzătoare. Această indicație se bazează pe o experiență îndelungată privind durabilitatea acestor materiale în domeniul condițiilor de expunere. În mod obișnuit nu sunt acceptate teste de expunere accelerată pentru măsurarea durabilității.

Pentru materialele aferente fiecărei clase de expunere este de așteptat o durată de folosire acceptabilă din punct de vedere

economic în condițiile descrise, Alegerea depinde de utilizarea specifică, amplasamentul său și durata de folosire cerută.

Pentru pereții alcătuiți din mai multe straturi, elementele metalice de legătură vor fi capabile să reziste la acțiunile agresive care pot proveni din mediul înconjurător. În funcție de clasa de expunere, pentru aceste elemente se vor prevedea măsurile corespunzătoare de protecție împotriva coroziunii. Ținând seama de riscul pentru siguranța vieții care poate proveni ca urmare a corodării lor, mai ales în zone seismice, elementele de ancorare ale placajelor din zidărie sau ale stratului exterior al fațadelor ventilate (cu gol de aer) vor fi executate din oțel inoxidabil.

Eclise, scoabe și corniere

Materialele pentru agrafe, eclise, console și ancore, conforme cu **SR EN 845-1**, pot fi alese folosind tabelul **C.1** din **SR EN 1996-2**.

Toate piesele metalice înglobate în zidărie (eclise, ancore, scoabe și corniere) trebuie să aibă protecția anticorrosivă corespunzătoare condițiilor de mediu în care sunt utilizate. Protecția se poate realiza cu orice procedeu recunoscut în practica curentă pentru condiții de mediu similare. Oțelul galvanizat este un material convenabil pentru ancore deoarece are o durabilitate satisfăcătoare în condițiile unui preț relativ scăzut, în comparație cu cel al oțelului inoxidabil. Durabilitatea ancorei depinde de cantitatea de zinc depusă pe fața oțelului. În literatură există puține date referitoare la cantitatea de zinc necesară pentru asigurarea durabilității. Unele cercetări din Anglia au arătat că, în condițiile expunerii simultane la aer și umiditate, pierderea de zinc anuală variază între $10 \div 20 \text{ g/m}^2$. De aci rezultă că, pentru o pierdere medie anuală de 15 g/m^2 , este necesară o acoperire de cel puțin 750

g/m² pentru a se asigura protecția necesară pe o durată de 50 de ani.

În Australia, avariile observate după cutremurul din Newcastle din 1989 [II.10] au arătat că numeroase ancore nu au rezistat solicitărilor la care au fost supuse datorită degradărilor suferite în timp. Astfel s-a constatat că dintre ancorele care au cedat numeroase erau complet distruse prin coroziune datorită condițiilor de mediu în care s-au aflat pe durata de funcționare.



Figura II.36. Ancora complet distrusă de coroziune –observată după cutremurul din Newcastle – Australia (1989) [II.10]

Ca urmare a acestor constatări, pentru ancorele din pereții dubli standardele australiene **AS/NZS 2699.1**, **AS/NZ 2699** și **AS 3700** au stabilit rezistența și rigiditatea ancorelor în funcție de condițiile de expunere și de solicitare. În tabelul următor sunt date valorile pentru ancorele de tip **A** în pereți dubli.

Tabelul II.9

Clasificarea ancorelor	Rezistența caracteristică (kN)		Rigiditatea caracteristică (kN/mm)
	Întindere	Compresiune	
Condiții ușoare	0.3	0.35	0.5
Condiții medii	0.6	0.7	1.0
Condiții grele	1.5	1.8	2.5

Valorile rezistenței caracteristice din tabel se utilizează și pentru ancorele de fixare a zidăriei de placare (engl. **vener ties**).

Tabelul II.9

Materialul și protecția	Clasa de expunere				
	MX1	MX2	MX3	MX4	MX5
Oțel austenitic inoxidabil (aliaje de molibden crom nichel)	U	U	U	U	R
Plastic folosit pentru corpul ancorelor	U	U	U	U	R
Oțel austenitic inoxidabil (aliaje de crom nichel)	U	U	U	R	R
Oțel feritic inoxidabil	U	X	X	X	X
Sârmă de oțel acoperită cu zinc (940 g/m ²)	U	U	U	R	X
Componentă din oțel acoperită cu zinc (710 g/m ²)	U	U	U	R	X
Componentă din oțel acoperită cu zinc (460 g/m ²)	U	R	R	R	X
Sârmă de oțel acoperită cu zinc (265 g/m ²)	U	R	R	X	X
Bandă de oțel pre-acoperită cu zinc (137 g/m ²) cu marginile acoperite cu zinc	U	R	R	X	X
Sârmă din oțel acoperită cu zinc (105 g/m ²)	U	R	R	X	X
Sârmă din oțel acoperită cu zinc (60 g/m ²)	U	X	X	X	X
Placă din oțel pre-acoperită cu zinc (137 /m ²)	U	X	X	X	X

Pentru cazul particular al armăturilor care se montează în rosturile de așezare, posibilitățile de alegere a sistemelor de protecție anticorozivă sunt stabilite prin **SR EN 845-3** anexa **C**, în funcție de clasele de expunere, așa cum este arătat în tabelul II.10.

Tabelul II.10

Material și protecție	Clasa de expunere				
	MX1	MX2	MX3	MX4	MX5
Oțel austenitic inoxidabil (aliaje de molibden, crom, nichel)	U	U	U	U	R
Oțel austenitic inoxidabil (aliaje de crom, nichel)	U	U	U	R	R
Sârmă de oțel acoperită cu zinc (265 g/m ²)	U	R	R	X	X
Sârmă de oțel acoperită cu zinc (60 g/m ²) cu acoperire organică pe toate suprafețele	U	U	U	R	X
Sârmă de oțel acoperită cu zinc (105 g/m ²)	U	R	R	X	X
Sârmă de oțel acoperită cu zinc	U	X	X	X	X
Tablă de oțel acoperită în prelabil cu zinc (137 g/m ²)	U	X	X	X	X

În tabelele II.9 și II.10 notațiile referitoare la utilizarea materialelor respective sunt următoarele:

- **U** - folosire fără restricție a materialului în clasele de expunere menționate;

- **R** - utilizare cu restricție; se consultă fabricantul sau un consilier specialist pentru avizare pentru condiții specifice de proiectare;
- **X** - material a cărui utilizare nu este recomandată în această clasă de expunere.

II.6. Erori de proiectare și de execuție și avarii caracteristice la fațade cortină

II.6.1. Exemplificarea cerințelor de fiabilitate structurală și a cauzelor avariilor tipice în cazul *fațadelor cortină*

Fațadele cortină, inclusiv prinderile acestora de structura principală, trebuie să fie proiectate și executate astfel încât, sub efectul acțiunilor susceptibile de a se exercita asupra lor în timpul execuției și al exploatării, să nu se producă nici una dintre următoarele avarii/deteriorări:

- a. prăbușirea totală sau prăbușirea parțială/locală a peretelui cortină;
- b. producerea unor avarii de tip "*prăbușire progresivă*";
- c. căderea sau spargerea panourilor de sticlă;
- d. avarierea sistemelor de etanșare, ca urmare a deformațiilor excesive ale elementelor structurale (structura principală a clădirii sau structura proprie a peretelui cortină);
- e. limitarea sau imposibilitatea manevrării părților mobile (ferestre, uși);
- f. producerea unor vibrații de intensitate inacceptabilă pentru exploatarea normală.

Privind comportarea pereților cortină sub efectul acțiunii vântului sau cutremurului se pot formula și cerințe privitoare la

evitarea producerii unor avarii specifice pentru astfel de solicitări:

- Cerința de siguranță a vieții: reducerea riscului de punere în pericol a siguranței oamenilor prin căderea, în spațiile publice (în stradă, de exemplu) sau în spațiile în care se pot afla simultan mai multe persoane (curțile interioare ale școlilor, atriumuri, etc.), a geamurilor fațadelor cortină.

Această cerință impune măsuri pentru:

- prevenirea riscului de spargere a sticlei;
 - prevenirea căderii fragmentelor de sticlă, dacă s-a produs spargerea.
- Cerința de limitare a degradărilor: reducerea costurilor pentru repararea pereților cortină avariați de cutremur precum și a pierderilor cauzate de întreruperea activității ca urmare a avarierii fațadei.

Notă. Cerința de siguranță a vieții este impusă de autoritățile publice, în timp ce cerința de limitare a degradărilor aparține, de regulă, numai investitorilor.

Satisfacerea cerințelor generale enunțate mai sus este condiționată de:

- concepția generală și de detaliu a peretelui cortină, a componentelor acestuia, a legăturilor între componente și a legăturilor peretelui cu structura principală a clădirii;
- proprietățile, performanțele, utilizarea și modul de punere în operă ale materialelor și produselor de construcție;
- calitatea execuției și realizarea lucrărilor de întreținere necesare.

În detaliu, criteriile de performanță specifice pe care trebuie să le îndeplinească sticla fațadelor cortină pentru satisfacerea cerințelor referitoare la comportarea la acțiunea seismică sunt următoarele:

- Cerința de siguranță a vieții, pentru cutremurul de proiectare, cu perioada medie de revenire de 100 de ani, este considerată satisfăcută atunci când:
 - sticla se sparge în bucăți dar rămâne în rame sau în ancoraje, în condiții limită de stabilitate, putând cădea în orice moment;
 - sticla cade din rame sau din ancoraje în fragmente mici care nu pot pune în pericol viața oamenilor (modul de spargere a sticlei depinde de tipul sticlei).

Cerința de siguranță a vieții nu poate fi asigurată dacă:

- fragmentele de sticlă, chiar de mici dimensiuni (din geam securizat), cad de la înălțime mare sau foarte mare;
 - sticla se sparge în cioburi mari și/sau panourile cad în întregime din rame sau împreună cu ramele.
- Cerința de limitare a degradărilor sub efectul cutremurului "de serviciu", cu perioada medie de revenire de 30 de ani, este satisfăcută atunci când:
 - sticla rămâne neafectată în rame sau în ancoraje;
 - sticla fisurează însă rămâne prinsă în rame sau în ancoraje și continuă să asigure funcțiunile de închidere față de exterior (protecția împotriva agenților atmosferici) și protecția împotriva intruziunii.

În aceste condiții se asigură, în același timp, atât cerința de siguranță a vieții cât și condițiile de utilizare imediată a clădirii (înlocuirea sticlei fisurate se poate face oricând

dorește beneficiarul).

Principala cauză a avarierii la cutremur a suprafețelor vitrate, indiferent de dimensiunile acestora, este datorată faptului că nu au fost proiectate/executate astfel încât să poată prelua deplasările laterale impuse de structură.

Incompatibilitatea deformațiilor se datorează următoarelor cauze:

- lipsa spațiului liber suficient între sticla și ramă;
- lipsa spațiului liber suficient între ramă și elementul de construcție în care aceasta este înglobată;
- cumularea acestor cauze.

O greșeală care se face curent la proiectarea spațiului liber în care se poate deplasa sticla este neglijarea abaterilor tehnologice inerente. La stabilirea mărimii acestui spațiu trebuie să se țină seama de:

- toleranța de debitare a sticlei (Δ_{st})
- toleranța de confecționare a ramei (Δ_{rama})

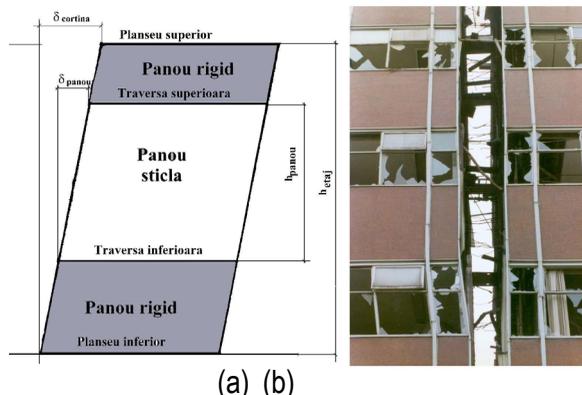
Spațiul liber trebuie să fie dimensionat cu o toleranță egală cu :

$$\Delta = \sqrt{\Delta_{st}^2 + \Delta_{rama}^2}$$

Ca urmare a contactului forțat între sticlă și ramă, de regulă, sticla se sparge. S-au întâlnit însă și situații în care, ca urmare a acestei interacțiuni, ramele flexibile din oțel s-au deformat puternic. Fațadele clădirilor curente care au ferestrele cu geam recopt (*annealed glass*) pot provoca rănirea persoanelor din exterior/interior deoarece acest tip de geam se sparge în cioburi ascuțite. În unele cazuri sticla suprafețelor vitrate se poate sparge și datorită fragmentelor de construcție care cad de la nivelurile superioare.

Comportarea seismică este influențată și de proprietățile garniturilor de etanșare. După cutremurul de la Northridge, la care fațadele cortină au avut o comportare bună s-a constatat că fixarea sticlei cu mastic care conținea silicon a condus la avarii mai puține decât în cazurile în care sticla a fost fixată cu garnituri din PVC. [II.16].

Aplicarea peliculelor de protecție a îmbunătățit comportarea sticlei împiedicând căderea fragmentelor în cazul geamurilor de dimensiuni mici, dar nu a putut preveni căderea întregului panou dacă acesta avea dimensiuni mai mari. [II.14]



(a) (b)
 Figura II.37. Avarierea fațadelor cortină
 (a) Schema de deformare a fațadei cortină (b) Avarierea gravă a fațadei unui spital - Mexico City (1985)



Figura II.37. Avarierea fațadelor cortină (continuare)
(c) Deformarea scheletului fațadei și spargerea sticlei înrămate
(d) Avarierea sticlei lipite la colțul exterior - Banco Confia
Mexico City (1985)

Avarierea arătată în figura III.37(b) ilustrează schema de deformare din figura III.37(a). Deoarece panourile opace placate cu elemente ceramice au fost foarte rigide, pe înălțimea lor montanții nu au suferit deformații laterale astfel încât toată deplasarea relativă de nivel s-a consumat în zona vitrată care a fost complet distrusă (deformații puternice ale montanților și spargerea tuturor geamurilor care au fost fixate în rame). Ochiurile mobile nu au suferit avarii deoarece ele erau separate de scheletul principal.

Avarierea fațadei la colțul exterior al clădirii din figura III.37(d), unde sticla a fost îmbinată prin lipire cu silicon s-a produs la partea superioară a etajului unde deplasările relative au fost mai mari. Astfel de mișcări relative se pot produce oriunde se întâlnesc două panouri de sticlă (chiar și la colțurile înrând). Amplimea avariei depinde de direcția și mărimea deformației în zona de contact între panouri și bine înțeles, de rezistența sticlei și a produsului cu care sunt lipite geamurile) [III.21].

În majoritatea Codurilor existente nu se dau precizări privind comportarea seismică a diferitelor tipuri de sticlă și nici a diferitelor tipuri de rame.

Încercări recente, au arătat însă că diferitele tipuri de sticlă prezintă mari diferențe între valorile driftului care provoacă fisurarea sau căderea sticlei din rame.

Încercările s-au efectuat pe mai multe tipuri de sticlă cu grosimea de 6 mm cu asamblări specifice vitrinelor obișnuite și unor pereți cortină pentru clădiri cu dimensiuni medii.

În cazul vitrinelor proiectate conform Codurilor în vigoare s-a constatat că **SLS** (asociată cu avarierea colțurilor sticlei și degradarea garniturilor) a fost depășită pentru un cutremur moderat iar **SLU** (asociată cu fisurarea extinsă/generalizată și căderea bucăților de sticlă) a fost atinsă în cazul cutremurului sever.

Protecția panourilor de ferestre față de deplasările laterale ale structurii a fost uneori realizată prin montarea cadrelor de fereastră pe resoarte care le țin separate de elementele structurii. Cu o frecvență mai mare se întâlnește soluția de umplere a spațiului dintre ramă și elementele structurale adiacente cu masticuri/chituri permanent plastice pentru a permite astfel deplasarea panourilor de fereastră. În ambele cazuri este necesar să se asigure stabilitatea și rezistența ferestrelor pentru forțele perpendiculare pe planul acestora datorate acțiunii vântului sau a cutremurului.

Cadrelor metalice ale ferestrelor legate de structură sau de alte elemente nestructurale se deformează și unele elemente își pot pierde stabilitatea atunci când sunt supuse unor deformații mari provocând căderea sticlei sau spargerea acesteia.

Aceste avarii se pot produce din mai multe cauze:

- sticla a fost tăiată prea mică pentru deschidere;
- sticla a fost tăiată prea mare pentru deschidere având o margine prea mică/fără margine care să preia deformațiile cadrului;

- sticla nu este deloc adaptată cadrului și astfel se mișcă independent în cadru și se poate sparge/cădea jos.

Datorată cauzelor de mai sus și faptului că în multe cazuri structura nu are rigiditate suficientă pentru a limita deformațiile laterale și distorsiunile unghiulare ale golurilor de fereastră, este de așteptat ca în cazul unui cutremur moderat sau intens un număr important de panouri de sticlă să fie avariate.

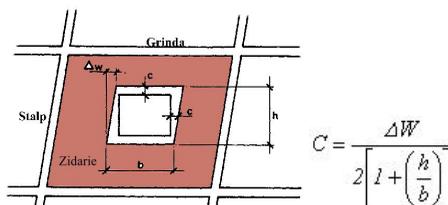


Figura II.38. Montarea sticlei în peretele de zidărie [II.6]

Deși formula de mai sus este cunoscută din 1960 [II.6] prevederea spațiilor libere este omisă sistematic în proiectare și are drept consecințe pierderi materiale importante. De exemplu, în literatura de specialitate se menționează că la cutremurul de la San Fernando (1971) s-au înregistrat pagube de 200 milioane de dolari prin deteriorarea ușilor și ferestrelor ca urmare a montării necorespunzătoare în rame.

II.6.2. Durabilitatea fațadelor cortină

Proiectarea fațadelor cortină pentru **durabilitate** se referă la menținerea capacității de **rezistență și stabilitate** și, mai ales, la păstrarea performanțelor inițiale în raport cu celelalte cerințe esențiale. Acest obiectiv este impus atât de criteriile economice cât și tehnologice deoarece înlocuirea elementelor deteriorate (sticla spartă, garniturile care și-au pierdut elasticitatea) este

aproape în toate cazurile o operație dificilă și care poate implica chiar întreruperea funcționării clădirii.

Pierderea etanșeității poate avea drept consecință și degradarea finisajelor sau, dacă aportul de umezeală se produce pe termen lung, formarea mucegaiului cu urmări grave asupra sănătății ocupanților.

Astfel pentru asigurarea etanșeității, proiectarea fațadelor cortină trebuie să aibă în vedere variabilitatea geometrică/dimensională inerentă a componentelor și, ca atare, a rosturilor între acestea dar și nivelul de pregătire și conștiinciozitatea lucrătorilor în fabrică și la șantier.

Din aceste considerente durabilitatea fațadelor cortină depinde în primul rând de rigurozitatea urmăririi procesului de fabricație și a celui de montaj. Pe de altă parte posibilitățile de a controla cu rigurozitate aceste procese depinde de particularitățile fațadei respective și a elementelor acesteia. De exemplu, prin examinare vizuală nu se poate determina calitatea garniturilor de etanșare și nici corectitudinea montării acestora. Infiltrațiile de umezeală, pe lângă afectarea confortului interior al clădirii pot conduce și la coroziunea scheletului de oțel al fațadei și a prinderilor acestuia de structura principală a clădirii. În toate cazurile, pierderea etanșeității fațadei are ca efect și reducerea eficienței energetice a acesteia (scăderea confortului termic).

Pierderea etanșeității fațadei în timp și pătrunderea în interior a apei și a aerului pot fi provocate și de solicitările la care sunt supuse garniturile sub acțiunea vântului sau a cutremurului deoarece deplasările alternante repetate ale ansamblului clădire+schelet+sticlă au ca rezultat desprinderea sticlei de garnitură (prin depășirea aderenței garniturii la ramă/sticlă).

Bibliografie

- [II.1] Almeida, J.C. *Caracterização da alvenaria submetida a esforços de tração* Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil Setembro, 2002
- [II.2] Amrhein, J.E. *Reinforced Masonry Engineering Handbook*, Fifth Edition Updated, Masonry Institute of America, 1998
- [II.3] Baker, L.R., (ed) *Australian Masonry Manual*, Sydney, 1991
- [II.4] Baratta, A., *Efflorescenze*, Costruire in Laterizio no.120, pp 54-57
- [II.5] Beall, C. *Masonry Design and Detailing for Architects, Engineers and Contractors*" (third edition), New York, Mc Graw Hill , 1993
- [II.6] Bouwkamp, J.C., Meehan, J.F. *Drift Limitation imposed by Glass* Proc. Second WCEE Tokyo&Kyoto, Japan 1960
- [II.7] Boynton, R.S, Gutschick, K.A. *Efflorescence of Masonry* Masonry Mortar Technical Notes no.4, National Lime Association, USA, June 1990
- [II.8] Britz, K.I., Libby, L, Hadinata, D. *The Integration of Seismic Design Principles into Preliminary Architectural Design*. Institute of Building Sciences Carnegie – Mellon University, 1981
- [II.9] Clay Brick and Paver Institute, *Construction Guidelines for Clay Masonry*, Australia, 2001
- [II.10] Clay Brick and Paver Institute, *Manual 7 Design of Clay Masonry for Serviceability*, Australia, 2001

- [II.11] Clay Brick and Paver Institute - *Brick Manual 2* Australia 2002
- [II.12] Dowrick, D.J. *Earthquake Resistant Design A Manual for Engineers and Architects* John Wiley & Sons 1977
- [II.13] Drysdale, R.G., Hamid, A.A. și Baker L.A. *Masonry Structures: Behaviour and design*, Printice Hall 2008
- [II.14] Gates, W.E., McGavin, G. *Lessons Learned from the 1994 Northridge Earthquake on the Vulnerability of Nonstructural Systems*, Proc. of the Seminar on Seismic Design, Retrofit, and Performance of Nonstructural Components, ATC 29-1, San Francisco, CA, 1998.
- [II.15] Ghobarah, A., *On drift limits associated with different damage levels*, Bled '04 Conference, Bled Slovenia, 2004
- [II.16] Harter, D. 1994. *Earthquake in Los Angeles. Glazing*, California Glass Association, 1994
- [II.17] Kazmierczak, K., *Movements & Tolerances. Considerations for curtain wall and cladding design* The Construction Specifier 2008
- [II.18] Li, B, Wang, Z., Mosalam, K.M., and Xie, H *Wenchuan Earthquake Field Reconnaissance on Reinforced Concrete Framed Buildings With and Without Masonry Infill Walls*, 14th WCEE, Beijing, 2008
- [II.19] Liauw T.C. and Kwan K.H. *Unified Plastic Analysis for Infilled Frames* *J. of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 111, No. 7 1985
- [II.20] Liel, A.B., Lynch, K P. *Vulnerability of reinforced concrete frame buildings and their occupants in the 2009 l'Aquila, Italy earthquake* Report Number 213 October 2009 Department of Civil, Environmental, and Architectural Engineering University of Colorado

- [II.21] Massey,W, Megget,L *Architectural Design for Earthquake A guide to the design of non-structural elements* New Zealand Society for Earthquake Engineering - First edition (1992). Second Edition (2007) revised and updated by Andrew Charleson, School of Architecture, Victoria University of Wellington.
- [II.22] Mihai,P., Florea,N.,Tuns,I. *Siguranța structurală și calitatea execuției* Revista Construcțiilor nr.13/martie 2006
- [II.23] Pereira dos Santos,A.M. *Resistencia das alvenarias à compressao*. Licenciatura em Engenharia Civil, Universidade do Minho, 1998
- [II.24] Petrovici,R.,*Teoria structurilor pentru arhitecți – Curs* Ed.UAUIM 2003
- [II.25] Petrovici, R., *Proiectarea clădirilor din zidărie conform standardelor europene adoptate în România (SR EN) – vol I*, Editura Universitară “I.Mincu” București,2008
- [II.26] Piaggio,J.M.(ed) *Mattoni faccia vista* Andil Assolaterizi 2003
- [II.27] Ratay, R.T. (Editor –in –Chief) *Forensic Structural Engineering Handbook*, McGraw- Hill 2000
- [II.28] San Bartolomé, A., Quiun D., Mayorca,P.*Proposal of a Standard for Seismic Design of Confined Masonry Buildings* Institute of Industrial Science, University of Tokyo *Bulletin of ERS, No. 37*, 2004
- [II.29] Swiss Federal Institute – Zurich
- [II.30] Vallabhan, C.V. *Window Glass Damage During the January 1994 Los Angeles Earthquake*, Texas Tech University,1994].