

UNIVERSITATEA OVIDIUS CONSTANȚA
ȘCOALA DOCTORALĂ DE ȘTIINȚE APLICATE
DOMENIUL DE DOCTORAT INGINERIE CIVILĂ

**COMPORTAREA PLANȘEEELOR DALĂ PRECOMPRIMATE
LA STRUCTURI AMPLASATE ÎN ZONE SEISMICE**

TEZĂ DE DOCTORAT

conducător științific:
prof. dr. ing. Augustin Popăescu

doctorand:
ing. Daniel Dumitru Purdea

CONSTANȚA
2016

CUPRINS

1.INTRODUCERE.....	4
1.1 Introducere în domeniul planșelor dală.....	4
1.2 Tipologia specifică structurilor amplasate în zone sesimice.....	6
1.3 Rolul general al planșelor în structuri. Calculul planșelor ca diafragme rigide.....	11
1.4 Construcții generale cu planșee de tip dală.....	21
1.5 Construcții cu planșee dală în zone seismice.....	23
1.6 Folosirea precomprimării în structurile de beton armat.....	28
1.7 Planșee dală cu armatură postîntinsă, considerații generale.....	38
 2.STADIUL ACTUAL ÎN DOMENIU.....	41
2.1 Calcul plăcilor de beton armat în domeniul elastic.....	41
2.2 Calculul în domeniul elastic al plăcilor încărcate cu o sarcină uniform distribuită.....	41
2.3 Calculul în domeniul elastic al plăcilor încărcate cu o sarcină concentrată.....	44
2.4 Calculul în domeniul elastic al dalelor și al planșelor de tip ciupercă.....	45
2.5 Calculul plăcilor de beton armat în domeniul plastic.....	47
2.6. Formarea mecanismelor de colaps (cedare).....	48
2.7 Metode de calcul.....	49
2.8 Precomprimarea. Avantaje și aplicații directe.....	53
 3. CERCETĂRI TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE.....	58
3.1 Cercetări teoretice asupra planșelor dală.....	58
3.2 Modul de calcul al planșelor dală.....	66
3.3 Calculul planșelor dală din beton precomprimat.....	79
3.4 Comportarea structurilor cu planșee de tip dală amplasate în zone seismice.....	89
3.5 Metodologia de calcul a structurilor cu planșee de tip dală.....	91
3.6 Comentarii pe baza raportului de cercetare elaborat de European Comision Joint Research Center (E.C.J.R.C.).....	93
 4. STUDIU ȘI APLICAȚIE EXPERIMENTALĂ.....	122
4.1 Studiul parametric al unui planseu dală la o structură amplasată într-o zonă seismică....	122
4.2 Modelarea planșeului dală sub încărcări gravitaționale și sesimice.....	131

4.3	Calculul forței de străpungere pentru planșeul dală conform STAS 10107/0-90.....	137
4.4	Calculul forței de străpungere pentru planșeul dală conform EUROCOD 2.....	137
4.5	Calculul forței de străpungere pentru planșeul dală conform ACI 318.....	140
5.	CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE.....	142
5.1	Avantajele folosirii planșeelor precomprimate de tip dală la structuri.....	142
5.2	Particularități și cerințe specifice pentru structurile cu planșee de tip dală amplasate în zone seismice.....	143
5.3	Comparație între planșeele dală cu armatura postîntinsă și armare cu bare independente.....	144
5.4	Contribuții personale.....	145
6.	ANEXE.....	147
6.1	Principalele rezultate din analiza modală a structurii analizate în capitolul 4.....	147
6.2	Calculul îmbinării placă stâlp pentru un stâlp interior.....	153
6.3	Calculul îmbinării placă stâlp pentru un stâlp marginal.....	156
7.	BIBLIOGRAFIE.....	160

1. INTRODUCERE

1.1. Introducere în domeniul planșeelor dală

Prezenta lucrare își propune să analizeze comportarea structurilor cu planșee dală cu armatura postîntinsă sau armate cu bare independente, pentru structuri amplasate în zone seismice. Structurile amplasate în zone seismice prezintă anumite particularități care implică un calcul adecvat și o abordare specifică.

Un factor determinant în modul de abordare al calculului acestor structuri constă în stabilirea zonelor de disipare a energiei, așa numitele zone plastice.

Studiul va urmări comportarea și modul de calcul al planșeelor dală asociate structurilor supuse la încărcări seismice. Pentru structurile tradiționale cu stâlpi, grinzi și pereți zonele de disipare a energiei sunt bine stabilite și studiate. Pentru structurile cu planșee dală datorită lipsei grinzilor, elemente cu rol disipativ fundamental, în nodurile dală-stâlp se vor dezvolta și eforturi de tip moment încovoietor, eforturi care pot periclita integritatea acestei zone și implicit a întregii structuri.

Un alt fenomen specific planșeelor dală este poansonarea, rezistența la poansonare putând fi îmbunătățită prin precomprimarea planșeelor. Acest lucru are avantaje și în cazul încărcărilor seismice verticale, lucru care nu trebuie neglijat în cazul unor astfel de elemente structurale, sensibile la încărcări punctuale perpendiculare pe planul lor.

Astfel se vor analiza modurile de calcul și de conformare pentru structurile cu planșee dală amplasate în zone seismice, precum și influența precomprimării asupra acestora.

Față de alte elemente structurale sau subansamble ce pot fi realizate și din alte materiale plăcile cu descărcare pe două direcții pot fi realizate numai din beton armat. Pentru mărirea înălțimii utile și reducerea înălțimii totale de nivel s-au folosit mai multe metode de a lungul timpului cum ar fi planșeele casetate. Aceste tipuri de planșee reprezintă o alternativă la sistemul clasic de structură cu grinzi principale și secundare pe care descarcă placa.

În SUA inginerul Claude A. P. Turner¹ a fost primul care a patentat și folosit planșeul dală cu capitel (ciupercă) în anul 1905 publicând un desen cu propunerea de armare a stâlpilor și planșeelor (Fig. 1.1).

¹ Alexander Kierdorf, Early Mushroom Slab Construction in Switzerland, Russia and the U.S.A. – A Study in Parallel Technological Development

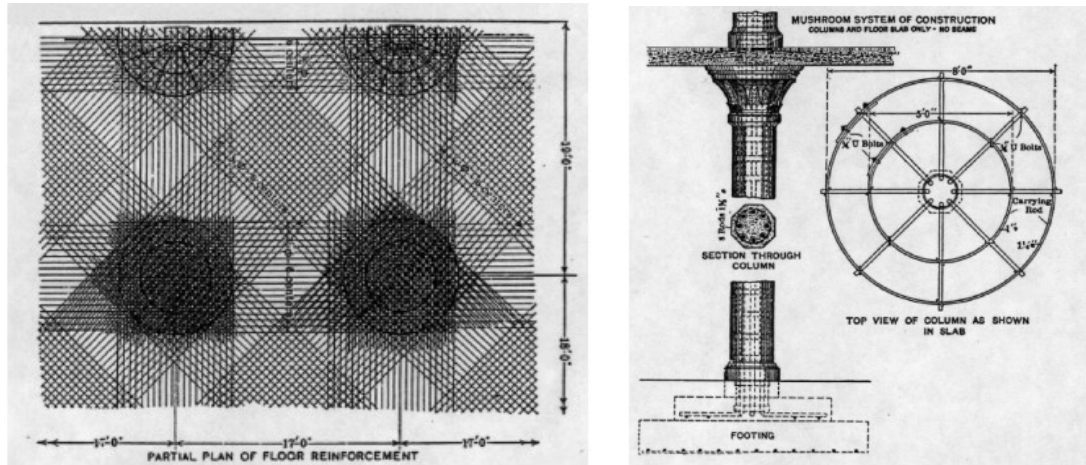


Fig. 1.1 Detaliu de planșeu dală tip ciupercă CAP Turner [1]

În România primul normativ de calcul al planșeelor dală², STAS 3434, a apărut în anul 1952, acest normativ făcând referire doar la calculul în domeniul gravitațional al planșeelor.

În funcție de modul de rezemare al planșeelor pe stâlp acestea sunt de mai multe tipuri:

- planșee dală cu rezemare directă pe stâlp (Fig. 1.3)
- planșee dală cu subplacă (Fig 1.4)
- planșee dală cu capitel (ciupercă) (Fig 1.5)
- planșee dală cu capitel și subplacă (Fig. 1.6)



Fig. 1.3 Planșeu dală cu rezemare directă



Fig. 1.4 Planșeu dală cu subplacă



Fig. 1.5 Planșeu dală cu capitel (ciupercă)



Fig. 1.6 Planșeu dală cu capitel și subplacă

² STAS 3434 /1952 – Planșee ciuperci din beton armat (prescripții de calcul și alcătuire)

1.2. Tipologia specifică structurilor amplasate în zone seismice

Structurile de beton armat și nu numai amplasate în zone seismice trebuie să îndeplinească mai multe cerințe specifice din punct de vedere al conformării, siguranței, eficienței tehnico economice pe perioada de exploatare.

Conform normativului P100-1/2013³, care reglementează calculul construcțiilor la acțiuni seismice în România, se pot evidenția următoarele cerințe fundamentale:

- *Cerința de siguranță a vieții*
- *Cerința de limitare a degradărilor*

Forța seismică ce acționează asupra unui ansamblu structural se consideră ca fiind preluată prin intermediul a două componente de bază, o componetă elastică și o componetă plastică.

În general se poate vorbi de câteva tipologii de structuri de beton armat și anume:

- structuri în cadre la care disiparea energiei se face prin articulații plastice la baza stâlpilor și în grinzi la nodurile grindă-stâlp la fața stâlpilor
- structuri cu pereți structurali la care disiparea energiei se face prin intermediul articulațiilor plastice de la baza pereților și articulații din grinzi
- structuri cu duale stâlpi și pereți structurali la care disiparea energiei se face prin articulații plastice la baza stâlpilor și a pereților precum și în grinzi

Așa cum s-a arătat mai sus comportarea planșelor ca diafragme orizontale (șaibe rigide) este necesară pentru transmiterea forțelor laterale de inerție între elemente structurale verticale, pereți și stâlpi.

1.3 Rolul general al planșelor în structuri. Calculul planșelor ca diafragme rigide

Planșeele sunt elemente de suprafață care preiau încărcări perpendiculare pe planul lor și în planul lor.

Rolul acestora este acela de a transmite încărcările verticale la elementele structurale orizontale și/sau verticale după caz.

³ Cod de proiectare seismică P100 partea I - P100-1/2013 Prevederi de proiectare pentru clădiri

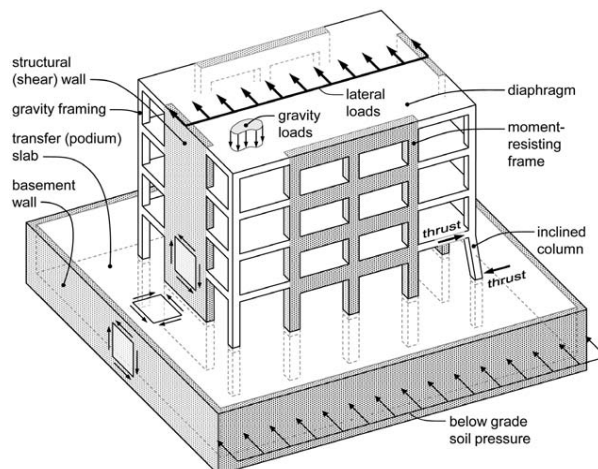


Fig. 1.10 Rolul diaframelor într-o structură (NEHRP Seismic Design of Cast-in-Place Concrete Diaphragms, Chords, and Collectors: A Guide for Practicing Engineers)⁴⁷

Tradițional ele au fost calculate și dimensionate ca elemente de suprafață ce lucrează la încărcări perpendiculare pe planul lor, fiind modelate ca elemente de tip membrană ce descarcă pe grinzi, a căror deformare se neglijează, grinzile secundare considerându-se că lucrează ca niște elemente continue cu reazeme fixe reprezentate de grinzile principale. Această abordare neglijează componenta forțelor din planul său.

Un aspect foarte important al calcului îl constituie comportarea acestora ca diafragmă rigidă (șaiabă rigidă).

În general se admite că un planșeu are o comportare de diafragmă orizontală și nu modifică semnificativ distribuția forțelor orizontale dacă săgeata sa în plan orizontal nu este mai mare decât deplasarea relativă de nivel.

1.4 Construcții generale cu planșee de tip dală

Așa cum s-a arătat și în partea introductivă a acestui capitol structurile cu planșee de tip dală s-au folosit încă de la începutul utilizării betonului armat pe scară largă.

Dintre structurile care reclamă folosirea acestora sau la care s-a considerat ca fiind o alternativă viabilă planșeul dală amintim:

- rezervoarele de lichide cu capacitate mare de stocare
- clădiri rezidențiale și de birouri
- unități de producție
- parcaje auto

⁴⁷NEHRP Seismic Design of Cast-in-Place Concrete Diaphragms, Chords, and Collectors: A Guide for Practicing Engineers

1.5 Construcții cu planșee dală în zone seismice

Structurile cu planșee dală amplasate în zone seismice trebuie să urmărească filozofia generală de calcul și conformare specifică proiectării în astfel de areale. Așa cum s-a arătat și în subcapitolul 1.2 structurile amplasate în zone seismice trebuie să îndeplinească anumite cerințe specifice.

Pe lângă cerințele de SLS și ULS care se verifică în anumite stadii de lucru ale structurii și intensități ale forței seismice o altă problemă importantă este cea a dispărării energiei.

Diferența între cele enunțate anterior și structurile cu planșee de tip dală constă în faptul că înainte de aceasta s-a vorbit de articulații plastice formate la capetele grinzilor, a grinzilor de cuplare, la baza stâlpilor și a pereților structurali, pe când acum multe grinzi au fost asimilate de planșeu dală.

1.6 Folosirea precomprimării în structurile de beton armat

Folosirea precomprimării în structurile de beton armat datează încă dinainte de al doilea război mondial. Ideea precomprimării betonului a apărut de timpuriu ea fiind văzută inițial ca o necesitate a reducerii fisurării.

Putem vorbi de o aplicare științifică și controlată a principiilor de precomprimare a betonului armat începând cu 1928 când francezul Freissynet depunea primele brevete de precomprimare a betonului.

Motivul principal al folosirii precomprimării este rezistența slabă la întindere a betonului, elementele de beton armat fără precomprimare lucrând în stadiul fisurat.

Folosirea precomprimării la betonul armat prezintă mai multe avantaje cum ar fi:

- risc de coroziune scăzut datorită precomprimării betonului din jurul armăturii
- o rezistență superioară, datorită materialelor utilizate
- rezistență la oboseală mai bună (comprimare permanentă a secțiunii de beton)
- eliminarea cofrajelor pe șantier pentru elementele prefabricate

Din inconvenientele utilizării betonului precomprimat putem aminti:

- ruperea neductilă a elementelor
- personal calificat pentru execuție

Folosirea precomprimării parțiale aduce cu sine o serie de avantaje dintre care putem aminti:

- utilizarea totală sau parțială a rezervei de solicitare din elementele de beton precomprimat peste stadiul de decompresiune

- reducerea generală a precomprimării (operație costisitoare)
- reducerea cantității de armătură post sau preîntinse și simplificarea traseelor de dispunere a acesteia
- reducerea solicitărilor din transfer în beton și în consecință micșorarea secțiunii necesare pentru beton la precomprimare, precum și eliminarea necesității executării precomprimării pe etape
- prin folosirea unei cantități mai mici de armătură de precomprimare se reduce deformația din curgere lentă; în cazul în care s-ar utiliza o armare mixtă a elementelor s-ar putea evita apariția contrasăgeții în totalitate

Ținând cont de cele menționate mai sus se poate vorbi de grade de precomprimare, acestea fiind definite de comportarea sub sarcină a zonelor de beton întinse ori mai puțin comprimate din betonul precomprimat, având astfel trei grade distincte:

- precomprimarea totală la care în beton apar numai eforturi de compresiune sub combinația de încărcări cea mai defavorabilă
- precomprimarea limitată la care se poate admite folosirea capacității de întindere a betonului sau chiar apariția de fisuri de 0,1÷0,15mm sub combinația de încărcări maxim admise
- precomprimarea moderată este definită ca fiind aceea la care fisurile admise sub încărcări maxime de exploatare maximă sunt admise și în cazul combinațiilor de exploatare normală, dar cu valori limitate în funcție de cerințele tehnologice (coroziunea armăturii, mediu agresiv, etc.)

Din punct de vedere al procedeelor folosite pentru precomprimare conform Codului Model Ceb FIP 2010⁵¹⁴ se pot folosi tendoane de oțel sau FRP, acestea putând fi:

- în interiorul elementelor de beton, preîntinse sau postîntinse (toroane cu aderență, fără aderență temporară, sau fără aderență permanentă)
- în exteriorul elementelor de beton, dar în planul imediat adiacent structurii

Pentru a înțelege precomprimarea elementelor de beton armat este necesară înțelegerea elementelor componente a sistemului:

- ancorajele și sistemele de cuplare
- tecile de protecție
- materialul de injecție a tecilor
- armătura întinsă

¹⁴ FIB – Codul Model Ceb FIP 2010

Ancorajele și sistemele de cuplare sunt piese speciale ce permit fixarea armăturii întinse în beton sau îmbinarea acestuia. În funcție de tipul de armătură utilizată oțel sau FRP ancorajele și cuplele trebuie să îndeplinească mai multe criterii de performanță din care amintim: atingerea unei capacități de minim 95% din valoarea tendonului la o deformare a acestuia peste 2% la efort maxim pentru tendoane din oțel. Pentru tendoane din FRP se păstrează cerința de capacitate de minim 95%, adăugând o limitare a deformației acestuia sub sarcină maximă.

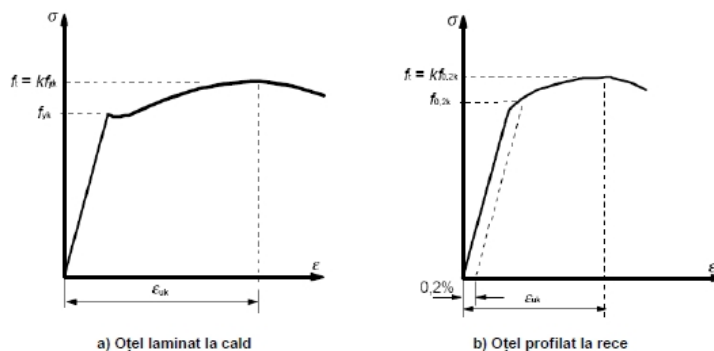
Pentru un toron de tip T15S (Freyssinet) caracteristicile sunt următoarele:

Diametrul nominal	mm	15,7
Secțiune	mm ²	150
Rezistența caracteristică f_{pk}	N/mm ²	1860
Rezistența de curgere $f_{p0,1k}$	N/mm ²	1600
Alungirea sub sarcină maximă ϵ_{uk}	%	$\geq 3,5$
Modulul de elasticitate E_p	GPa	195
Relaxare	la 1000 ore, 20°C, $0,7f_{pk}$	$\leq 2,5\%$

Tabelul 1.2. Caracteristicile toroanelor de tip T15S (Freyssinet)⁶¹⁸

În cazul armăturii pretensionate nu se poate vorbi de un palier de curgere bine definit la fel ca în cazul armăturii pasive (netensionate) folosită la elementele ductile de beton armat. Punctul de curgere este definit convențional ca fiind valoarea eforului unitar pentru care la descărcare deformația remanentă este de 0,1%.

Mai jos sunt redate curbele caracteristice pentru armatură ductilă și ale oțelurilor folosite la precomprimare conform [15]:



¹⁵ SR EN 1992 – 1:2004 – Proiectarea structurilor de beton. Reguli generale și reguli pentru clădiri

¹⁸ www.freyssinet.com

Fig. 1.23 Diagramele efort-deformație ale oțelurilor pentru beton armat [15]

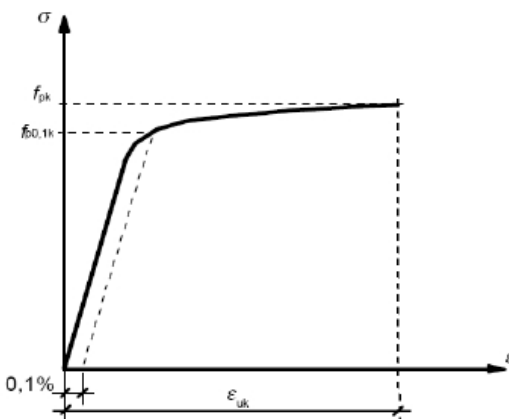


Fig. 1.24 Diagrama efort-deformație a oțelurilor de precomprimare tipice [15]

O altă aplicație importantă a betonului precomprimat este folosirea acestuia la elementele plane de tip planșee sau radiere. Folosirea precomprimării la aceste elemente duce la sporirea rezistenței la poansonare, reducerea fisurării (foarte importantă în cazul radielor la clădirile cu subsol funcțional). Pentru planșee (planșee dală cu armătură postîntinsă neaderentă) se obțin avantaje din punct de vedere al mărimii deschiderilor și a faptului că acestea lucrează în stadiul nefisurat sub încărcările permanente (nu apar fisuri vizibile în finisaj).

1.7 Planșee dală cu armătură postîntinsă, considerații generale

Așa cum s-a arătat și mai sus precomprimarea poate fi utilizată cu succes la armarea planșeeelor dală. Spre deosebire de elementele prefabricate unde se pot aplica ambele tehnologii de precomprimare, cu armătură postîntinsă, sau armătură preîntinsă, la planșee folosirea celei de a doua nu este practică deoarece ar presupune folosirea unor piese speciale de ancorare a armăturii preîntinse.

Tehnologia de execuție a unui planșeu dală cu armătură postîntinsă seamănă în principiu cu cea a unui planșeu cu armătură netensionată. După realizarea cofrajului și montajul armăturii pasive se montază tecile de protecție și mecanismele de ancoraj ce urmează a se îngloba în beton (se pot livra și monotoroane în teacă de PVC gresate). Mecanismele de ancoraj sunt de trei feluri:

- ancoraje active (mobile) care permit ancorarea armăturii după întindere
- ancoraje pasive (care împiedică orice mișcare față de beton a extremității cablului opusă celei de întindere)

-

Un planșeu postcomprimat are o greutate mai mică decât unul armat, iar mare parte din greutatea proprie a acestuia și din încărcările permanente sunt compensate prin efectul indus de armătura postîntinsă, de asemenea se reduce deformația verticală prin efectul de contrasăgeată.

2. STADIUL ACTUAL ÎN DOMENIU

2.1 Calcul plăcilor de beton armat în domeniul elastic

În cadrul teoriei elasticității se consideră că placa este alcătuită dintr-un material omogen și izotrop. Această presupunere este destul de bună pentru stadiul de exploatare, deoarece cu cât ne apropiem de stadiul de colaps apar redistribuții de momente în interiorul plăcii⁷²³.

În calculul elastic al plăcilor sunt valabile următoarele ipoteze:

- fibra mediană nu se deformează în planul său;
- o secțiune plană și normală la axă înainte de deformare se va regăsi plană și normală la axă după deformare (ipoteza lui Bernoulli);
- eforturile unitare normale pe fibra mediană se pot neglija, $\sigma_z=0$.

2.3 Calculul în domeniul elastic al plăcilor încărcate cu o sarcină concentrată

O metodă cu aplicabilitate practică a fost publicată de Prof. Pucher de la Școala Politehnică din Viena în anul 1951, metodă bazată pe suprafețele de influență, (care sunt echivalentul liniilor de influență pentru o structură lineară) și pe teorema reciprocității deplasărilor a lui Maxwell [23].

Pentru plăci acest lucru se poate scrie: $w_{12} = w_{21}$, ceea ce înseamnă că deplasarea w_{12} în punctul 1 datorată unei sarcini unitare aplicate în punctul 2 este egală cu deplasarea w_{21} în punctul 2 datorată unei sarcini unitare aplicată în punctul 1 (Fig. 2.4).

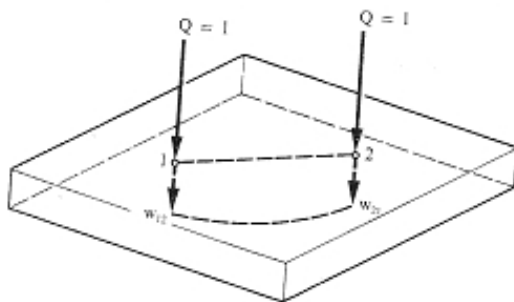


Fig. 2.4 Teorema lui Maxwell [23]

Datorită principiului superpoziției putem spune că deformată unei plăci sub o sarcină concentrată este identică cu suprafața de influență a curburii în punctul de aplicare a forței.

²³ Traite de Genie Civil – Dimensionnement des Structures en Beton – Renaud Favre, et al.

2.4 Calculul în domeniul elastic al dalelor și al planșeeelor de tip ciupercă

Pentru calculul planșeeelor de tip dală și a planșeeelor cu capitel ne vom baza pe principiul echilibrului.

Se consideră un panou interior a unui planșeu de tip dală, care se continuă la infinit, încărcat cu o sarcină uniform distribuită.

Pentru cele două direcții x și y se asimilează panoul cu o grindă dublu încastrată de deschidere l .

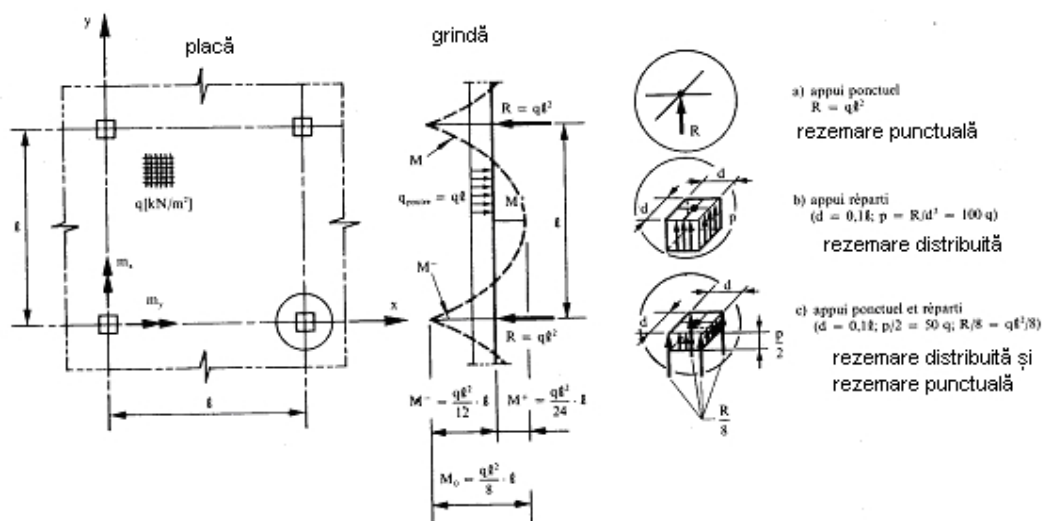
Se pot considera trei moduri de introducere a reacțiunii din reazem, R , în dală (Fig. 2.6) [23]:

- rezemare punctuală;
- rezemare pe un suport cu dimensiunile $d \times d = 0.1 \times l \times 0.1 \times l$ având o reacțiune $R = q \times l^2$, uniform distribuită pe suprafața reazemului; presiunea pe

$$\text{reazem fiind } p = \frac{q \times l^2}{0.1 \times l \times 0.1 \times l} = 100q$$

- rezemare pe un suport cu dimensiunile $d \times d = 0.1 \times l \times 0.1 \times l$ având o jumătate din reacțiune $R = q \times l^2$, uniform distribuită pe suprafața reazemului; presiunea pe reazem fiind $p = 50q$ și restul reacțiunii distribuită egal în cele patru colțuri

$$\text{ale reazemului } \frac{R}{8} = \frac{q \times l^2}{8}$$



Cea de a treia ipoteză de rezemare corespunde cel mai bine realității.

Din calculul efectuat cu un program de elemente finite pentru cele trei tipuri de suport *a) rezemare punctuală, b) rezemare distribuită, c) rezemare distribuită și punctuală* cu două valori diferite ale lui ν (coeficientul lui Poisson) rezultă că acesta influențează repartitia momentelor în secțiunile de reazem și de câmp, dar nu influențează valoarea globală a momentului, de asemenea valoarea globală a momentului nu depinde de tipul de reazem *a), b)* sau *c)*.

2.5 Calculul plăcilor de beton armat în domeniul plastic

Calculul în domeniul plastic este important pentru studiul plăcilor acționate de sarcinile de exploatare pentru care au fost proiectate.

Problema care se pune este aceea a studierii plăcilor în momentul în care sarcina a atins valoarea maxim admisă, ducând astfel la apariția articulațiilor plastice și implicat la un mecanism care poate duce la prabușire în cazul unei creșteri suplimentare a sarcinii.

În (Fig. 2.7) sunt ilustrate fazele de comportare ale unei plăci de beton armat încărcată cu o sarcină progresiv crescătoare [23].

- *faza de comportare elastică – (stadiul I de lucru).*
- *faza de apariție a fisurilor – (stadiul II de lucru).*
- *faza de comportare plastică*
- *faza de colaps*

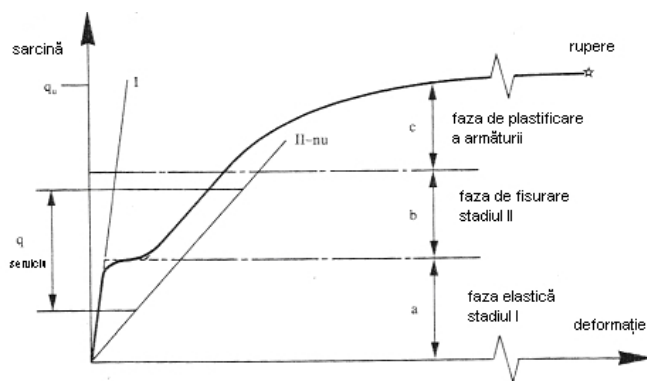


Fig. 2.7 Diagrama efort deformație pentru o placă de beton armat [23]

2.8 Precomprimarea. Avantaje și aplicații directe

Subcapitolul actual își propune să detalieze metodele de calcul și modul de aplicare al acestora pentru diferite elemente de construcții, precum și comportarea acestora sub acțiuni seismice.

După cum se poate observa în Fig. 2.15 elementele din beton precomprimat lucrează în special în compresiune betonul fiind comprimat pe aproape toată perioada de exploatare a

elementului, sau puțin întins fără a fi depășită capacitatea de întindere a betonului simplu. În cazul precomprimării parțiale betonul fisurează în stadiul de exploatare, fisurarea fiind bine controlată.

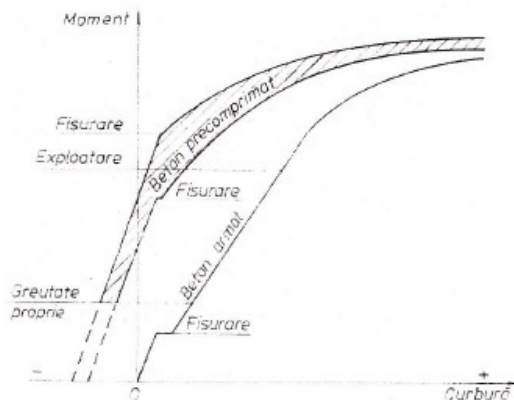


Fig . 2.15 Diagrame moment-curbură pentru beton precomprimat cu diferite grade de precomprimare în comparație cu betonul armat (solicitări monoton crescătoare)[12]⁸

Trebuie remarcat faptul că precomprimarea are o influență majoră în stadiul I de lucru și la începutul stadiului II, deoarece ulterior după apariția fisurilor și deschiderea acestora peste o anumită valoare avem aceeași comportare ca și cea a betonului armat. Acest lucru apare datorită faptului că precomprimarea nu este o forță exterioară ci este o deformație impusă elementului de beton.

Folosirea elementelor de beton precomprimat în zone seismice este posibilă atât timp cât se ia în calcul comportarea diferită a acestora sub acțiuni ciclic-alternante față de betonul armat. Principiile de bază pentru asigurarea ductilității sunt aceleași ca și pentru elementele de beton armat și anume:

- mărimea relativă a zonei comprimate de beton în starea limită ultimă
- capacitatea de deformație post-elastică a armăturii
- ancorarea corespunzătoare a armăturii
- armarea transversală a secțiunii

Prin dispunerea de bare profilate nepretensionate în zonele puternic solicate se poate obține o îmbunătățire a comportării post elastice, același rezultat poate apare și prin folosirea armăturilor pretensionate parțial, acest procedeu necesitând mai multă armătură pretensionată.

În cazul planșelor dală de beton armat pentru îmbunătățirea comportării acestora sub acțiuni perpendiculare pe planul lor median se poate aplica o forță de precomprimare. Un alt avantaj al folosirii precomprimării în planșele dală îl constituie rezistența crescută la

¹²Beton precomprimat – Dan Dumitrescu, Augustin Popăescu

poansonare. Efortul normal σ ce apare în beton datorită precomprimării se poate asimila datorită principiului dualității eforturilor printr-un efort tangențial τ superior.

3. CERCETĂRI TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE

3.1 Cercetări teoretice asupra planșelor dală

În subcapitolul 2.5 a fost discutată comportarea elementelor de beton armat în domeniul plastic, dându-se ca exemplu comportarea unui planșeu sub o încărcare crescătoare. Plăcile de beton armat sunt elemente care se calculează în general în stadiul de comportare plastică. Pentru aceasta au fost propuse mai multe metode calcul static sau cinematic.

În acest capitol metodele de calcul sunt aprofundate și discutate mai pe larg, ele fiind reprezentate pentru plăci de metoda liniilor de rupere și metoda benzilor (strip method).

Metoda liniilor de rupere care a fost dezvoltată de Johanssen permite evaluarea rezistenței la încovoiere a unei plăci și în consecință a armăturii necesare chiar și pentru forme geometrice complicate ale planșelor [23].

Criteriul de plastificare în scară a lui Johansen

În presupunerile anterioare am considerat că barele de armătură sunt perpendiculare pe liniile de rupere, lucru care nu este adevărat deoarece acestea se intersectează sub unghiuri arbitrare.

Criteriul lui Johansen afirmă că după formarea liniilor de rupură în beton fiecare bară de armătură se plastică la dreapta liniei păstrând orientarea sa inițială, cu toate că cele două zone de placă se rotesc în continuare una față de celalaltă, aceasta fiind o convenție deoarece poziția barelor se modifică în realitate.

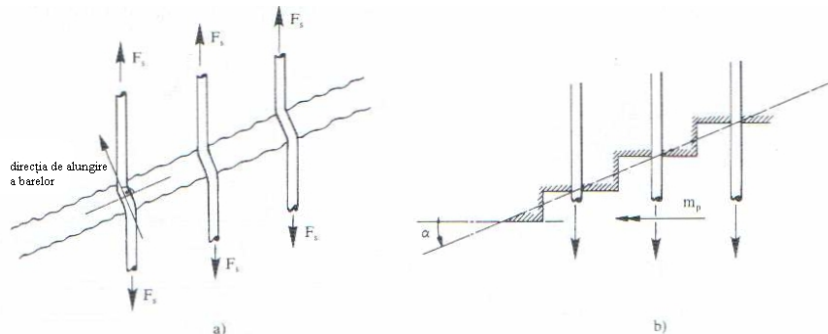


Fig. 3.1 a) Deformațiile barelor de armătură

b) Dispunerea liniilor de rupere sub formă de scară [23]

Criteriul de deviere a barelor (Kinking effect) – criteriul lui Wood

Așa cum am arătat mai sus teoria lui Johansen se bazează pe faptul că barele de armătură se plastică pe direcția lor inițială, nu se deformează. Wood propune un alt criteriu în care barele se plastică perpendicular pe liniile de rupere (Fig. 3.4).

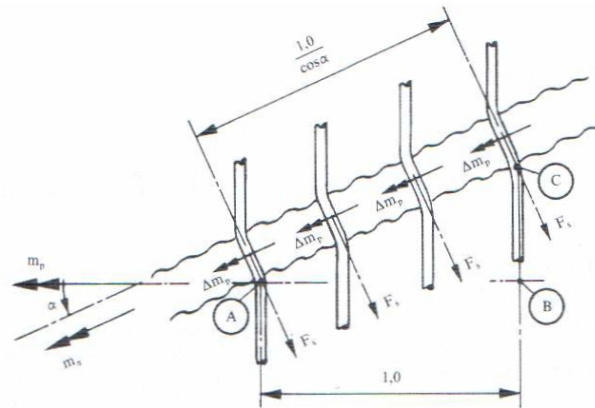


Fig 3.4 Efectul de deviere a barelor după Wood [23]

Criteriul de rupere în scară a lui Johansen a fost contestat de mai mulți cercetători, în practică constatându-se într-adevăr o anumită deviere a barelor de armătură în lungul liniei de rupură, criteriul lui Wood presupunând că încastrarea barelor în beton este perfectă [23].

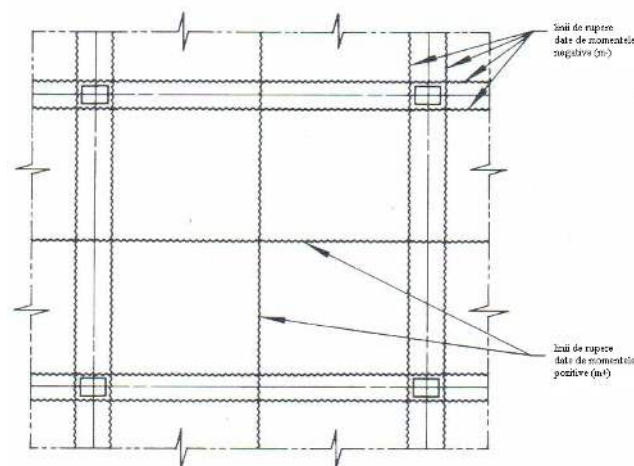


Fig. 3.7 Liniile de rupere pentru un ochi de planșeu dală interior [23]

Metoda fâșiilor (strip method) este o aplicație considerată relativ simplă a metodei statice de calcul, dat fiind complexitatea acestei metode și a faptului că ea oferă valori aflate al limita inferioară de siguranță. Cu toate că această metodă furnizează valorile maxime admisibile ea este folosită în practică datorită ușurinței de aplicare

3.2 Modul de calcul al planșeelor dală

Calculul pentru planșeele dală și de tip ciupercă se poate efectua folosind metodele descrise mai sus în cazul în care dispunerea stâlpilor este regulată, altfel calculul devenind foarte greoi și oneros. Condiția ca dispunerea stâlpilor să fie una regulată ține de îndeplinirea relațiilor de mai jos [23]:

$$0.67 \leq \frac{l_y}{l_x} \leq 1.5$$

, unde l_x , l_y , reprezintă lumina dintre doi stâlpi, respectiv distanța

$$0.75 \leq \frac{l_{x1}}{l_{x2}} \leq 1.33$$

interax l_{x1} , l_{x2} .

Pentru acest tip de planșeu numărul de mecanisme se reduce la două:

Mecanismul I (global) care se referă în ansamblu la un câmp al unui planșeu

Mecanismul II (local) care se limitează la o zonă din jurul unui stâlp

Mecanismul global a fost studiat prima dată de Johansen, el fiind pus în evidență în cadrul experimentelor din SUA și URSS.

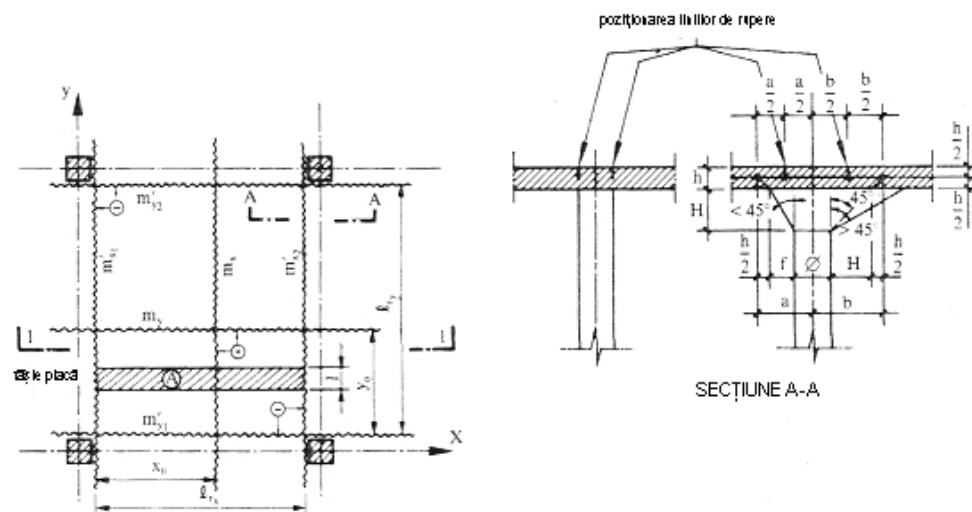


Fig. 3.10 Dispunerea liniilor de rupere pentru un mecanism de tip I pentru un câmp interior [23]

Mecanismul local (în evantai) are în vedere acțiunea unei sarcini concentrate asupra unui ochi de placă [23]. Pentru cazul particular al unei plăci izotrope putem obține o soluție exactă.

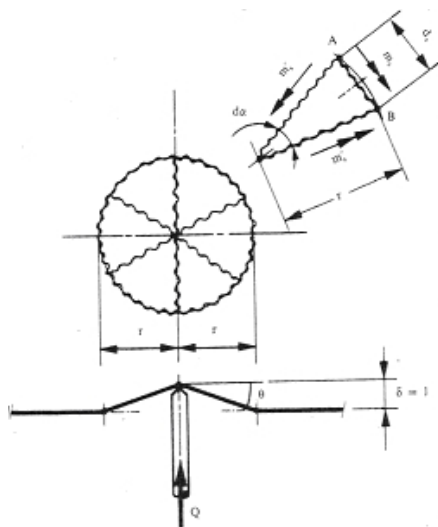


Fig. 3.12 Mecanism local în evantai [23]

Pentru cazul general al unei plăci de grosime constantă rezemat pe un stâlp linia de rupere din jurul stâlpului are formă elipsoidală (Fig. 3.12).

Cedare planșelor prin poansonare (străpungere) este specifică planșelor dală, planșelor de tip ciupercă și fundațiilor de tip radier. Ea se datorează forțelor mari care sunt transmise pe o suprafață mică de contact. Metodele de calcul sunt asemănătoare pentru toate codurile de proiectare existente la ora actuală, ele prezentând totuși diferențe legate de modul de calcul efectiv și de alegerea coeficienților de siguranță.

În norma Eurocod 2 acest perimetru este definit conform (Fig. 3.14) notat cu u_1 .

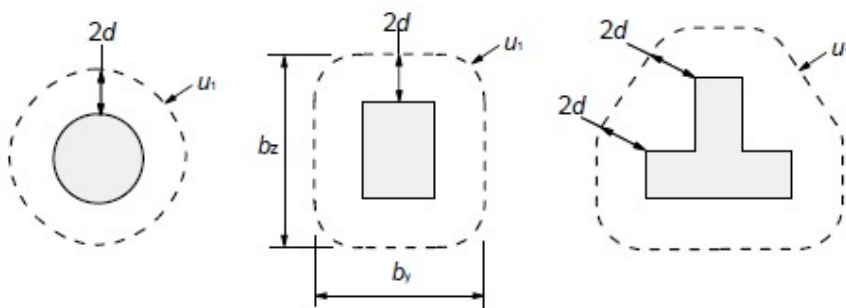


Fig. 3.14 Perimetrul de calcul pentru diferite forme de stâlp [15]

Un factor important este reprezentat de forma stâlpului, aceasta ducând la variații mari ale forței tăietoare, demonstrându-se că stâlpii pătrați au o rezistență cu circa 15% mai mică față de cei circulari, rezistența la poansonare continuând să scadă odată cu creșterea raportului dintre laturi.

În figura de mai jos se prezintă modelul de cedare a unei dale rezemată pe un stâlp circular, se observă fisurile radiale și fisura circulară ce delimitează conul de străpungere

(Fig. 3.22). Toate accidentele survenite în structurile reale și în timpul studiilor de laborator au arătat că străpungerea plăcii este un fenomen casant.

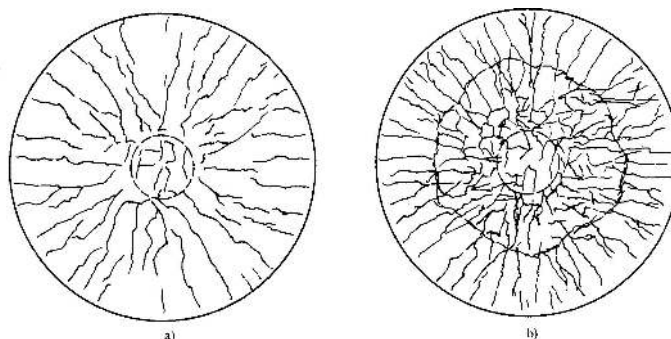


Fig. 3.22 Fisurarea unei dale în jurul stâlpului [23]

- a) fisurare pentru sarcina de serviciu 680 kN
- b) fisurare pentru sarcina ultimă 1649 kN

Având în vedere fenomenul în ansamblul său este necesar să se prevadă o armătură pentru preluarea momentului încovoiător de pe razem și o armătură pentru preluarea eforturilor din străpungere. O altă metodă de a reduce riscul străpungerii este folosirea capitelurilor la stâlpi.

Prin folosirea armăturii precomprimare se poate îmbunătăți comportarea plăcilor în zona stâlpilor, deoarece din curbura toroanelor de armătură pe această porțiune rezultă în stâlp eforturi contrare celor de străpungere (Fig. 3.25). Pentru aceasta armătura de precomprimare a plăcii trebuie să depășească cu cel puțin înălțimea activă a plăcii (d_m) perimetrul stâlpului, astfel se poate considera o sarcină redusă de calcul a efortului de poansonare.

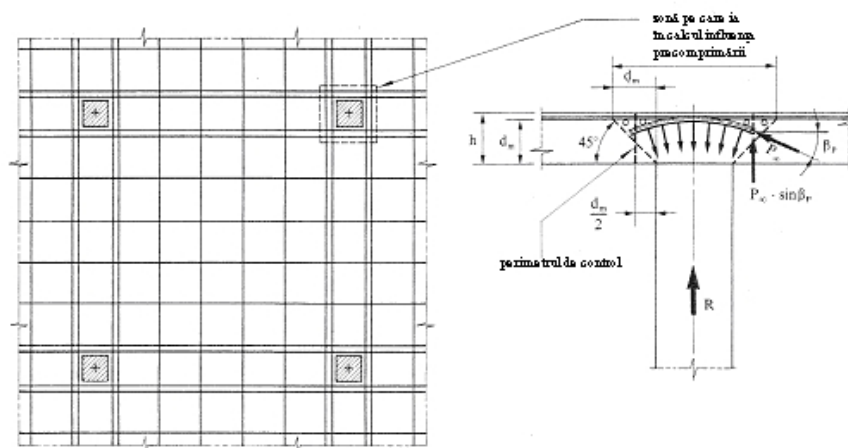


Fig. 3.25 Efectul precomprimării asupra zonei de reazem [23]

Pentru calculul în practica inginerescă a planșelor de tip dală sunt folosite două metode principale și anume [26]:

Metoda coeficienților, cunoscută și sub numele de metoda directă (“direct method”) care folosește coeficienți intabulați în funcție de tipul de rezemare a plăcii și de raportul laturilor. Această metodă este foarte bună și dă rezultate foarte apropiate de realitate, dar nu poate fi folosită pentru calculul planșeelor cu armătură pretensionată sau posttensionată.

Metoda cadrelor echivalente, metodă ce constă în împărțirea structurii în cadre continue echivalente, centrate pe stâlpi și care se extind pe ambele părți (Fig. 3.26).

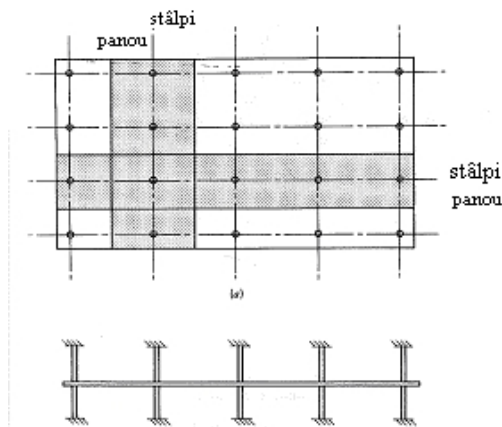


Fig. 3.26 Metoda cadrelor echivalente⁹

3.3 Calculul planșeelor dală cu armătura postîntinsă

Utilizarea armăturii postîntinse pentru planșeele de beton armat este justificată de avantaje economice și tehnice, cum ar fi:

- structuri mai zvelte
- deschideri mai mari
- deformații reduse
- deschidere mai mică a fisurilor
- rezistență crescută la oboseală

Disponerea armăturii postîntinse

Se remarcă două moduri principale de dispunere a armăturii precomprimate (Fig. 3.28) [23]:

- armătură precomprimată distribuită
- armătură precomprimată concentrată pe fâșia de reazem.

⁹ GP 118-2012 – Ghid pentru proiectarea planșeelor dală în zone seismice

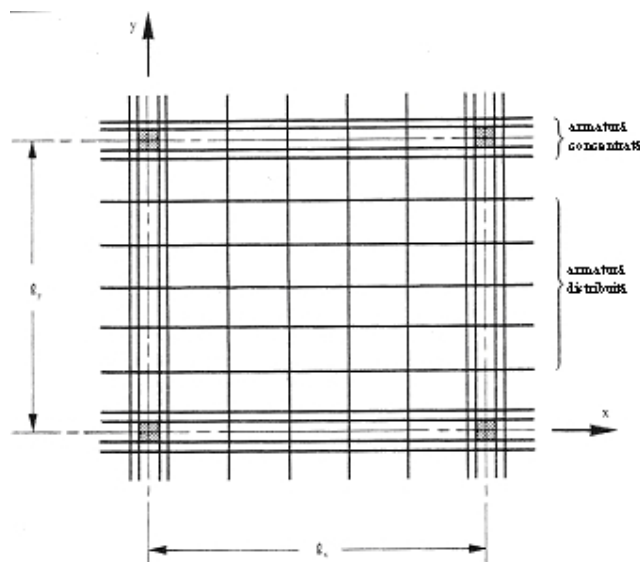


Fig. 3.28 Dispunerea armăturii posttensionate pentru un planșeu dală [23]

În practică se poate întâlni și o combinație între cele două metode amintite mai sus, cu armatură concentrată pe o direcție și distribuită pe cealaltă direcție.

Precomprimarea fără aderență

Folosirea precomprimării în realizarea planșelor pentru diverse construcții este favorizată de folosirea unui număr mare de toroane cu diametru mai mic ce se pot monta mai ușor și au o excentricitate mai mare (Fig. 3.30) [23].

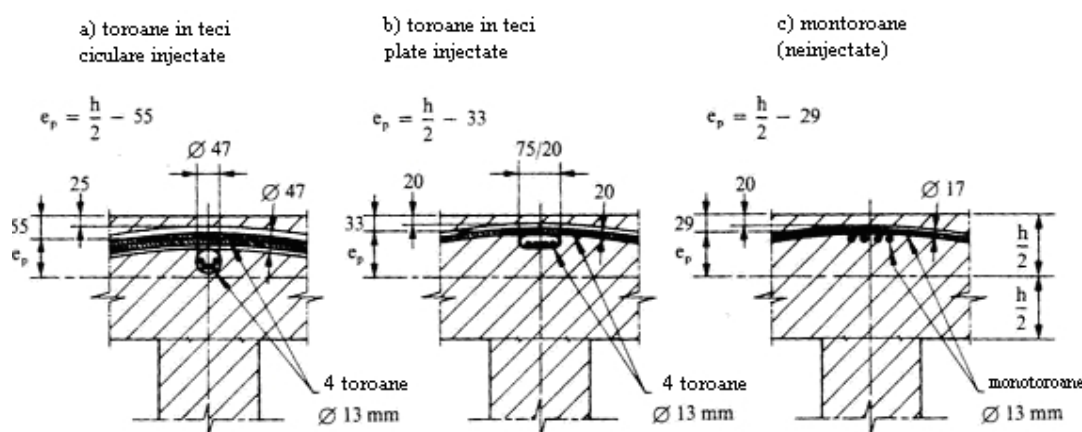


Fig. 3.30 Comparatie între excentricitățile obținute cu diferite tipuri de armături de precomprimare [23]

Costul ridicat al injectării și tratarea greoaie cu substanțe de protecție au făcut să fie utilizate tot mai mult toroanele fără injectare, numite monotoroane. În cazul monotoroanelor, acestea sunt protejate împotriva coroziunii prin introducerea fascicululelor într-o teacă din material plastic în care este introdusă o substanță cu rol de gresare și de protecție totodată.

În cazul plăcilor cu armătură pretensionată fără aderență efortul nu se poate transmite de la armătură la beton direct și de aceea efortul de întindere se va transmite doar prin intermediul ancorajelor.

Se poate spune că o armare eficientă în cazul unei dale precomprimate se poate obține în cazul folosirii unui beton de clasă superioară coroborată cu un procent de armătură întinsă cuprinsă între 0,2% – 0,3%. Ținând cont de faptul că în cazul elementelor de beton armat putem vorbi de un procent de armare cu o valoare 0.5% se justifică folosirea unor betoane cu rezistență mare la compresiune. Norma europeană impune o limitare de 0,6-0,7 din rezistența caracteristică la compresiune a betonului.

Procentul minim pentru armătura pasivă este stabilit astfel încât în momentul apariției fisurilor din încovoiere aceasta să intre în lucru și să se plastifice. Acesta nu ține cont de limitarea deschiderii fisurilor.

3.4 Comportarea structurilor cu planșee de tip dală amplasate în zone seismice

Structurile amplasate în zone seismice trebuie să satisfacă în primul rând cerințele impuse de normele de calcul la forțe seismice din punct de vedere a rigidității, deplasărilor structurii, capacității de rezistență, a comportării postseism și nu în ultimul rând cea a disipării de energie prin formarea de articulații plastice.

Dacă în cazul structurilor cu pereți, stâlpi și grinzi putem vorbi de articulații plastice la baza elementelor verticale precum și la capetele grinzilor în cazul structurilor cu planșee dală formarea articulațiilor plastice la capetele de grinzi este limitată ca și număr. Acest lucru se datorează numărului scăzut de grinzi dintr-o astfel de structură.

Normele și studiile actuale din domeniu recomandă realizarea de grinzi perimetrale pentru structurile mai înalte de două etaje (P+2) în zone cu seismicitate redusă și pentru clădiri cu mai mult de un etaj (P+1) în zone cu seismicitate ridicată [26].

O altă restricție este dată de deplasarea relativ mică a structurii în timpul unui cutremur pentru a împiedica efectele de ordinul II care pot afecta integritatea planșeeelor dală. Pentru a se obține aceste deplasări mici de cele mai multe ori este necesară introducerea unor diafragme verticale cu rigiditate mare în planul lor.

În cazul stâlpilor trebuie analizată și ipoteza formării de stâlpi scurți, care sunt foarte sensibili la ruperea din forță tăietoare. În acest caz planșeele dală lucrează ca diafragme orizontale considerate ca având rigiditate infinită cu rol de preluare a forțelor orizontale.

Ductilitatea unei astfel de structuri este relativ redusă, în literatura de specialitate fiind prevăzuți următorii coeficienți de disipare a energiei pentru zone cu seismicitate ridicată.

Tabelul 3.3 Factori de comportare pentru structuri cu planșee de tip dală amplasate în zone seismice conform [26]:

Tipul de structură	Clasa de ductilitate H (q)	Clasa de ductilitate M (q)
Structuri cu stâlpi și planșee dală	$3,5(\alpha_{11}/\alpha_1)$	$2,5(\alpha_{11}/\alpha_1)$
Structuri cu stâlpi, planșee dală și cadre perimetrice	$4,0(\alpha_{11}/\alpha_1)$	$3,0(\alpha_{11}/\alpha_1)$

Fenomenul de poansonare poate duce la prăbușirea întregii structuri în cazul în care nu se iau măsuri suplimentare de prevenire a sa. Pentru a se împiedica colapsul progresiv așa cum s-a arătat și în capitolele anterioare se prevede o armătură de agățare al cărei rol este acela de a ține planșeul pe poziție în cazul în care a fost avariat prin străpungere [26].

Prin folosirea precomprimării se poate aduce un spor de rezistență la capacitatea de forță tăietoare a planșeelor dală pe lângă capacitatea sporită de preluare a încărcărilor perpendiculare pe planul median. Comportarea structurilor cu planșee dală amplasate în zone seismice este condiționată și de driftul maxim admisibil. În literatura de specialitate acesta variază de la 1% pentru cazul folosinței imediate până la cea ultim acceptată de 4%, în cazul structurilor în cadre [26].

Încercările efectuate au pus în evidență faptul că prin folosirea precomprimării se îmbunătățește comportarea planșeelor dală în sensul creșterii capacității de rotire plastică de la 0,02 (pentru beton armat) la 0,03 pentru un raport egal cu 0,2 între capacitate și cerința din încărcări gravitaționale. În cazul în care prin stâlp trec armături de precomprimare în ambele direcții s-a observat o sporire a capacității reziduale la forță tăietoare pentru un raport egal cu 0,2 între capacitate și cerința din încărcări gravitaționale la un drift de maxim 5%, totuși driftul este limitat din motive de siguranța a vieții [29].¹⁰²⁹

Se poate spune că structurile cu planșee de tip dală amplasate în zone seismice pot avea o comportare relativ bună cât timp se respectă anumite cerințe de conformare structurală și de alcătuire a elementelor structurale. Totuși aceste tipuri de structuri rămân sensibile în principal la fenomenul de poansonare a plăcii și cel de rupere a stâlpilor din forță tăietoare.

²⁹ Pacific Earthquake Engineering Research, Slab-Column Frames, John Wallace

3.5 Metodologia de calcul a structurilor cu planșee dală

Datorită capacității reduse de plastifiere a planșeelor de tip dală este necesară prevederea de grinzi perimetrale care să asigure legătura dintre stâlpi. Astfel este recomandată utilizarea de structuri cu stâlpi de beton armat doar pentru construcțiile de tip parter în zonele cu o seismicitate ridicată [26].

În cazul în care este considerată optimă soluția constructivă cu planșee de tip dală pentru construcții înalte se recomandă folosirea pereților structurali de beton armat.

Spre deosebire de structurile în cadre sau duale în care momentul global este preluat atât de elementele verticale (stâlpi și pereți structurali), cât și de cele orizontale (grinzi și rigle de cuplare) construcțiile cu planșee de tip dală nu dispun de aceleași rezerve de capacitate pentru elementele orizontale.

Un alt fenomen care trebuie analizat atent este capacitatea redusă de rotire a planșeelor dală, sau folosirea armăturii transversale pentru creșterea acesteia.

La fel ca în cazul conexiunilor dintre grindă și stâlp trebuie avut în vedere ca suma momentelor din dală să fie mai mică decât capacitatea de moment a stâlpului.

Se recomandă ca structurile cu planșee dală la care forțele seismice orizontale sunt preluate de pereți structurali să fie proiectate pe cât posibil astfel încât deformațiile plastice potențiale să fie dirijate în stâlpi.

În calculul structurilor cu planșee dală trebuie să se țină cont de degradarea materialului structural în timp datorită ciclurilor alternante din mișcările seismice. Factorii de reducere a rigidităților elementelor sunt diferiți față de cei obișnuiți folosiți pentru structuri în cadre, cu pereți structurali sau mixte, valorile acestora sunt date mai jos.

Tabelul 3.4 Valorile de proiectare ale rigidității secționale a elementelor structurale [26]

Tipul elementului	SLS		ULS
	Componentele nestructurale contribuie la rigiditatea de ansamblu a structurii	Componentele nestructurale nu interacționează cu structura	
Plăci (modelate prin elemente finite de suprafață sau prin grinzi echivalente)	0,4 $E_c I_c$	0,3 $E_c I_c$	0,3 $E_c I_c$
Grinzi perimetrale	0,6 $E_c I_c$	0,4 $E_c I_c$	0,4 $E_c I_c$

Stâlpi	$E_c I_c$	$0,5 E_c I_c$	$0,5 E_c I_c$
Pereți structurali	$0,5 E_c I_c$	$0,5 E_c I_c$	$0,5 E_c I_c$

E_c - Modulul de elasticitate al betonului

I_c - Momentul de inerție al secțiunii brute (nefisurate) de beton

3.6 Comentarii pe baza raportului de cercetare elaborat de European Comision Joint Research Center (E.C.J.R.C.)

Încercare pseudo-dinamică pe o structură din beton armat cu planșee dală

Lucrarea folosită pentru analiza comportării structurilor cu planșee dală amplasate în zone seismice este un raport de cercetare elaborat de către European Commission Joint Reserch Centre – Institute for the Protection and Security of the Citizen European Laboratory for Structural Assessment (ELSA) I- 21020 Ispra (VA), Italy, cu titlul “Pseudodynamic Earthquake Test on a Full-Scale RC Flat-Slab Building Structure”, autori: R. Zaharia, F. Taucer, A. Pinto, J. Molina, V. Vidal, E. Coelho, P. Candeias¹¹³⁰

Descrierea experimentului

Experimentul de față are ca scop determinarea comportării structurilor de beton armat cu planșee dală sub acțiunea încărcărilor seismice.

În calculul structurii a fost folosit codul de proiectare Portughez [REBAP, 1983], [RSA,1983].

Structura analizată are dimensiunile maxime în plan 8,50 m x 5,20 m, așa cum rezultă din (Fig. 3.34), regimul de înălțime este de 3 niveluri. Elementele verticale sunt reprezentate de patru stâlpi cu dimensiunile de 0,30 m x 0,50 m la parter și 0,30 m x 0,40 m la nivelul al doilea.

³⁰ “Pseudodynamic Earthquake Test on a Full-Scale RC Flat-Slab Building Structure”, autori: R. Zaharia, F. Taucer, A. Pinto, J. Molina, V. Vidal, E. Coelho, P. Candeias.

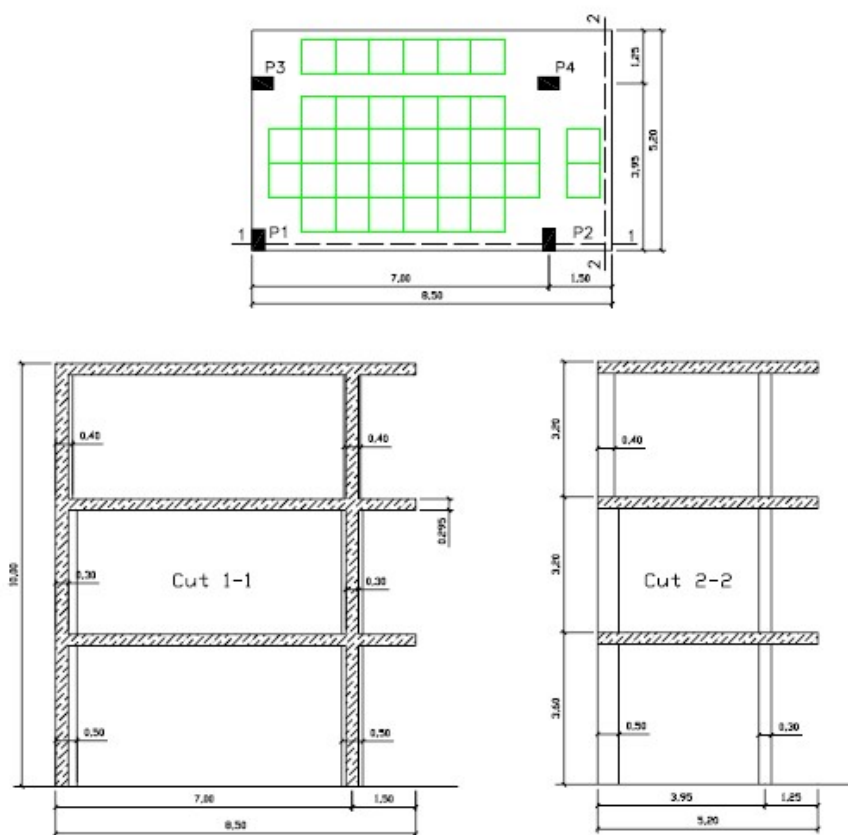


Figure 1. Plan and elevation views of the flat-slab building

Fig. 3.37 Vedere în plan și elevația structurii încercate [31]

Planșeele cu o grosime de 0,30 m sunt de tip casetat (pentru reducerea greutateii proprii s-au practicat goluri cu dimensiunea de 0,80 m x 0,80 m și înălțimea 0,20 m) (Fig. 3.35), (Fig.3.36).

Materialele folosite și proprietățile acestora

Materiale folosite sunt beton clasa C25/30 și oțel beton clasa A400 (Feb44k) cu următoarele caracteristici determinate pe diferite probe luate la turnare în cazul betonului (Fig. 3.40) și trei încercări pentru fiecare diametru de oțel folosit (Fig. 3.41), (Fig.3.42).

Încărcări din seism (accelerograme)

Pentru simularea încărcărilor seismice au fost folosite două teste pseudo-dinamice constând din încărcarea structurii pe o durată de 20 sec. cu o forță laterală echivalentă unui cutremur moderat spre mare conform normelor europene.

Primul pseudo-test constă în aplicarea unei forțe echivalente unui seism cu o accelerație de vârf a terenului de $PGA = 0,16 \text{ g}$ și o perioadă medie de revenire de 475 ani (Fig. 10).

Cel de al doilea corespunde unei accelerații de $PGA = 0,277 \text{ g}$ și o perioadă medie de revenire de 2000 ani.

Folosirea acestei metode permite realizarea testului prin aplicarea unei singure componente orizontale a forței.

Pentru a simula răspunsul structurii la o acțiune seismică o accelerogramă artificială este considerată în calcul și structura este apoi încărcată cu deplasarea echivalentă prin intermediul unor pistoane hidraulice.

Descrierea metodei de analiză numerică

Pentru a se obține un ordin de mărime a structurii supuse la pseudo-test au fost facute mai multe simulări numerice, pentru cutremurul cu perioade de revenire de 475 ani și cutremurul cu perioada de revenire de 2000 de ani.

Astfel au fost obținute următoarele rezultate pentru cutremurul cu perioada de revenire de 475 ani:

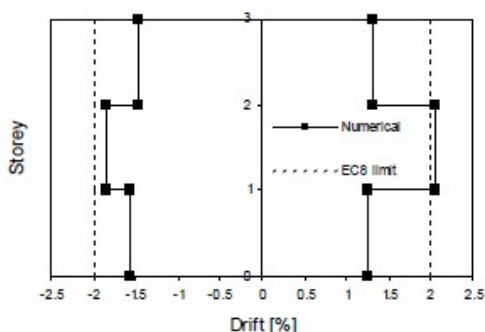


Figure 16. Maximum inter-storey drift profile

Fig. 3.50 Deplasarea relativă de nivel maximă [31]

Pentru cutremurul cu perioada de revenire de 2000 de ani, rezultatele sunt următoarele:

Fig. 3.51 Deplasarea de nivel – time history [31]

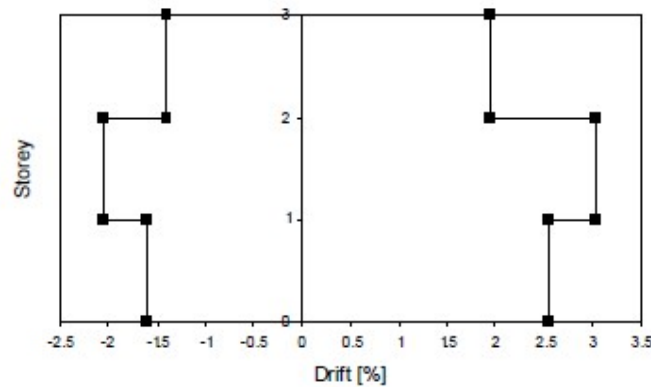


Figure 20. Maximum inter-storey drift profile

Fig. 3.53 Deplasarea relativă de nivel maximă [31]

Rezultatele experimentale

Rezultatele experimentale pentru cutremurul cu perioadă de revenire de 475 ani

După aplicarea forței corespunzătoare cutremurului cu perioada de revenire de 475 de ani s-au observat următoarele avarii:

- fisuri din moment încovoietor în grinzile principale transversale și longitudinale
- fisuri importante la fața interioară a planșeului de peste nivelul 3
- fisuri din forță încovoietoare în plăci la partea superioară la nivelul 1 și 2 în dreptul stâlpilor
- fisuri la baza stâlpilor

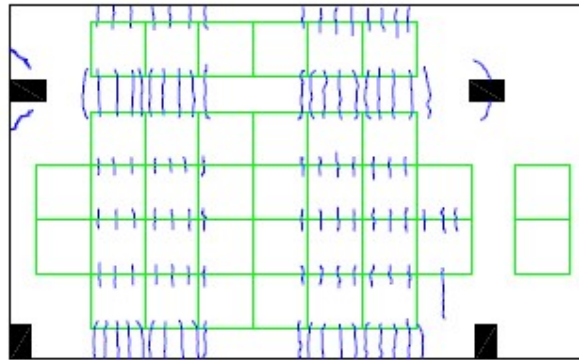


Figure 23. Floor 3 (below): cracking pattern



Figure 24. Floor 3 (below): slab crack detail around the perimeter of column P3

Fig. 3.54 Fisuri la intradosul planșeului la stâlpul P3 la nivelul 3 [31]

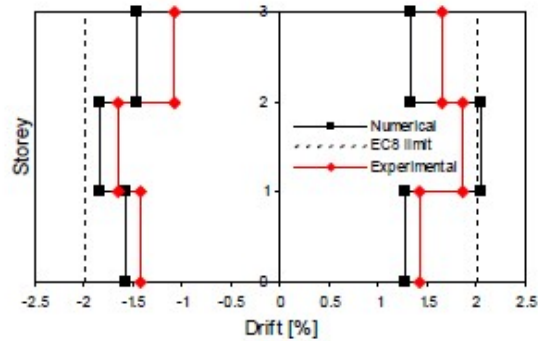


Figure 37. Maximum inter-storey drift profile (%)

Fig. 3.58 Deplasarea relativă de nivel maximă [31]

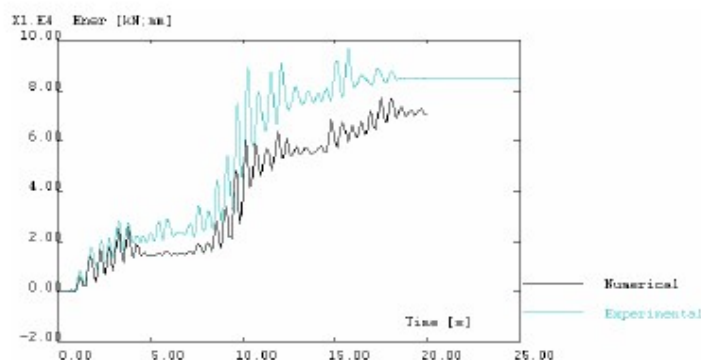


Figure 51. Total energy dissipation (experimental and numerical)

Fig. 3.59 Energia totală disipată – comparație experiment – simulare numerică [31]

Rezultatele experimentale pentru cutremurul cu perioadă de revenire de 2000 ani

Așa cum s-a arătat mai sus pentru a simula forța laterală asociată seismului s-a aplicat o deplasare impusă structurii. În cazul cutremurului cu perioada de revenire de 2000 de ani acest lucru s-a realizat prin scalarea cutremurului cu perioada de revenire de 475 de ani cu un factor de valoare 1,73.

Datorită faptului că structura fusese deja avariata de către prima încercare avariile înregistrate acum au fost mai mari. Dintre acestea putem aminti:

- fisuri importante la extradossul conexiunii dintre placă și stâlp la stâlpii
- fisuri datorate torsiunii în grinda transversală dintre acești stâlpi, ca rezultat comportarea conexiunilor dintre placa în consolă și stâlp a fost dată de cedarea din torsiune a grinzii
- fisurile existente din jurul stâlpilor P1 și P3 s-au deschis și mai mult datorită momentelor pozitive apărute din deplasarea structurii înspre perete
- avarii importante au fost notate la baza stâlpilor
- despicarea betonului și flambajul armăturii au fost remarcate de asemenea



Figure 56. Floor 2 (above): details of cracking around columns P1 and P3

Fig. 3.60 Fisuri la conexiunea placă stâlp pentru stâlpii P1 și P3 [31]

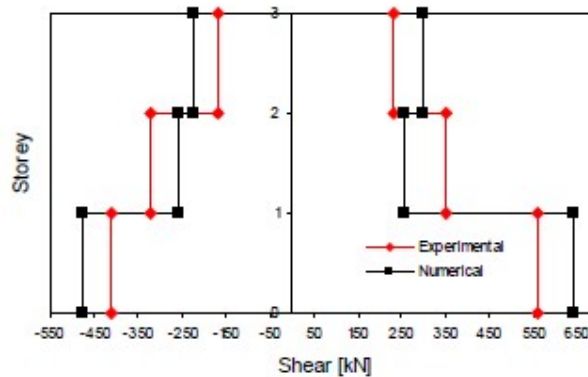


Figure 74. Maximum storey shear profile (kN) – experimental & numerical

Fig. 3.70 Forța tăietoare de de nivel, comparație experiment – simulare numerică [31]

Analiza de tip push-over

În cadrul testului a fost efectuată și o analiză tip push-over pentru ambele direcții de analiză: atunci când structura este deplasată înspre perete sau când este împinsă dinspre perete.

Rezultatele analizei arată faptul că există diferențe importante între analiza de ordinul I și analiza de ordinul II. Astfel se poate observa că în analiza de ordinul I există o rezistență mai mare la “curgere” față de analiza de ordinul II în stadiul post elastic, demonstrând astfel importanța efectelor de ordinul II în determinarea flexibilității structurii.

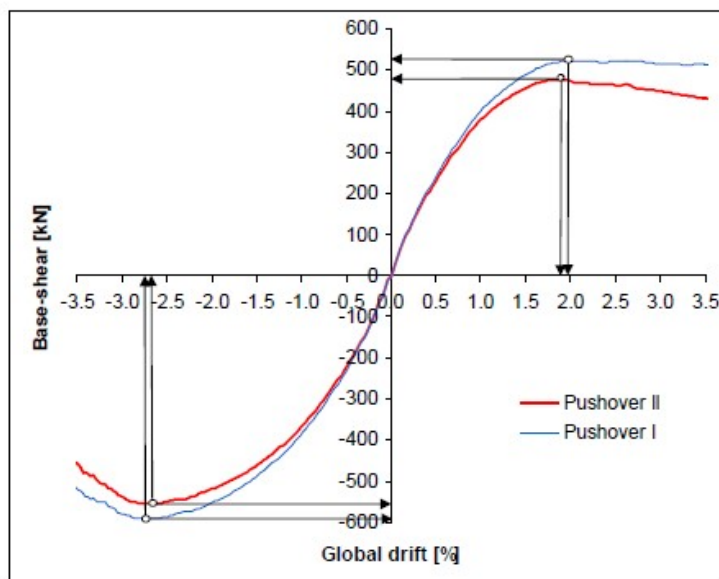


Figure 100. Base-shear versus global drift
(Pushover I: First order analysis, Pushover II: Second order analysis)

Fig. 3.72 Forța tăietoare de bază – drift [31]

Concluziile experimentului

Ca și concluzii ale acestui test au fost desprinse următoarele:

- majoritatea deformațiilor s-au concentrat în conexiunea dintre stâlp și placă
- au apărut fisuri importante din eforturi de încovoiere și torsiune
- avariile importante din torsiune au fost semnalate la grinzile transversale ale stâlpilor marginali și într-o mai mică măsură la stâlpii interiori
- a apărut fenomenul de separare între placă și stâlp datorită ancorării insuficiente a armăturii

Lățimea activă a plăcii este foarte importantă și trebuie evaluată cu multă atenție de la bun început.

Participarea plăcii la acțiunea seismică este mult mai mică decât cea considerată de către norma Eurocod 2, lucru confirmat și de alte studii recente din domeniu.

Structurile cu planșee dală sunt mult mai flexibile decât cele de tip cadru (cu stâlpi și grinzi), de aceea se recomandă introducerea unor elemente structurale mai rigide de tipul pereților structurali.

Comentarii și observații asupra încercării pseudo-dinamice pe o structură din beton armat cu planșee dală

Așa cum s-a arătat și în concluziile raportului de cercetare structurile cu planșee dală nu au o comportare favorabilă atunci când sunt acționate de forțe laterale.

De fapt în cadrul experimentului așa cum se întâmplă și în cazul unei mișcări seismice structura a fost încărcată cu o deplasare echivalentă unei forțe laterale derivată din accelerația mișcării seismice.

Experimentul a pus în evidență mai multe probleme ce pot apare în cazul unei asemenea structuri.

Conexiunea placă stâlp

Unul dintre punctele vulnerabile pentru o asemenea structură este conexiunea dintre placă și stâlp.

În cazul uni planșeu dală nu putem vorbi de același efect ca și în cazul unui nod de cadru clasic dintre o grindă și un stâlp. În cazul de față nu toată armătura care este considerată a lucra în încovoiere este ancorată în stâlp, sau ancorajul este insuficient, lucru care poate duce la desprinderea plăcii de stâlp.

S-a putut observa faptul că în cazul stâlpilor, unde a existat o consolă și ancorarea s-a putut realiza pe o lungime mai mare nu a mai aparut aceste fenomen. Se atrage atenția asupra faptului că prezența consolei a redistribuit și echilibrat valoarea de moment în dreptul stâlpului din fâșia de reazem. În norma americană există chiar o recomandare ca plăcile și grinzele să fie prelungite dincolo de zona de nod.

Trebuie subliniat și faptul că avarierea nodurilor nu a apărut din cauza încărcărilor gravitaționale ci în urma încărcărilor alternate cu deplasări laterale ale structurii. Astfel au apărut momente negative și pozitive care au generat fisuri și în final au dus la ruperea legăturii. Comportarea este aceeași ca în cazul nodurilor stâlp-grindă în teorie, diferența apare din faptul că în cazul conexiunilor dintre placă și stâlp nu mai avem capacitate de moment. Dacă în cazul conexiunii grindă-stâlp zona de beton comprimată este mai mare, la fel ca și aria de armătură permițând dezvoltarea unor momente mari în cazul planșeelelor acest lucru nu se poate realiza datorita grosimii relativ mici impuse planșeelelor.

Datorită armării suplimentare a grinzilor din jurul nodului, lucru realizat pentru satisfacerea cerinței de poansonare a plăcii se observă că ruperea s-a produs în imediata apropiere a stâlpului, lucru care confirmă faptul că zona respectivă s-a comportat ca un link disipativ, așa cum se întâmplă și în cadrul grinzilor de cadru.

Totuși în cazul unui planșeu dală odată cu apariția acestor fisuri și a formării articulațiilor plastice trebuie avut în vedere faptul că se poate produce fenomenul de poansonare, de aceea este recomandat ca energia să fie disipată prin folosirea altor tipuri de elemente structurale.

Avarii din torsiune și încovoiere la grinzi

În acest experiment fâșiile de reazem și cele de câmp au fost echivalate cu niște grinzi.

S-a observat că în urma ciclurilor alternate de momente pozitive și negative au apărut fisuri importante atât în grinzile longitudinale cât și în cele transversale.

Avarii importante au apărut și în grinzile transversale datorate momentelor de torsiune. Acest lucru apare în urma ancorării parțiale a barelor longitudinale din grinda longitudinală în cea transversală cât și faptului că lățimea activă a plăcii ce conlucrează este mai mare decât lățimea grinzii. Dacă considerăm un sistem de planșeu dală cu secțiune plină unde sunt foarte bine puse în evidență fâșiile de reazem și cele de câmp acest lucru este cu atât mai bine pus în valoare. Lățimea unei fâșii este întotdeauna mai mare decât cea a stâlpului, ea fiind calculată în funcție de deschiderile aferente ale plăcii și de dimensiunile stâlpului.

Acest lucru pune în evidență faptul că este benefică dispunerea de grinzi perimetrice și de pereți structurali în construcțiile cu planșee dală. Rolul acestor elemente este acela de a rigidiza structura reducând deplasările laterale și odată cu aceasta avariile din torsiuni.

Conformarea structurală a construcțiilor cu planșee dală amplasate în zone seismice

Construcțiile cu planșee dală amplasate în zone seismice sunt mult mai flexibile decât cele cu o structură în cadre.

Sensibilitatea și flexibilitate crescută a acestora recomandă introducerea de elemente verticale de tipul pereților structurali pentru preluarea forțelor seismice.

Așa cum s-a arătat în experiment și prin alte studii recente rolul planșeelor este redus în disiparea energiei, acest lucru se realizează pe lățimea zonelor active ale plăcii în jurul stâlpilor.

Totuși și în cadrul experimentului s-a pus în evidență fenomenul de plastifiere la baza stâlpilor ceea ce denotă capacitatea acestora de disipare a energiei.

În conformitate cu cele de mai sus cercetarea prenatalivă din Romania privind proiectarea structurilor cu planșee dală limitează la 2 niveluri clădirile amplasate în zone cu seismicitate caracterizată de $a_g \leq 0,12g$ în cazul în care sistemul structural este reprezentat doar de planșee și stâlpi. Factorul de comportare a structurii se va lua cel mult $q=2,5$. Aceste prevederi au fost preluate și în codul de proiectare.

Pentru structurile cu $a_g \geq 0,16g$ se impune folosirea pereților structurali pentru preluarea forțelor seismice, sistemul dală – având doar rol de transmitere a forțelor gravitaționale. În acest caz factorul de comportare a structurii se va lua funcție de sistemul structural adoptat pentru preluarea forțelor seismice.

Așa cum s-a arătat anterior planșeele dală sunt sensibile la acțiuni seismice rezultând avarii din torsiune și încovoiere în timpul acțiunilor seismice.

De asemenea pentru zonele mai sus menționate se impune și realizarea de grinzi perimetrale, care pot avea un dublu rol, acela de disipare a energiei cât și acela de sporire a ancorării armăturii longitudinale din fâșiile plăcii.

Un alt element important prevăzut și de cercetarea prenatalivă este necesitatea prevederii de armături transversale verticale, neadmițându-se bare înclinate.

Pentru zonele seismice nu este recomandată realizarea de îmbinări între stâlp și grindă fără armătură transversală de “coasere” a fisurilor din zona de străpungere. Această armare suplimentară are același rol ca cel al etrierilor din grinzi. Comportarea zonei de reazem poate fi îmbunătățită prin aplicarea precomprimării. Se poate spune că se introduce un efect invers eforturilor de întindere din beton.

Toate elementele structurale vor avea rigiditatea redusă pentru a lua în calcul fisurarea pronunțată a dalelor.

4. STUDIU ȘI APLICAȚIE EXPERIMENTALĂ

4.1. Studiul parametric al unui planșeu dală la o structură amplasată într-o zonă seismică

Pentru realizarea studiului parametric s-a ales o structură cu următoarele caracteristici:

- formă rectangulară în plan: 3 deschideri cu $L = 6,50$ m și 5 travei egale cu $t = 6,50$ m
- regim de înălțime S+P+4E
- înălțimea de nivel este constată la nivelul suprastructurii $H_e = 3,60$ m
- structură din beton armat monolit cu planșee dală: beton C20/25, oțel beton PC 52, PC 60, B 500 (C)
- stâlpii de beton armat monolit au rezultat cu următoarele dimensiuni 60x60 cm pentru stâlpii centrali, 45x45 cm stâlpii marginali și de colț
- pereții de beton armat cu grosimea de 30 cm sunt dispuși pe perimetrul structurii
- placa de beton armat monolit are grosimea de 22 cm
- din punct de vedere a normativului P100/2006-1 structura se încadrează în clasa III de importanță având un coeficient de importanță $\gamma_1 = 1$.

Studiul parametric are ca scop determinarea aportului componentei verticale din seism pentru calculul rezistenței la poansonare a unui planșeu dală. Acest fenomen de poansonare a planșeeleor dală a fost discutat pe larg în capitolele anterioare, dar în celele mai multe din cazurile amintite acestea au fost supuse doar la încărcări gravitaționale, fără luarea în calcul a componentei seismice. Pentru aceasta s-a folosit ca normă de referință codul de proiectare seismică P100/2006-1.

În tabelul de mai jos sunt prezentate combinațiile dintre perioada de colț și accelerațiile maxime pe amplasament considerate conform normativului românesc.

Perioada de colț T_c	Valorile de vârf ale accelerației de proiectare a_g pentru IMR 100 ani
0,70 sec	0,08 g
	0,12 g
	0,16 g
	0,20 g
	0,24 g

1,00 sec	0,16 g
	0,20 g
	0,24 g
	0,32 g
1,6 sec	0,24 g
	0,32 g

Pentru situațiile de mai sus s-au folosit spectrele normalizate de răspuns pentru o amortizare critică de 5% ($\xi = 0,05$).

Normativul P100/2006 prevede folosirea următoarei formule pentru determinarea spectrului de răspuns elastic a componentei verticale din seism:

$$S_{ve(T)} = a_{vg} \times \beta_{v(T)}$$

$$a_{vg} = 0.7 \times a_g$$

$$T_{Bv} < T \leq T_{Cv} \Rightarrow \beta_{v(T)} = \beta_{0v} = 3.0$$

Spectrul de proiectare folosit s-a calculat conform formulei de mai jos considerând simplificat un factor de comportare a structurii cu valoarea $q = 1,5$.

$$S_{vd(T)} = a_{vg} \frac{\beta_{v(T)}}{q}$$

Modelarea structurii s-a făcut cu ajutorul programelor ETABS și SAFE. Astfel pentru calculul forței seismice au fost utilizate două metode, ambele accepta de normele naționale și internaționale: forța static echivalentă și combinația medie pătratică.

Pentru a ține cont de reducerea rigidității structurale a elementelor de beton datorită fisurării, în principal a dalelor, pentru elementele verticale s-a redus rigiditatea secțională cu un coeficient egal cu 0,5, în timp ce pentru planșeele dală coeficientul de reducere folosit a fost de 0,3 față de valoarea de bază $E_c I_c$.

Pentru evidențierea fenomenului au fost alese două îmbinări dintre stâlp și placă cu transmitere de eforturi gravitaționale și seismice. O îmbinare între un stâlp central și placă și o îmbinare între un stâlp de margine și placă.

Rezultatele modelării au arătat că influența componentei seismice verticale nu are o influență majoră asupra conexiunii dintre planșeul dală și stâlp. Însă valoarea forței tăietoare asociate componentei verticale poate ajunge în cazul unei accelerații de proiectare $a_g = 0,32$ g, la cca. 30% din valoarea forței tăietoare asociate din gruparea fundamentală.

Dacă se ține cont de modul de combinare a încărcărilor pentru grupările excepționale cum este și cea seismică se poate spune că valoarea componentei din seism vertical cumulată cu încărcările din gruparea specială de încărcări se pot situa în jurul valorii date de gruparea fundamentală, în cazul unor zone cu o accelerație de proiectare a terenului mare.

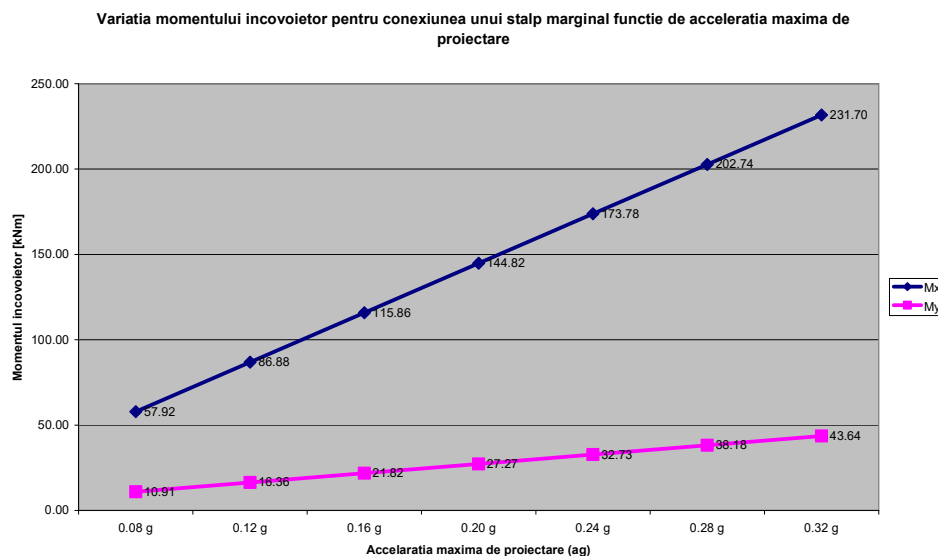


Fig.4.2 Variația momentului încovoietor pentru conexiunea unui stâlp marginal funcție de accelerația maximă de proiectare

Se poate observa variația momentului necesar pentru conexiunea dală stâlp în funcție de creșterea accelerației de proiectare. Astfel crescând cerința de la $a_g = 0,08$ g la $a_g = 0,32$ g se poate observa o variație proporțională a momentului cu aceasta, momentul necesar crește și el de 4 ori. Dacă inițial puteam vorbi de valori de cca 50 kNm pentru o conexiune dală stâlp interior la o accelerație mare putem avea o cerință de cca. 200 kNm.

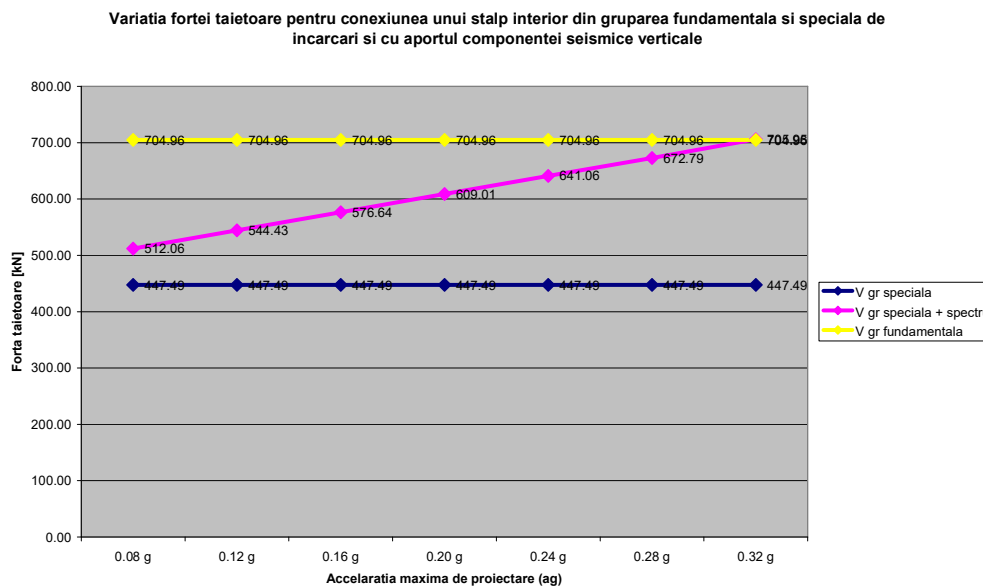


Fig.4.3 Variația forței tăietoare pentru conexiunea unui stâlp interior din gruparea fundamentală și specială de încărcări și cu aportul componentei seismice verticale

Forța tăietoare asociată componentei verticale seismice crește și ea odată cu accelerația de proiectare. În cazul conexiunilor stâlpilor interior valoarea rezultată din adunarea componentei seismice verticale cu valoarea din gruparea specială duc aproape la aceeași cerință ca și în cazul grupării fundamentale. În cazul stâlpilor marginali se poate observa că rezultatul obținut din combinarea celor două valori seismice și specială nu mai conduc spre gruparea fundamentală ca și cerință de calcul.

Cu toate acestea în cazul verificării capacității de poansonare la fața stâlpului s-a observat că efortul unitar capabil de străpungere nu a fost depășit în nici unul dintre cazuri, efortul unitar necesar situându-se la cca. 30% din valoarea celui capabil.

Se poate observa că dacă pentru un stâlp interior valoarea combinată din gruparea specială și componenta verticală seismică duc la un rezultat apropiat de cel cerut de gruparea fundamentală, în cazul unui stâlp marginal aceasta din urmă este depășită.

4.2. Modelarea planșeului dală sub încărcări gravitaționale și seismice

Pentru modelarea planșeului sub acțiuni gravitaționale și seismice s-a folosit programul SAFE v.12.1.1., program de calcul ce permite analizarea concomitentă a celor două tipuri de încărcări. S-a ales pentru realizarea modelului placă de peste etajul 3 a structurii modelate anterior.

Elementele de beton armat au avut rigiditățile reduse cu coeficienți subunitari conform Tabelului 3.4 de la capitolul 3. Astfel pentru elementele verticale, stâlpi și pereți structurali, s-a folosit un factor de reducere 0,5, pentru grinzi 0,4, iar pentru planșeul dală 0,3.

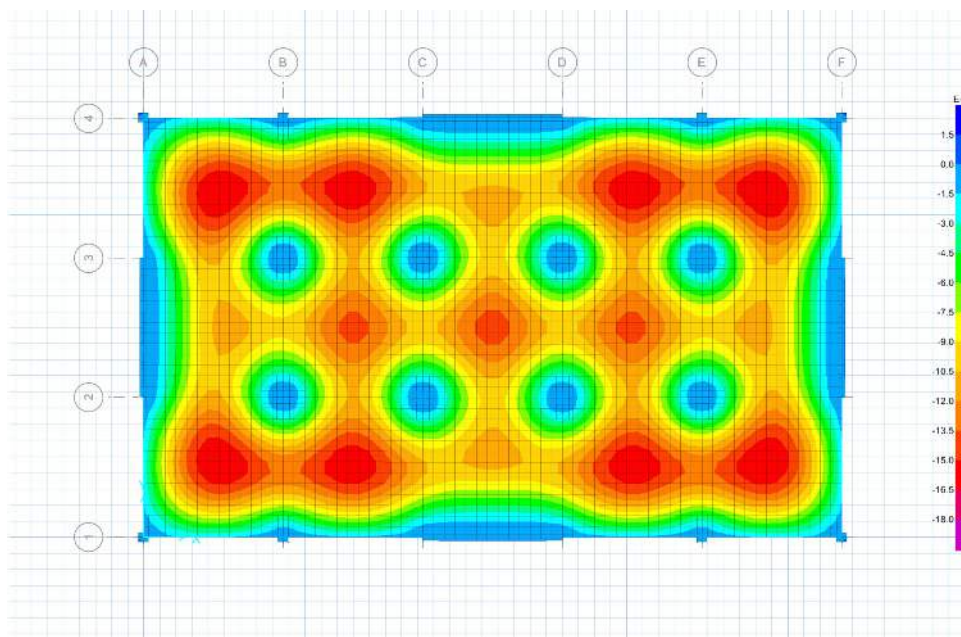


Fig. 4.10 Deformata planșeului dală pentru încărcări gravitaționale

Modelarea planșeului sub încărcări gravitaționale și seismice s-a făcut pentru structura descrisă în subcapitolul 4.2, pentru următoarele cazuri:

- Determinarea solicitărilor prin metoda elementului finit
- Dimensionarea unei îmbinări interioare (străpungere excentrică)

4.3. Concluzii, recomandării, direcții de cercetare pentru planșee dală din beton armat

Comportarea planșeelor dală sub încărcări seismice nu este aceeași cu cea a planșeelor de tip membrană. Chiar dacă planșeele cu grosimi mai mici care sunt considerate în calculul simplificat că lucrează ca un element de tip membrană au o anumită rigiditate și preiau forțe tăietoare perpendiculare pe planul lor median acestea sunt neglijabile în comparație cu valorile momentelor încovoietoare.

În cazul planșeelor dală cu grosimi mai mari acest lucru nu mai poate fi neglijat și de aceea componenta de forță tăietoare joacă un rol major în dimensionarea acestora. Acest lucru este evident mai ales la conexiunea stâlpilor cu placa de beton armat.

Dacă se compară valorile de calcul din gruparea specială seismică și cea fundamentală se observă că gruparea fundamentală de calcul are cerințe mai mari de armare pentru forță tăietoare. În general prin armarea păcilor la poansonare pentru eforturi din gruparea fundamentală de calcul acoperă și cerința din componenta seismului vertical. Totuși se

recomandă ca să se facă și această verificare în cazul în care avem structuri amplasate în locații cu seismicitate mare și încărcări mari pe planșee.

Un punct de interes pentru o cercetare mai aprofundată îl reprezintă comportarea nodului dintre planșeu și stâlpi la încărcări ciclice alternate cum sunt cele din seism, chiar cu folosirea precomprimării parțiale. Studiul experimental aprofundat al acestor îmbinări ar putea conduce la soluții mai raționale de armare a planșeeelor dală la deschideri și încărcări mari, precum și armarea corespunzătoare a zonelor de reazem pentru fenomenul de poansonare.

5. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE

5.1 Avantajele folosirii planșeelor precomprimate de tip dală la structuri

Așa cum s-a arătat și în capitolele anterioare planșeelor dală reprezintă o alternativă viabilă pentru structurile moderne. Utilitatea lor a fost dovedită atât din motive economice cât și practice, în unele cazuri folosirea planșeelor de tip dală fiind impusă de cerințe de ordin tehnologic.

Dintre avantajele mai sus menționate putem aminti:

- înălțimile reduse de nivel în cazul construcțiilor civile
- ușurința de realizare a cofrajului plăcii
- rapiditate în execuție

Totuși planșeele de tip dală prezintă și anumite particularități ce le fac vulnerabile la anumite acțiuni, cum ar fi cele de ordin seismic și cele de forță tăietoare în jurul reazemelor concentrate.

În capitolul 4 s-a făcut o analiză amănunțită a fenomenului de străpungeră pentru planșeele de tip dală și s-au pus în evidență particularitățile acestuia față de planșeele cu grinzi. Un element important ce trebuie reținut pentru acest tip de structură este necesitatea prevederii unei armături suplimentare în jurul reazemelor pentru evitarea poansonării și pentru evitarea efectului de domino datorită prabușirii planșeelor.

Folosirea betonului precomprimat la planșeele dală prezintă anumite avantaje prin faptul că se reduce cantitatea de armătură folosită față de planșeele armate cu bare independente netensionate precum și obținerea unui spor de capacitate la forță tăietoare din jurul reazemelor, valoarea cerinței forței tăietoare putând fi redusă prin multiplicarea cu un coeficient subunitar $0,8 \div 0,9$ [29].

Armătura folosită la precomprimare poate fi preîntinsă sau postîntinsă, aderentă sau neaderentă. În cazul planșeelor dală folosirea armăturii preîntinse nu este facilă deoarece aceasta presupune folosirea unor elemente ajutătoare pentru ancorarea prealabilă a acesteia înainte de întărirea betonului, de aceea se preferă armătura postîntinsă cu toroane sau monotoroane cu sau fără aderență.

Cu toate acestea în cazul folosirii precomprimării la planșeele dală se reduce posibilitatea de a se interveni ulterior asupra structurii prin practicarea de goluri în planșee, de aceea este de preferat ca soluția aleasă să fie aceea de precomprimare pe fâșii în dreptul reazemelor. Problema dispunerii golurilor în planșeele dală mai ales în cele precomprimate cu

armătură distribuită este o cerință ce trebuie rezolvată încă din faza de proiectare, deoarece practicarea de goluri ulterioare în planșeu este foarte anevoioasă, uneori chiar imposibilă. În cazul dispunerii armăturii de precomprimare în fâșii realizarea de goluri ulterioare în placă este mai ușoară.

O altă problemă ce trebuie luată în calcul în cazul folosirii planșelor dală precomprimată cu armătură neaderentă este comportarea acestora la foc.

Precomprimarea planșelor de beton armat așa cum rezultă și din bibliografia studiată este o problemă de actualitate mai ales din punctul de vedere al comportării acestora la poansonare în cazul structurilor amplasate în zone seismice. Ea reprezintă o alternativă a modului clasic de armare putând conduce la deschideri mai mari ale elementelor de beton armat, reducerea consumului de armătură. Trebuie reținut faptul că folosirea armăturii tensionate nu exclude total folosirea de bare independente, acestea fiind absolut necesare așa cum s-a arătat și în capitolul 3.

5.2 Particularități și cerințe specifice pentru structurile cu planșee de tip dală amplasate în zone seismice

Structurile amplasate în zone seismice prezintă anumite cerințe aparte din punct de vedere a conformării de ansamblu și detalierii elementelor structurale, precum și a tipului de structură folosit.

O cerință fundamentală pentru alcătuirea și conformarea acestor tipuri de structuri este disiparea energiei seismice, acest lucru făcându-se în principal prin articulațiile plastice ce se formează în elementele structurale. Poziția articulațiilor plastice precum și modul de dispunere, calcul și detaliere a acestora au fost discutate în capitolele anterioare. Soluțiile moderne de disipare a energiei precum izolatorii seismici de bază, amortizorii seismici, etc pot fi utilizate la aceste tipuri de structuri fiind însă necesar un calcul mult mai elaborat.

Dacă în cazul structurilor în cadre, duale sau cu pereți structurali în care stâlpii au doar rol de preluare a încărcării gravitaționale articulațiile se formează în elementele verticale și la capetele grinzilor la structurile cu planșee dală se impun anumite cerințe suplimentare pentru disiparea energiei din seism.

Astfel sunt impuse limitări mai severe ale deplasări de nivel și o conformare specială ce include folosirea obligatorie a pereților structurali precum și dispunerea de grinzi perimetrale. Pentru zonele cu seismicitate ridicată ($a_g \geq 0,16g$) este posibilă realizarea doar de structuri parter cu planșee dală, fără pereți structurali.

Un alt aspect îl constituie reducerea mult mai severă a capacităților elementelor structurale pentru a se ține seama de fisurarea betonului sub încărcări statice și dinamice ciclice.

Nu în ultimul rând trebuie amintită necesitatea prevederii unei armături de integritate care să prevină prabușirea planșeelor.

Dacă în cazul structurilor cu planșee ce descarcă pe grinzi efectul componentei verticale seismice nu este considerat de cele mai multe ori, doar în cazuri particulare, acesta trebuie luat în calcul pentru planșeele dală. El poate aduce un spor de forță tăietoare pentru calcul poansonării și reduce efectul benefic al precomprimării din jurul reazemelor.

În cazul structurilor cu planșee dală precomprimate, armate cu toroane neaderente, trebuie luată în calcul și comportarea diferită a acestui tip de planșeu pentru încărcări gravitaționale. Această diferență constă din lipsa capacității armăturii neaderente de a asigura susținerea în poziție planșeului dală în cazul în care s-a produs fenomenul de poansonare.

Efectul de șaibă rigidă, cerință fundamentală pentru planșeele structurilor din zone cu seimicitate ridicată poate fi obținut prin folosirea planșeelor de tip dală. Grosimea destul de mare a acestora impusă de cerințele de exploatare (săgeata) și din brațul de pârghie necesar acoperă în general cerințele uzuale pentru obținerea unei rigidități suficiente în plan.

5.3 Comparație între planșeele dală cu armatura postîntinsă și armare cu bare independente

Rentabilitatea economică a planșeelor dală din beton precomprimat este evidentă mai ales pentru deschideri mari, pentru deschideri mai mici ea fiind mai scumpă decât soluția clasică de armare cu bare independente.

Se observă că din punct de vedere economic poate apare o diferență de cca. 20% în favoarea planșeelor din beton precomprimat. Astfel în cazul deschiderilor de peste 7÷8 metri devine economică folosirea armăturii de precomprimare.

Din punct de vedere al comportării structurilor cu planșee dală precomprimate s-a observat în urma testelor efectuate o îmbunătățire a capacității de drift de la aproximativ 3‰ pentru structuri cu planșe dală la cca 5‰ pentru cele cu planșee precomprimate.

Testele efectuate pentru structuri cu planșee dală amplasate în zone seismice sunt destul de reduse ca număr și nu cuprind toate aspectele comportării structurale.

Pentru planșeele precomprimate nu sunt încercări suficiente care să pună în evidență comportarea acestora în timp sub încărcări ciclice alternate cum este cazul acțiunii seismice.

Codurile de proiectare acoperă în principal problema calculului sub încărcări gravitaționale.

5.4 Contribuții personale

Din parcurgerea tezei cu titlul “Comportarea structurilor cu planșee dală precomprimate amplasate în zone seismice” se pot evidenția mai multe elemente de studiu considerate ca și contribuții personale.

Dintre acestea amintesc următoarele:

1. Realizarea unei analize sintetice asupra structurilor cu planșee dală din punct de vedere funcțional și structural cu evidențierea rolului planșeeelor în filozofia de proiectare a structurilor amplasate în zone cu seismicitate ridicată. Rolul de șaibă rigidă a planșeeelor în structuri, în special a planșeeelor dală precomprimate sau armate cu armătură pasivă.
2. Sintetizarea nivelului actual de cercetare teoretică și practică în studiul planșeeelor dală și modul de calcul al acestora. Metodele stabilite anterior în calculul general al planșeeelor care țin seama mai ales de încărcările de ordin gravitațional au fost completate de noile direcții de calcul ce apar în cadrul studiilor efectuate pentru determinarea comportării în caz de seism. Acestea se referă la capacitatea de moment a conexiunilor dintre planșeul dală și stâlp, precum și la modul de disipare a energiei într-o structură cu planșee dală supusă încărcărilor seismice.
3. O altă temă aprofundată a fost comportarea structurilor cu planșee dală din zonele seismice. Structurile cu planșee dală fiind cunoscute ca ansambluri constructive sensibile la acțiuni seismice. O problemă fundamentală a acestui tip de structură constă în realizarea mecanismului de disipare a energiei seismice. Acest lucru impune realizarea unei conformări specifice prin utilizarea pereților structurali și a grinzilor perimetrale, care folosite în mod judicios pot duce și la limitarea deplasărilor laterale a structurii pemițându-le să se înscrie în cerințele normelor. Studiile actuale pe această temă sunt destul de puține, ele fiind limitate la câteva experimente efectuate în SUA, Japonia și Europa, inclusiv structuri cu planșee dală precomprimate, care aduc o reducere economică deloc neglijabilă în execuția structurii.

4. În cadrul aplicației experimentale am studiat influența componentei verticale din seism asupra planșeeelor dală. Este bine știută sensibilitatea acestor tipuri de planșee la poansonare, în urma modelărilor efectuate rezultând o creștere a cerinței încărcării din gruparea specială cu până la 30% pentru zone cu seimicitate ridicată. Verificările efectuate pentru modul de armare al planșeeelor s-au bazat în special pe norma Eurocod 2, care este considerată la ora actuală cea mai apropiată ca rezultate de comportarea reală a planșeeelor de tip dală.
5. Ca direcții de cercetare aprofundată în domeniu pot aminti și de comportarea conexiunii dintre placă și stâlp pentru planșee cu armătură post întinsă la încărcări ciclic alternante, posibilitatea disipării de energie în planșeeele dală și modul de reparație ulterioară a acestora, lucru care ar reduce cu mult consumul de armătură și dimensiunile elementelor verticale, precum și mărirea deplasărilor capabile a structurii în starea limită ultimă.

Proiectarea structurilor cu planșee dală precomprimate amplasate în zone cu seimicitate ridicată este o problemă de actualitate atât la noi în țară, cât și în lume. Preferința proiectanților de arhitectură și a investitorilor pentru astfel de structuri datorită costurilor mai reduse, a rapidității în execuție, precum și a altor avantaje pun inginerul proiectant de structură în ipostaza realizării unor proiecte complexe din punct de vedere a conformării structurale și a calcului. De aceea este necesară aprofundarea cerințelor specifice pentru astfel de structuri, acestea nefiind aceleași ca pentru structurile clasice de beton armat.

7. BIBLIOGRAFIE

1. Alexander Kierdorf, Early Mushroom Slab Construction in Switzerland, Russia and the U.S.A. – A Study in Parallel Technological Development
2. STAS 3434 /1952 – Planșee ciuperci din beton armat (prescripții de calcul și alcătuire)
3. Cod de proiectare seismică P100 partea I - P100-1/2006 Prevederi de proiectare pentru clădiri
4. T. Paulay Seismic Design of Concrete Structures The Present Needs of Societies – Paper No.2001 – Eleventh World Conference On Earthquake Engineering
5. Îndrumător pentru calcul și alcătuirea elementelor de beton armat – R. Agent, D. Dumitrescu, T. Postelnicu
6. ACI 318-2008 - Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-08) and Commentary
7. NEHRP Seismic Design of Cast-in-Place Concrete Diaphragms, Chords, and Collectors: A Guide for Practicing Engineers
8. SREN 1998 – 1:2004 – Proiectarea structurilor pentru rezistență la cutremur. Reguli generale, acțiuni seismice și reguli pentru clădiri; SR EN 1998-1:2004/AC:2010 – Proiectarea structurilor pentru rezistență la cutremur. Reguli generale, acțiuni seismice și reguli pentru clădiri. Erată; SR EN 1998-1:2004/NA:2008– Proiectarea structurilor pentru rezistență la cutremur. Reguli generale, acțiuni seismice și reguli pentru clădiri. Anexa națională
9. Proiectarea structurilor de beton armat în zone seismice – T. Postelnicu et al.
10. www.CTLGroup.com
11. Cod de proiectare seismică P100 partea I - P100-1/2013 Prevederi de proiectare pentru clădiri
12. Beton precomprimat – Dan Dumitrescu, Augustin Popăescu
13. T.Y. Lin, Ned H. Burns, Design of Prestressed Concrete Structures
14. FIB - Codul Model Ceb FIP 2010
15. SR EN 1992 – 1:2004 – Proiectarea structurilor de beton. Reguli generale și reguli pentru clădiri

16. SR EN 1992-1-1:2004/AC:2008 – Proiectarea structurilor de beton. Reguli generale și reguli pentru clădiri. Erată
17. SR EN 1992-1-1:2004/NB:2008 – Proiectarea structurilor de beton. Reguli generale și reguli pentru clădiri. Erată. Anexa națională
18. www.freyssinet.com
19. STAS 10107/0-90 – Calculul și alcătuirea elementelor structurale de beton, beton armat și beton precomprimat
20. AICPS REVIEW 1-2/2012 – Abordări noi privind conformarea, calculul și alcătuirea structurilor construcțiilor moderne – Mircea Mironescu, Adrian Mircea Stănescu, Teodor Brotea, Radu Comănescu, Daniel Purdea, Mircea Vlad Stănescu
21. AICPS Review – 1-2/2013 – Probleme legate de exigențele moderne și soluțiile inovative necesare pentru conceperea, evaluările prin calcul și detaliera unor structuri realizate cu elemente de beton armat sau metalice din oțel – Mircea Mironescu, Adrian Mircea Stănescu, Teodor Brotea, Radu Comănescu, Daniel Purdea, Mircea Vlad Stănescu
22. www.dywidag-systems.com
23. Traite de Genie Civil – Dimensionnement des Structures en Beton – Renaud Favre, et al.
24. Ghid pentru proiectarea planșelor dală în zone seismice – Cercetare prenormativă
25. Guandalini și Muttoni (Punching Shear Strength of Reinforced Concrete Slabs without Transverse Reinforcement – A. Muttoni, ACI Journal)
26. GP 118-2012 – Ghid pentru proiectarea planșelor dală în zone seismice
27. Design of prestressed concrete, 2nd edition – Arthut H. Nilson
28. Seismic vulnerability of flat-slab structures, Tehcnical Report Mid-America Earthquake Center DS-9 Project 9 (Risk Assesment modelling), M. Atug Erberik and Amr. S. Elnashai
29. Pacific Earthquake Engineering Research, Slab-Column Frames, John Wallace
30. “Pseudodynamic Earthquake Test on a Full-Scale RC Flat-Slab Building Structure” - R. Zaharia, F. Taucer, A. Pinto, J. Molina, V. Vidal, E. Coelho, P. Candeias.
31. Reinforced concrete structures – L. Crainic

32. F.I.P. – Practical design of reinforced and prestressed structures
33. F.I.P. – Recommendations for the design of post-tensioned slabs an foundation rafts
34. STAS 3434 /1952 – Planșee ciuperci din beton armat (prescripții de calcul și alcătuire)
35. STAS 10107/2-1977 – Planșee curente din plăci și grinzi din beton armat și beton precomprimat (prescripții de calcul și alcătuire)
36. Modern concepts for R.C. and P.C. concrete members. Short introduction to ACI 318-89 – Augustin Popăescu
37. Betonul precomprimat, vol. 1 – I. Tuns, N. Florea
38. Beton precomprimat, calcul după Eurocode 2 – R. Pascu, A. Zybazinsky
39. AICPS Review – 1-2/2008 – Aplicații ale planșeelor de beton cu armătură posttîntinsă la clădirile multietajate – R. Pascu, D. Plantier, Gh. Ionică