

INSTITUTUL POLITEHNIC TRAIAN VUIA
TIMISOARA
(CATEDRA DE BETON ARMAT SI CLADIRI

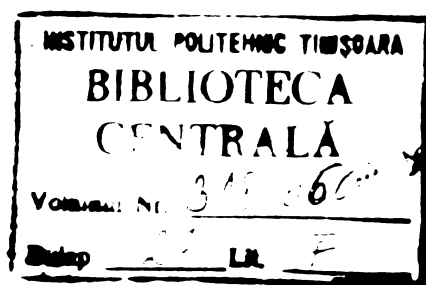
Ing. Smaranda Doina Nour

CONTRIBUTII LA STUDIUL STARILOR LIMITA DE FISURARE
SI REZISTENTA IN SECTIUNI NORMALE LA ELEMENTE PRE-
COMPRIATE ARMATE CU BARE GROASE PC 90 SI TOROANE TBP

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

Conducător științific
Prof. em. ing. Constantin AVRAM
Membru corespondent al Academiei R.S.R.

- 1976 -



"ANUL ACESTA SI CINCINALUL REVOLUTIEI
TEHNICO-STIINTIFICE SA COINCIDA CU O
ADEVARATA REVOLUTIE IN NIVELUL INTRE-
GULUI NOSTRU INVATAMINT, CU RIDICA-
REA PE O TREAPTA NOUA A PREGATIRII
CADRELOR, A FORMARII OMULUI NOU,
CONSTRUCTOR AL SOCIETATII SOCIA-
LISTE SI COMUNISTE "

N.Ceaușescu

Cuprins

	pag.	
Cap.1	Introducere	3
Cap.2	Starea limită de fisurare și de rezistență în secțiuni normale pentru elemente precomprimate cu armătură preîntinsă	9
2.1	Considerații generale privind fisurarea	9
2.2	Apariția fisurilor normale	16
2.3	Deschiderea fisurilor în stadiul II	27
2.3.1	Dinamica fisurării la betonul precomprimat	28
2.3.2	Ipoteze de calcul	35
2.3.3	Relații de calcul	36
2.4	Starea limită derezistență	49
2.4.1	Gradul de siguranță	49
2.4.2	Ipoteze și relații de calcul	51
Cap.3	Elemente experimentale	55
3.1	Grinzi de beton precomprimat cu armătură preîntinsă sub formă de toroane	55
3.2	Grinzi de beton precomprimat cu bare groase PC 90	63
3.3	Parametri variabili	65
3.4	Executarea grinzelor	69
Cap.4	Experimentarea grinzelor	85
4.1	Condiții de experimentare	85
4.2	Măsurători efectuate	87
Cap.5	Rezultate experimentale și compararea lor cu valori teoretice	91
5.1	Apariția fisurilor normale	91
5.2	Starea limită de deschidere a fisurilor	98
5.2.1	Stabilizarea fisurilor	98
5.2.2	Distanța dintre fisuri	99
5.2.3	Deschiderea fisurilor	110
5.3	Starea limită de rezistență	133
Cap.6	Concluzii, Propuneri de valorificare	137
6.1	Rezultatele finale ale studiului întreprins	137
6.2	Propuneri de valorificare	150
Cap.7	Bibliografie	

Releveele de fisuri și aspecte de la încercarea grinzelor sînt prezentate în Anexă

PREFATA

Cercetarea științifică reprezintă un domeniu imens în care sînt antrenate forțe de producție capabile să acumuleze, să discearță și, dacă se poate, să efectueze saltul calitativ care încununează succesul.

Lucrarea de față, ca și altele asemănătoare, își propune să analizeze pe baza încercărilor proprii cît și ale altor autori, comportarea la fisurare a elementelor de beton pre-comprimat cu armătură preîntinsă din bare groase PC90 și to-roane TBP 9 și TBP 12.

Si fiindcă materialul de studiu este betonul precomprimat, citez cîteva cuvinte scrise de E.Freyssinet, în prefața cărții lui E.Guyon "BÉTON ARMÉ" (1963)/49/, care exprimă, cu totul deosebit, crezul unui căutător în acest domeniu: " or, l'effort technique à de plus en plus scientifique, qui a crée et qui perfectionne sans cesse notre civilation, est imposé par elle à un nombre d'hommes de plus en plus grand. .. Sa puissance est due pour une part aux passions qu'ils développe chez ceux qui acceptent ses disciplins et aux joie qu'il leur dispense; passion de la recherche et de l'invention; joie de créer, joie de vivre sur un plan où la fraude ne prévaut pas contre la probité, pour une autre part aux punitions sans merci que subissent ceux qui cherchent à tricher; car, dans ce domaine l'effort sincère est seul payant. Le monde technique ignore ces bluffs de longue durées, ces fauces gloire, qui, dans d'autres domaines peuvent faire illusion pendant des génération.."

Precomprimarea face ca constructorul să fie mai exigent fie că o studiază, fie că o execută; această operațiune cere mai mult curaj, mai multă conștiință, mai multă dragoste pen-

tru profesiunea aleasă decât a vechilor tehnicieni. Ea ridică nivelul moral al activității specialistului.

O dată cu aceste frumoase cuvinte, care reprezintă crezul meu, mulțumesc conducătorului științific al lucrării Prof.em.ing. Constantin AVRAM, pentru nenumăratele porți deschise în calea cunoașterii temei propuse.

Mulțumesc colectivului Catedrei de beton armat și clădiri Timișoara, pentru ajutorul acordat în timpul celor două perioade de specializare: mai 1970 și mai 1975.

Mulțumesc Prof.dr.ing. Anatolie Mihul și întregului colectiv al Catedrei de beton armat și construcții hidrotehnice din Iași, din care fac parte, pentru prietenia și sfatul lor, pentru minunatele posibilități ce mi-au fost oferite.

Mulțumesc deosebit colegului dr.ing. Marcel Patraș pentru ajutorul dat la elaborarea acestei lucrări.

Mulțumesc tuturor celor care, intenționat sau nu, mi-au grăbit pașii spre terminarea acestui efort.

Cap. 1 Introducere

Dezvoltarea accentuată a societății socialiste dă timpului pe care-l trăim o notă distinctă; generația din care face parte a cunoscut puternic acest ritm. În ramura construcțiilor se proiectează și se execută lucrări de mare amploare, știința fiind astăzi un important factor în asigurarea dezvoltării tehnicii, în vederea obținerii unui anumit grad de siguranță a structurilor, în condiții economice avantajoase.

Timp de milenii, pînă în sec.XVIII, poate chiar mai tîrziu, studiul și elaborarea proiectelor de execuție pentru o structură se făceau fără calcule, doar pe baza experienței, a unor reguli empirice, sau prin aplicarea intuitivă a legilor mecanicii /1/.

Dezvoltarea forțelor de producție a impulsionat studiul mecanicii aplicate. Și iată că se ivește o contradicție între nivelul de cunoștințe matematice și mecanice și caracterul semiempiric de calcul și dimensionare al construcțiilor. Este epoca apariției unor noi materiale de construcție (oțel, beton armat, beton precomprimat).

Acestea sînt premisele raționalizării calculului construcțiilor, pe baza rezultatelor obținute de matematică și mecanică.

Metoda rezistențelor admisibile (1899) s-a aplicat betonului armat, considerîndu-l elastic, izotrop și omogen, cu toate că în realitate materialul este elastic-viscos-plastic, cu pronunțate proprietăți reologice, eterogen, anizotrop, elementele de beton armat funcționînd în exploatare cu zona întinsă fisurată.

În dec.4 al sec. XX se trece la proiectarea structurilor de beton armat pe baze metodei de calcul la rupere, ela-

borarea acestei metode fiind posibilă datorită dezvoltării teoriei plasticității și a teoriei betonului armat, în general, pe baza cunoașterii proprietăților fizico-mecanice ale materialului și a unui număr însemnat de lucrări experimentale.

Practica utilizării acestor două metode de calcul, acumularea unui volum important de date referitor la acțiuni, dar și la proprietățile fizico-mecanice ale materialelor și structurilor, folosirea statisticii matematice în studiul siguranței construcțiilor au permis elaborarea metodei de calcul la stări limită/2/,/5/,/6/.

Pentru a obține o siguranță corespunzătoare în exploatarea elementelor, ori structurilor, o deosebită importanță prezintă studiul fisurării betonului armat și precomprimat.

După cum este cunoscut, obișnuit sistemele de beton armat lucrează în serviciu cu zona întinsă fisurată, folosirea armăturilor cu limită de elasticitate ridicată, de calitate deosebită nu ar avea nici o rațiune, dacă fisurarea nu s-ar accepta ca stare; apare, prin urmare, problema limitării deschiderii fisurilor la valori acceptate a priori.

La betonul precomprimat integral nu sînt permise nici un fel de alungiri ale betonului, acest material în concepția lui E.Freyssinet fiind caracterizat prin starea limită de decomprimare, corespunzînd la o probabilitate practic nulă a fisurării (efort nul în fibra de beton cea mai întinsă).

Se pot obține însă avantaje tehnice și economice, în unele situații care nu reclamă etanșeitate perfectă, dacă se admit eforturi de întindere în secțiuni normale pe axa elementului, ori chiar fisuri de deschideri controlate cu rigurozitate.

Este domeniul betonului parțial precomprimat sau beton armat precomprimat sau beton structural.

Prima tentativă de precomprimare parțială se datorează

austriacului Emperger, care în 1939 a sugerat ideea unei soluții intermediare între betonul armat și betonul precomprinat, combinând în aceeași secțiune armăturile active de înaltă rezistență și armăturile pasive de oțel semidur.

Emperger considera fisurarea ca pe o proprietate interesantă a betonului armat, cu condiția ca deschiderea fisurilor să fie controlată și limitată. Fisurarea, și în consecință punerea sub întindere a betonului fiind admisă, scopul armăturii de precomprimare este doar să întârzie fisurarea și să permită aplicarea sarcinilor mai importante, înainte ca deschiderea fisurilor să atingă valoarea limită.

M. Abeles propunea între 1941-1942 să se tensioneze armăturile de înaltă calitate la un efort inferior aceluia care ar conduce la precomprimarea "totală"; același efect se obține și tensionând doar o parte din armătura de înaltă rezistență.

Primele aplicații ale acestor concepții datează din 1948 în departamentul de construcții al lui British Railways Eastern Region.

Al IV-lea Congres al F.I.P. ținut la Roma și Napoli (1962) marchează o etapă importantă în domeniul precomprimării parțiale (pentru prima dată se include în programul congresului chestiuni referitoare la precomprimarea parțială).

Crearea Comitetului Mixt CEB-FIP după acest Congres dovedește interesul pe care-l suscită problema.

Din această perioadă au început să apară numeroase studii teoretice și experimentale, cel mai adesea în corelare cu lucrările Comitetului Mixt/12/.

Apariția fisurilor nu este un prag semnificativ pentru siguranța elementelor de beton precomprinat; rigiditatea excesivă rezultată ca urmare a aplicării precomprimării totale, conduce în unele cazuri, la o reducere a gradului de avertizare a ruperii

sau la o reducere a capacității de disipare a energiei produse de șocuri.

Avantajele mari ale precomprimării parțiale conduc la folosirea acestui material în toate prescripțiile și recomandările de calcul din lume, precomprimarea totală fiind cerută numai de anumite tipuri de construcții, la care se impun condiții deosebite de etanșeitățe și rezistență.

Precomprimarea parțială impune:

- asigurarea unui nivel cât mai ridicat al calității elementelor constituente: compactitatea și omogenitatea betonului, pentru obținerea unei rezistențe corespunzătoare la întindere;
- grad de precizie ridicat al realizării efortului de precomprimare;
- tratamente termice corespunzătoare;
- rezistențe prescrise la transfer;
- depozitare, manipulare și montare corespunzătoare;
- respectarea încărcărilor maxime de serviciu, conform proiectului.

x

x x

Dacă ne referim la condițiile de exploatare ale unui element sau a unei structuri, studiul fisurării trebuie să asigure în general estetica structurii, etanșeitățe, protecția armăturii și betonului împotriva agenților corosivi, sau, în particular, integritățe elementului, siguranța ancorării și siguranța betonului comprimat.

Studiile experimentale și teoretice, care acceptă fenomenul de fisurare a elementelor în serviciu, analizează: modificarea rigidității statice și dinamice a sistemului, redistribuirea eforturilor de întindere în elemente, creșterea tensiunilor în materialele constituente după fisurare etc.

În Recomandările CEB-FIP /30/ și în Manualul de fisurare /31/ sînt propuse trei condiții numite stări limită de fisurare și anume:

1. starea limită de decomprimare - nu se admit eforturi de întindere în beton și probabilitatea de fisurare este practic eliminată;

2. starea limită de formare a fisurilor - se limitează eforturile de întindere în beton și armătură, probabilitatea de apariție a unei fisuri deschise este foarte slabă;

3. starea limită de deschidere a fisurilor - cu valori probabile limitate ale deschiderii fisurilor.

Standardul românesc de calcul /104/ admite următoarele stări limită ale fisurării pentru elementele de beton precomprimat:

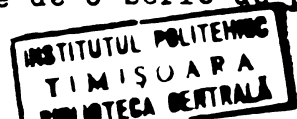
- închiderea fisurilor normale și înclinate;
- deschiderea fisurilor normale și înclinate;
- apariția fisurilor longitudinale paralele cu direcția compresiunilor maxime în beton, la transfer.

Așa cum se arată în /65/, calculul capacității de rezistență la moment încovoietor a elementelor de beton precomprimat poate fi făcută cu o precizie suficientă (1-2%).

În ce privește metoda de calcul la fisurare, care prezintă un caracter probabilistic influențat de un număr mare de parametri, cu dispersie considerabilă, se adoptă în general:

- fie formule teoretice simplificate bazate pe ipotezele din rezistență și pe caracteristicile nominale ale materialelor;
- fie formule empirice, ce rezultă din corelarea statistică dintre rezultatele experimentale și cîțiva parametri care se consideră că au o influență preponderentă.

Astfel, în Recomandările CEB-FIP se adoptă pentru deschiderea fisurilor o formulă teoretică funcție de o serie de para-



metri determinați statistic în încercări. Mai mult, formula finală este comparată cu rezultatele încercărilor și se deduce un coeficient de corecție.

Pentru a obține valoarea caracteristică, valorile deschiderilor de fisuri se consideră distribuite după o lege normală de distribuție Gauss.

În SFAS 10107/0 1976 se specifică, de exemplu, că deschiderea fisurilor pentru elementele de beton precomprimat se calculează ca la elementele de beton armat solicitate la compresiune excentrică, forța de precomprimare fiind considerată o acțiune exterioară.

În relațiile de calcul, secțiunea de beton întinsă se calculează ca pentru elementele de beton simplu, ținând cont de precomprimare; creșterea de tensiune din armătura pretensionată se consideră:

$$\Delta \bar{\sigma}_p = \bar{\sigma}_p - \bar{\sigma}_{p,0}$$

Cu această creștere de efort $\Delta \bar{\sigma}_p$ se efectuează calculul în secțiuni fisurate, ca la betonul armat.

Valorile coeficienților ce intervin (β_f, ψ) se iau în considerare astfel: la PC 90 ca la PC 60; pentru SBP și TBP ca armătură pre sau post întinsă, distanța dintre fisuri $\lambda_f = a$ (a este distanța dintre etrieri) iar $\psi = 1$.

În lucrarea de doctorat autorul își propune să aducă, pe baza unor încercări proprii precum și a unor date prezentate de literatură, o contribuție la studiul stării limită de fisurare și rezistență pentru elementele de beton precomprimat cu bare groase PC 90 și toroane TBP.

Sînt luate în considerare elemente experimentale, dar și grinzi prototip, executate și încercate pe standul de încercări a Catedrei de Beton armat și construcții hidrotehnice din Iași în perioada 1970-1975.

Cap.2. Starea limită de fisurare și de rezistență în secțiuni normale la elemente pre-comprimate cu armătură prefintinsă.

2.1. Considerațiuni generale privind fisurarea

Fisurarea betonului armat sau precomprimat apare oridecâte ori este depășită rezistența limită a betonului la întindere $\bar{\sigma}_{lt} = (20 \dots 50) 10^{-5}$, în secțiunea respectivă numai armăturile se opun propagării și dezvoltării acesteia.

Cauzele formării fisurilor pot fi acțiunile directe (aplicarea forțelor) sau deformații impuse - acțiuni indirecte - pre-comprimarea făcând parte din acestea din urmă, favorizează lucrul elementului, întârziind fisurarea.

Din analiza unor teorii de fisurare prezentate în literatură /24/ se pot desprinde o serie de elemente comune și anume:

- fisurarea este determinată prin transmiterea efortului de aderență;
- se acceptă o rezistență convențională a betonului la întindere, la care se presupune că începe procesul de fisurare;
- fisurarea depinde de gradul de precomprimare, de procente de armare și de dispersia armăturilor.

Elementele deosebitoare constau în:

- modul de distribuție al eforturilor în lungul armăturilor (determinat de suprafața laterală a barei);
- influența stratului de acoperire;
- influența armăturii transversale;
- considerarea efectelor unor fenomene secundare (contractie, curgere lentă etc.).

Pentru o analiză justă a mecanismului fisurării ca element calitativ este necesară o cunoaștere intimă a structurii materialului, betonul singur, datorită unor "limite naturale

de fragilitate", avînd posibilități reduse de deformații plastice și adaptabilitate.

Structura betonului, așa cum este cunoscut, este o rețea spațială construită din agregate legate cu piatra de ciment, incluzînd un număr important de pori, micropori, microfisuri și fisuri, în general discontinuități, în teoria corpului solid "defecte de structură" care sînt determinante în distribuția eforturilor pe sistem și care pregătesc și determină caracterul ruperii sistemului spațial /74/,/78/,/79/: autoaccelerată cu caracter casant-pentru elementele din beton simplu întinse, cu unele adaptări, pentru elementele armate, ajungînd la forma progresivă de cedare pentru elementele microarmate cu rețele de fibre distribuite în masa de beton (fig.2.1).

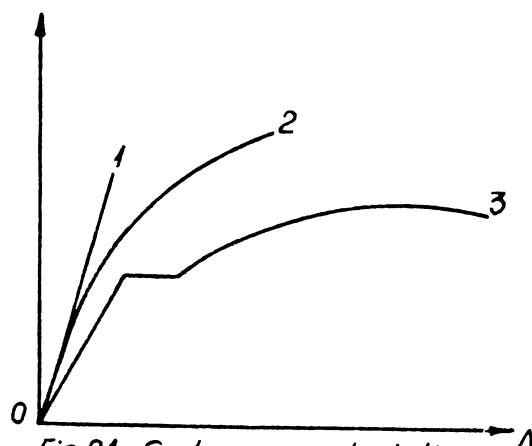


Fig.2.1 Curbe caracteristice (acțiuni-deformații) pentru diferite moduri de rupere: 1. casant; 2. cu adaptări progresive; 3. cu palier de curgere.

Funcție de gradul de protecție necesar față de efectele defavorabile ale fisurării, diferitele prescripții de calcul adoptă diferite clase de verificare la fisurare a elementelor de beton armat și precomprimat, acoperind întreg domeniul de la betonul simplu pînă la betonul integral precomprimat /2/

Alegerea clasei de verificare depinde de durata prevăzută pentru construcție, de condițiile de exploatare, de consi-

derații economice; deasemeni, de modul de aplicare al acțiunilor (static ori dinamic), de durata acestora, de gradul de agresivitate a mediului dar și de sensibilitatea la coroziune și condițiile de protecție ale armăturilor.

Funcție de exigențe față de posibilitatea de fisurare, fiecărei clase îi corespund stări limită: de decompresiune, de formare a fisurilor ori de deschidere a lor.

Incadrarea în clasa de fisurare se face funcție de gradul de asigurare considerat necesar față de efectele nefavorabile ale fisurării.

Se prezintă în continuare un tabel care conține prevederile principalelor recomandări ale unor prescripții naționale și internaționale de calcul /58/:

Tab.2.1

Prescripția	Verificări cerute
Clasa I	
1. Indrumător pentru proiectare CAER RS 119-74, ST 119-73	. Sub încărcările de calcul nu se permite apariția fisurilor
2. Recomandări internaționale CEB-FIP 1972	. Decompresiune sub încărcări de exploatare (în combinația cea mai defavorabilă) . În lipsa precomprimării transversale se iau precauții de calcul față de fisurare, datorită forței tăietoare.
3. STAS 10102/75, 10107/o 76	. Închiderea fisurilor normale și înclinate sub încărcări normale de exploatare . În lipsa precomprimării transversale se iau precauții de calcul față de



- fisurarea în secțiuni înclinate
-
4. CP 110-72 Utilizarea betonului în structuri în Anglia . Decompresiune sub încărcările de exploatare
-
5. Directive pentru dimensionarea betonului precomprimat în acord cu DIN 1045-72 R.F.G. . Decompresiune în secțiuni normale sub încărcări de exploatare
. Se admit tracțiuni reduse pentru tensiuni normale la execuție și pentru tensiuni principale; se admit deasemeni tracțiuni reduse pentru combinații de încărcări puțin probabile
-
6. Manual pentru fisurare Buletin CEB 89-73 . Decompresiune sub încărcări permanente și temperatură totală
-
- Clasa II
-
1. Indrumător pentru proiectare CAER RS 119-74, ST 119-73 . Deschiderea limitată în lățime, de scurtă durată a fisurilor sub încărcări de exploatare totale
. Inchiderea fisurilor sub încărcări permanente și temporare de lungă durată
-
2. Recomandări internaționale CEB-FIP 1972 . Apariția fisurilor sub combinația cea mai defavorabilă a încărcărilor de exploatare; limitarea creșterii de efort în armatură în secțiunea fisurată sub aceleași încărcări
. Decompresiune sub încărcări permanente și temporare care totalizează pe an o mare durată de aplicare
-
3. STAS 10102-75, 10107-76 . Fisurile normale și înclinate se închid sub solicitări date de încărcările de exploatare de lungă durată; se limitează deschiderea și dezvoltarea fisurilor înclinate

- . Se limitează deschiderea fisurilor normale la 0,1 mm sub solicitări produse de încărcări de exploatare; se permite ca această verificare să se efectueze numai după limitarea $\Delta \sigma_p$ la valoarea de 100 N/mm^2
-
4. CP 110-72 Utilizarea betonului în structuri Anglia . Sub încărcări de exploatare se admit tracțiuni limitate pentru a nu avea fisurare vizibilă
-
5. Directive pentru dimensiunea betonului precomprimat în acord cu DIN 1045-72 . Se admit tracțiuni pentru tensiunile în secțiuni normale și pentru tensiunile principale. În lipsa unui calcul în stadiul II (fisurat) volumul tracțiunilor se acoperă prin armătură în care se limitează creșterea de tensiune
- . Decompresiunea în secțiuni normale pentru elementele în atmosferă deschisă sau supuse coroziunii sub încărcări permanente și de lungă durată
-
6. Manual pentru fisurare Buletin CEB 89-73 . Apariția fisurilor sub încărcări permanente și temporare totale
- . Decompresiune sub încărcări permanente și temporare de lungă durată
-
7. Clasa III
-
1. Indrumător pentru proiectare CAER RS 119-74 ST 119-73 . Deschiderea limitată în lățime de scurtă durată a fisurilor sub încărcări de exploatare totale
- . Deschiderea limitată în lățime de lungă durată a fisurilor sub încărcări permanente și temporare de lungă durată
-
2. Recomandări internaționale CEB-FIP 1972 S-au inclus clasele III și IV . Deschiderea limitată în lățime a fisurilor sub combinația cea mai defavorabilă a încărcărilor de exploatare
- . Sub încărcări permanente și

	temporare de lungă durată - apariția fisurilor sau decompresiune pentru betonul precomprimat și limitarea deschiderii fisurilor la betonul armat
3. STAS 10102-75 și 10107/0-76 S-a inclus și betonul armat, clasa III fiind numai beton precompimat	. Deschiderea limitată în lățime a fisurilor sub încărcări de exploatare.
4. CP 110-72 Utilizarea betonului în structuri Anglia; s-a inclus și betonul armat, clasa III fiind numai beton precomprimat	. Deschiderea limitată în lățime a fisurilor, pentru betonul precomprimat verificarea se efectuează indirect prin limitarea tensiunilor de tracțiune ipotetice, calculate ca pentru o secțiune nefisurată (se permite sporirea tracțiunii în prezența unei armături nepretensionate
5. DIN 1045-72 R.F.G. Numai pentru beton armat	. Deschideri limitate în lățime a fisurilor sub încărcări de exploatare permanente și temporare de lungă durată
6. Manual de fisurare Buletin CEB 89-73 S-au inclus clasele III și IV	. Deschiderea limitată în lățime a fisurilor sub încărcări permanente și temporare totale . Sub încărcări permanente sau permanente și temporare de lungă durată apariția fisurilor, decompresiunea sau limitarea mai severă a deschiderii fisurilor decât sub încărcările de exploatare totale

In ceea ce privește deschiderea fisurilor normale, recomandările diferitelor țări prevăd următoarele deschideri limită:

Tab 2.2

Prescripția	Deschideri limită	Observații
1. Indrumător pentru proiectare CAER RS 119-74	<ul style="list-style-type: none"> . In cazul armăturilor cu $R_a \geq 1000 \text{ N/mm}^2$ 0,15 mm pentru interval scurt de timp și 0,10 mm pentru încărcări de lungă durată . In cazul armăturilor cu $R_a < 1000 \text{ N/mm}^2$ 0,20 mm sau 0,30 mm sub încărcări de lungă durată 0,30mm chiar 0,40 mm pentru un interval scurt de timp 	Se detaliază condițiile de limitare funcție de durata încărcării și tipul armăturii
2. Recomandările CEB-FIP 1972 ca și Manualul de fisurare Buletin CEB 89-73	<ul style="list-style-type: none"> . Elemente de beton precomprimat clasa III 0,20 mm în atmosferă normală(interior) 0,10 mm în atmosferă umedă(exterior)sau agresivitate naturală . Elemente de beton clasa IV 0,30 mm exterior 0,20 mm medii agresive 	<p>Nu se admite verificarea pentru clasa III în medii particulare agresive</p> <p>Pentru elementele de beton armat exploatate în interior deschiderea fisurii se limitează din condiții estetice</p>
3. STAS 10102/75 10107/0 -76	<ul style="list-style-type: none"> . Se limitează deschiderea fisurilor normale sub solicitările date de încărcările de exploatare la: 0,20 mm în medii fără agresivitate sau agresivitate foarte slabă 0,15 mm în medii cu agresivitate slabă 0,10 mm în medii cu agresivitate medie 	In cazul mediilor agresive valorile limită se reduc corespunzător

2.2. Apariția fisurilor normale

Apariția fisurilor normale nu este considerată o stare limită, pentru normativul românesc de calcul; totuși, acest fenomen, care reprezintă un moment important din viața elementelor de beton, va fi analizat în primul rând.

Structura eterogenă a materialului, existența porilor, a discontinuităților îi conferă o comportare anizotropă. Studii experimentale /8/, /42/ au arătat că microfisuri de încărcare apar când efortul maxim de întindere atinge valoarea efortului de întindere pură; capacitatea de alungire a betonului este atunci epuizată și microfisurile de la suprafața barei au valori de 0,0025-0,004 mm.

Aceste microfisuri pot fi provocate și de efectul contracției, a variațiilor de temperatură, dar și de golurile, porii ori zonele slăbite din vecinătatea agregatului.

Fisurarea provocată de ruperea betonului solicitat la întindere nu este un fenomen care se produce brusc ci se dezvoltă în timp prin formarea acestor microfisuri în piatra de ciment.

Așa cum se arată în /74/ apariția microfisurilor de întindere, în vecinătatea golurilor, modifică forma lor, alungindu-le, sporind astfel concentrările de tensiuni (în timp ce la compresiune, mărimea concentrărilor de tensiuni se reduce)

În acest mod se poate explica caracterul de rupere a betonului la întindere (treptat accelerat) comparativ cu cel la compresiune, precum și deformațiile plastice superioare ale betonului la compresiune.

Un rol important în mecanismul de fisurare îl au și agregatele, dar mai ales armăturile introduse în beton.

În fig.2.2 este arătat modul în care, acestea din urmă, prelună concentrările de tensiuni întârzie dezvoltarea

microfisurilor.

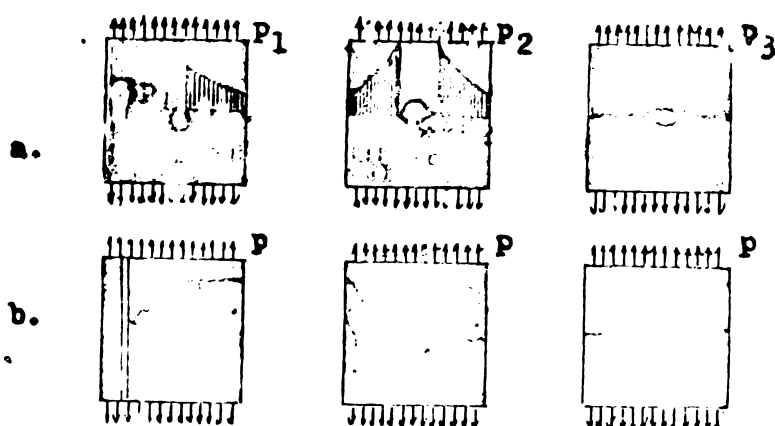


Fig.2.2. Modul de formare și de dezvoltare a microfisurilor
a. Dezvoltarea microfisurilor de întindere în vecinătatea unui gol,
b. Cazul când microfisura infiltează o bară de armătură sau granule de agregat.

Dacă armătura îndeplinește această funcțiune, cu condiția ca aderența să fie bine rezolvată, agregatul nu frânează dezvoltarea accelerată a fisurii decât dacă, legătura la interfața agregat-piatra de ciment este foarte puternică, iar structura pietrei de ciment din jurul granulei de agregat nu prezintă un caracter poros (ce apare adesea în procesul de întărire, când sub agregate se găsesc apă liberă și aer).

Aceste constatări au fost evidente la încercarea unor betoane de înaltă rezistență, cu agregat de andezit și gresie; la o astfel de încercare am obținut o rezistență dublă a betonului la întindere (agregatul a fost o gresie de înaltă rezistență).

Prin urmare, din momentul depășirii valorii limită a deformațiilor la întindere a betonului (ceea ce corespunde apariției microfisurilor), calitățile de aderență ale barelor și repartiția lor încep să joace un rol esențial în sistem.

Încercări pe grinzi precomprimate au demonstrat că rezistența la fisurare pentru armături dispuse rațional pe fața întin-

să este mai mare decât aceea care corespunde ipotezei elastice.

Acest lucru se explică în literatură fie pe baza "plasticizării" betonului din zona întinsă, admitând ca repartiția a eforturilor pe secțiune cea prezentată în fig.2.3, fie printr-o "pseudoplasticizare".

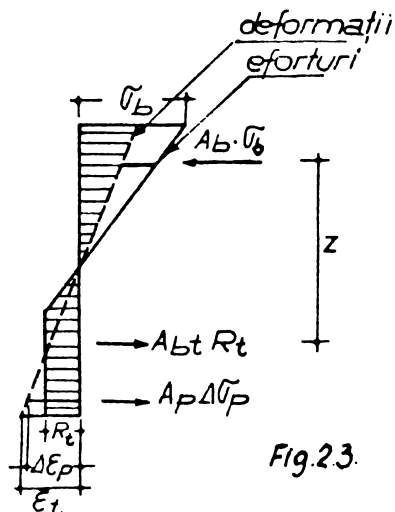


Fig.2.3.

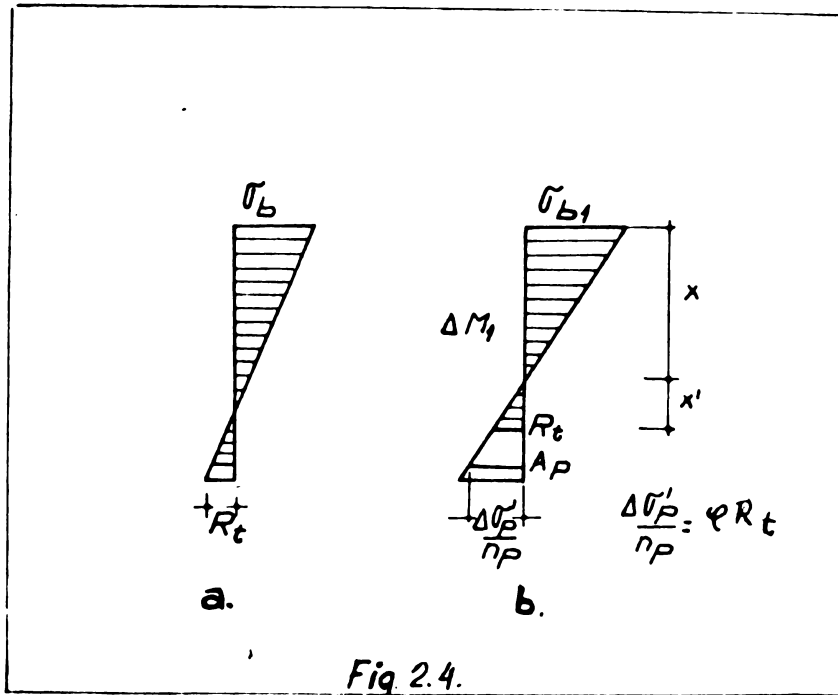
Brice /27/ se bazează pe un "nivel de vizibilitate", plasticizarea fiind doar aparentă, efect al microfisurării invizibile care se produce în preajma armăturilor.

Guyon în /52/ ajunge la concluzia că această creștere aparentă a rezistenței betonului la întindere s-ar datora unei discontinuități în funcția de conlucrare oțel-beton, fisura apărând ca urmare a unei alunecări brusce, din care moment legătura dintre cele două materiale încetează de a fi elastică, devenind o legătură prin frecare, ca urmare a ruperii locașului de beton care înconjoară bara. Această ipoteză conduce la o lege de distribuție a eforturilor între două microfisuri, corespunzătoare plasticizării (fig.2.4).

Să presupunem că o secțiune precomprimată inițial cu M_p este acționată de încărcări. Pentru o creștere a momentului ΔM_1 , se va atinge starea 2.4.b., corespunzătoare apariției de microfisuri în betonul zonei întinse. Acestea sînt repartizate întîmplător, funcție de împrăștierea valorilor alungirilor de rupere ale betonului la întindere, în zona de moment constant, la rădăcina fisurii, fiind atinsă rezistența limită la întindere.

Dacă se notează cu φ raportul dintre efortul în dreptul centrului de greutate al armăturilor pretensionate și efortul limită R_t , adică:

$$\frac{\frac{\Delta\sigma_p}{n_p}}{R_t} = \varphi \quad \text{atunci,}$$



INSTITUTUL POLITEHNIC
TIMIȘOARA
BIBLIOTECA CENTRALĂ

$$\Delta\sigma_p = \varphi n_p R_t \quad (2.2.1.)$$

Între două microfisuri (fig.2.5) eforturile se repartizează ca în fig.2.4.b,

iar între microfisuri diagrama de repartiție a eforturilor este plină, dar nu poate fi liniară, căci în acest caz, în fibra cea

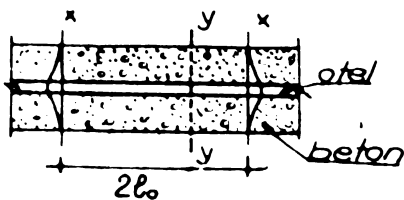


Fig 2.5.

mai întinsă ar fi atinsă o valoare a rezistenței la întindere $R_t^x > R_t$, ceea ce este imposibil.

De aceea, între microfisuri se acceptă o diagramă de repartiție ovasiuniformă, a cărei suprafață trebuie să fie echivalentă cu aceea liniară, cu ordonata maximă R_t^x (rezisten-

ța aparentă la întindere a betonului.

În secțiunea situată între microfisuri, armătura este supusă la un efort $n_p R_t$, oțelul avînd aceeași alungire cu a betonului.

În secțiunile x și y eforturile din armătură variază de la $\Delta\sigma'_p$ la $n_p R_t$. Pentru creșteri reduse ale momentului exterior diferența dintre aceste valori este redusă. După încercările lui Bichara și Brice /23/, învelișul de beton al barelor, străbătut de planuri de fisurare rămîne integru pînă la valori ale deplasărilor relative ale barelor de ordinul $w = 0,02 \text{ mm}$. Este faza conlucrării elastice /88/, a "legăturii elastice" (pentru deplasări de ordinul $2 \times 0,02 \text{ mm} = 0,04 \text{ mm}$).

Repartiția eforturilor este maximă în dreptul microfisurii și scade după o lege exponențială cu exponent negativ, cu distanța la microfisură /36/. Această deplasare este schematizată sub forma unor meniscuri

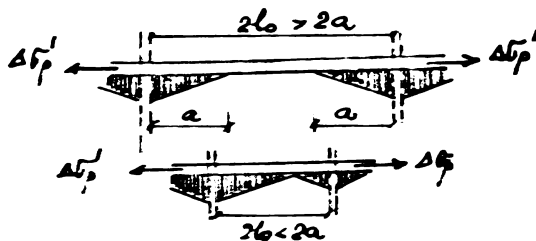


Fig. 2.6.

(fig.2.5) cu rol de resort (de lungime $2 l_0$), pe toată durata legăturii elastice.

Legea exponențială de repartiție a eforturilor se poate înlocui cu una lineară, de la zero la valoarea maximă, pe o lungime "a", caracteristică conlucrării (fig.2.6).

Dacă $2 l_0 > 2 a$, oțelul atinge $\Delta\sigma'_p$ pe intervalul dintre cele două microfisuri marginale. Dacă $2 l_0 < 2 a$, într-o microfisură $\Delta\sigma'_p$ este atins, în cealaltă nu.

De aceea mărcile tensometrice dispuse pe bare au indicat că există zone ce "absorb" toate alungirile, și unele zone învecinate care nu se alungesc, ci chiar pierd o parte din

alungirea suferită apriori.

La o anumită creștere de moment M (creștere critică) învelișul de beton cedează, fisura se deschide vizibil, lucrarea se face prin frecare, betonul alunecă în raport cu bara înapoi, spre centrul intervalului $2 l_c$.

După Guyon, alungirea totală disponibilă înainte de fisurarea este :

$$\frac{R_t}{E_b} (1 + \frac{\psi}{2}) \quad (2.2.2)$$

Făcînd anumite aproximații /52/ se poate calcula $\psi \approx 6 \sqrt{\frac{x}{d_{cm}}}$ și rezultă alungirea totală a betonului înainte de fisurare egală cu :

$$\varepsilon + \Delta \varepsilon' = \frac{R_t}{E_b} (1 + 3 \sqrt{\frac{x}{d_{cm}}}) \quad (2.2.3)$$

în care termenul R_t/E_b este alungirea elastică și $R_t/E_b \cdot 3 \sqrt{\frac{x}{d_{cm}}}$ este o alungire pseudoplastică. ($\chi \approx 1$ coeficient de aderență, funcție de natura suprafeței).

Fenomenele de microfisurare din preajma armăturilor sînt considerate elastice, dispărînd o dată cu sarcinile extraordinare care le-au produs.

Alungirea totală unitară înainte de ruperea prin întindere, ținînd cont de deformarea locașului de beton din preajma armăturilor este de 3-4 ori deformația elastică.

Pentru a defini starea limită de apariție a fisurilor trebuie să se ia un coeficient de siguranță față de aceste alungiri limită și să se definească o diagramă de eforturi.

Comitetul Mixt FIP-CEB notează prin c, raportul dintre alungirea de rupere de calcul (ținînd cont de coeficientul de siguranță) și alungirea elastică R_t/E_b și consideră acest raport $c = 2,5$; regulamentul sovietic de calcul ia $c = 2$.

Diagrama eforturilor pe secțiune este prezentată în fig. 2.7.

Prin acest coeficient c se ține cont implicit de contracție

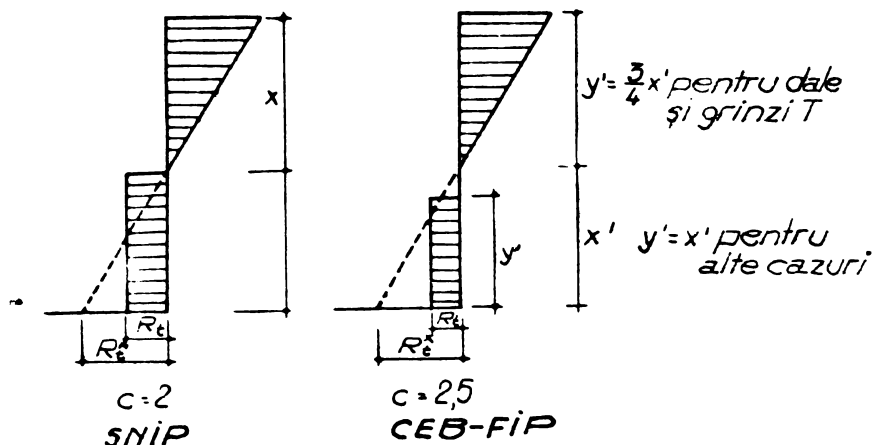


Fig. 2.7.

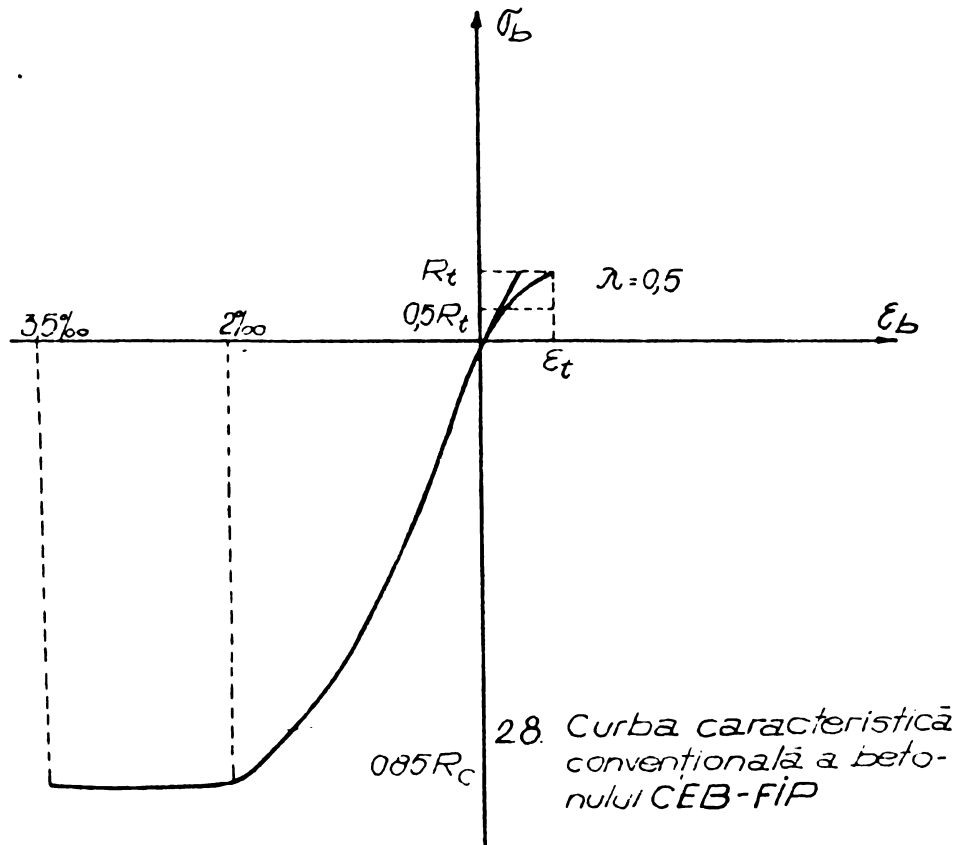
Ipoteze de calcul

Pentru stabilirea valorii momentului de fisurare, la limita stadiului I, se acceptă următoarele ipoteze:

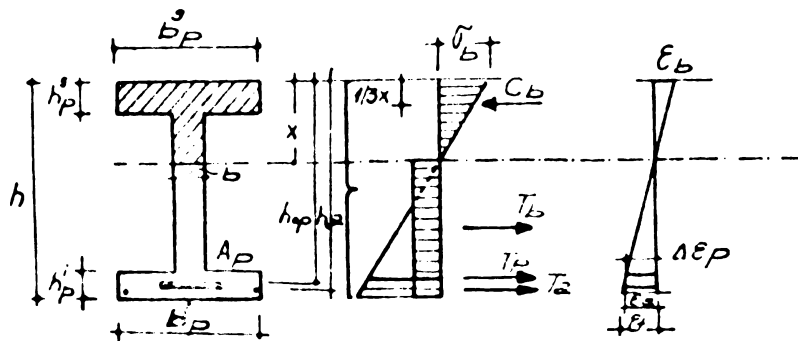
- secțiunile transversale plane rămân plane și după deformare;
- betonul este un material elasto-viscos-plastic, iar coeficientul de plasticizare $\lambda = \frac{\epsilon_p}{\epsilon_b} = 0,5$;
- se consideră curba caracteristică convențională a betonului, ca în fig. 2.8.;
- relațiile efort-deformații ale oțelurilor sînt lineare și definite de valoarea modulului de elasticitate (E_p);
- starea de eforturi se consideră cea corespunzătoare stadiului I limită: repartitia eforturilor în zona comprimată de beton este triunghiulară, betonul se comportă elastic, iar în zona întinsă se adoptă o diagramă de repartitie a eforturilor dreptunghiulară, cunoscută din ipoteza "plastifierii totale" (coeficientul $\lambda = 0,5$) (fig.2.9)

Relații de calcul

Momentul de apariție al fisurilor reprezintă pentru e-



mentele de beton armat, momentul epuizării rigidității la



29. Starea de tensiuni și deformații în stadiul I limită.

INSTITUTUL POLITEHNIC
TIMIȘOARA
BIBLIOTECA CENTRALĂ

fisurare a secțiunilor sub acțiunea încărcărilor.

La betonul precomprimat, introducerea unei stări inițiale de efort de semn contrar celei din exploatare, mărește

această valoare cu valoarea momentului dat de forța de pre-comprimare.

În ce privește calculul la apariția fisurilor, se adoptă, în general, pentru elementele de clasa I, concepția evitării fisurilor, respectiv o probabilitate redusă de apariție a lor. Prescripțiile de calcul din unele țări prevăd modalități de asigurare a probabilității reduse de apariție a fisurilor: astfel în proiectul de recomandări CAER RS 119-74 /102/ pct. 2.5.1. se prevede verificarea la apariția fisurilor sub încărcările de calcul.

În Recomandările CEB-FIP 1972 /31/ și în normativele CP 110-72 /34/ și DIN 1045-72 /18/ se prevede verificarea la decompresiune sub încărcări de exploatare. În noul normativ românesc STAS 10107-76 /104/ pentru elementele de beton pre-comprimat din clasa I este prevăzut un calcul la închiderea fisurilor normale, punând condiția ca tensiunile unitare să fie numai de compresiune/108/.

Dacă se consideră că fisurile provocate de diverse cauze cum ar fi : contracția betonului, variațiile de temperatură eforturile accidentale, caracterul aleatoriu al alungirii limită a betonului nu pot fi total evitate, rezultă că verificarea la închiderea fisurilor sub sarcini de exploatare nu este suficientă, nu prezintă garanția certă că, între limitele probabilității admise, fisurile se vor închide sub sarcinile de exploatare.

Încercările efectuate pe grinzi precomprimate - la care se referă lucrarea - cu armătură preîntinsă sub formă de bare groase PC 90 și toroane TBP, au arătat că închiderea fisurilor se produce complet pentru încărcări mai mici decât cele de exploatare. Nu trebuie neglijat faptul că, existența fisurilor chiar cu deschideri limitate, timp îndelungat, are consecințe

defavorabile asupra conservării armăturii tensionate și, de asemenea, că dezvoltarea fisurilor se accentuează în cazul încărcărilor de lungă durată sau repetate.

În cele ce urmează se va studia expresia momentului de fisurare, considerând că verificarea la apariția fisurilor reprezintă o condiție esențială pentru o bună exploatare, mai ales atunci când se impun condiții de impermeabilitate, sau când elementele lucrează în medii puternic corosive.

În conformitate cu /102/ și /104/, calculul la apariția fisurilor normale la elementele încovoiate se face cu relația:

$$M_{f1} = W_f R_t + \bar{M}_0^S \quad (2.2.4.)$$

unde: $\bar{M}_0^S = N_0 (e_0 + r_s)$ (2.2.5.)

iar W_f , modulul de rezistență la fisurare din încovoiere al secțiunii se calculează în mod curent cu relația :

$$W_f = \gamma W_0 \quad (2.2.6.)$$

Coeficientul γ depinde de forma secțiunii transversale a elementului și are valori cuprinse între 1,1 și 1,75.

Pentru a ține cont de distribuția trapezoidală a eforturilor din zona comprimată a betonului, în proiectul RS 119-74 se propune reducerea distanței r_s cu 20%. Astfel, relația 2.2.4. devine:

$$M_{f2} = W_f R_t + \bar{M}_{01}^S \quad (2.2.7.)$$

în care $\bar{M}_{01}^S = N_0 (e_0 + 0,8 r_s)$ (2.2.8.)

Modul de exprimare al aportului betonului întins prin termenul $W_f R_t$ din relațiile 2.2.4. și 2.2.7. nu este în concordanță cu fenomenul fizic, deoarece rezistența la întindere R_t este aceea care suportă influența diversilor parametri și nici-decum modulul de rezistență W_0 .

Rezultatele experimentale au demonstrat că rezistența la fisurare a elementelor precomprimate încovoiate este influențată de aderența betonului la armătură, de prezența armăturii

tensionate, de intensitatea precomprimării, de procentul armăturii tensionate etc.

Aceste experimentări au permis verificarea calitativă și cea cantitativă a fenomenelor "pseudoplastice" care preced fisurarea; apariția fisurilor în beton s-a produs pentru rezistențe la întindere a betonului superioare lui R_t .

Pe baza experimentărilor proprii /87/, considerînd 44 de grinzi precomprimate de beton greu și 24 de grinzi de beton precomprimat cu agregat de granolit, se propune pentru calculul momentului încovoietor de apariție a fisurilor normale, o relație de forma:

$$M_f^x = W_0 R_t^x + R_0^s \quad (2.2.9.)$$

în care R_0^s este dat de expresia 2.2.5., W_0 este modulul de rezistență elastic, iar R_t^x reprezintă rezistența "aparentă" la întindere a betonului.

Aceleași experimentări au permis să se stabilească pentru R_t^x expresia:

$$R_t^x = (K + 10 \mu_{ap}) R_t + 0,1 \sigma_{bp} \quad (2.2.10.)$$

în care se include influența principalilor factori asupra fisurării, și anume: calitatea armăturii tensionate (K), cantitatea de armătură longitudinală ($\mu_{ap} = \frac{A_a + A_p}{b h_0}$, Aafiind armătura pasivă) și intensitatea precomprimării (σ_{bp}).

Pentru K s-au determinat următoarele valori:

1,1 pentru toroane;

1,3 pentru bare groase PC 90;

0,8 pentru fascicule.

Pentru rezistența la întindere a betonului s-a considerat valoarea dată de STAS 10107/0-1976.

2.3. Deschiderea fisurilor în stadiul II

Pentru elementele din clasa a II-a și a III-a de fisurabilitate, în anumite condiții de solicitare (vezi pct.2.1) se acceptă existența fisurilor, a căror deschidere se calculează ca la elementele de beton armat, considerând forța de precòmprimare N_0 aplicată cu excentricitatea e_0 , ca o acțiune exterioară.

Admițînd că mărimea deschiderii fisurilor are o variabilitate normală, Gaussiană, se definește deschiderea caracteristică " α_{fk} ", ca valoare ce prezintă o anumită probabilitate de a nu putea fi depășită, funcție de deschiderea medie α_f , astfel :

$$\alpha_{fk} = 1,3 \alpha_f (1 + 1,64 c_v) \text{ unde: } (2.3.1.)$$

c_v este coeficient de variație

$t = 1,64$ factor de probabilitate ce exprimă distanța de la maxim la mediu în unități de abatere medie patrică; valoarea numerică de 1,64 corespunde unui nivel de încredere de 5% și unui număr infinit de variabile alentoare.

Admițînd, conform prevederilor din Recomandările CEB-FIP un coeficient de variație de 0,4, relația 2.3.1. devine:

$$\alpha_{fk} = 2,16 \alpha_f \quad (2.3.2.)$$

Considerarea acestei deschideri caracteristice este mai interesantă decît a celei medii (α_f ca în STAS 10107/0 76), deoarece este bine cunoscut că pentru elementele de beton pre-comprimat din clasa a II-a de fisurabilitate, în special, se impune un control mai sever al deschiderii fisurilor, datorită susceptibilității la coroziune a oțelurilor de diametre mici folosite.

2.3.1 Dinamica fisurării la betonul precomprimat

Rezistențele și deformațiile betonului la întindere prezintă caracteristici fizico-mecanice deosebite într-o serie de probleme fundamentale ale elementelor, de la betonul simplu la betonul precomprimat, cum sînt: apariția, formarea și dezvoltarea fisurilor, comportarea la eforturi principale etc.

Determinările experimentale prezintă însă, pentru solicitarea de întindere, o serie de dificultăți, și de aceea există, funcție de modul de încercare: rezistența la întindere axială R_t , rezistența la întindere prin despicare R_t^{desp} , rezistența la întindere din încovoiere R_{t1} , din torsiune R_{tt} .

Dacă la încercări, aprecierea rezistenței la compresiune a betonului R_c se face cu precizie satisfăcătoare, folosind drept corpuri de probă cuburi sau cilindri, la întindere rezultatele obținute în orice sistem au un grad de împrăștiere considerabil.

În cele ce urmează, rezistența betonului la compresiune s-a determinat pe cuburi cu latura de 20 cm (minimum 9 cuburi pentru fiecare grindă) și paralel s-a folosit procedeul nedistructiv al sclerometrării (500-2000 puncte de măsură), rezultatele finale dînd o bună concordanță.

Folosind aceste valori, s-a determinat prin calcul, pe baza diferitelor formule prezentate în literatură, rezistența la întindere a betonului (tab.3.11).

Rezistențele la compresiune sînt:

$$R_c^{FIP} = 0,83 R_{cub} \quad (2.3.3.)$$

$$R_c^{STAS} = (0,87 - 0,0002 R_{cub}) R_{cub} \quad (2.3.4.)$$

$$R_c^{CAER} = (0,8 - 0,0001 R_{cub}) R_{cub} \quad (2.3.5.)$$

Rezistențele la întindere s-au calculat după formulele

cunoscute:

$$R_t^{FIP} = 0,59 \sqrt[3]{R_{cub}^2} \quad (2.3.6.)$$

unde R'_{br} este rezistența cilindrică conform relației 2.3.7.

$$R'_{br} = 0,83 R_c \quad (2.3.7)$$

$$\text{deci } R'_t{}^{FIP} = 0,5225 \sqrt{R_{cub}^2} \quad (2.3.8)$$

$$R'_t{}^{STAS} = 0,57 \sqrt[3]{R_{cub}^2} \quad (2.3.9)$$

$$R'_t{}^{CAER} = (0,52 - 0,0001 R_{cub}) \sqrt[3]{R_{cub}^2} \quad (2.3.10)$$

Toate formulele prezentate mai sus, pentru rezistența la întindere a betonului, provin din formula mai veche a lui Féret :

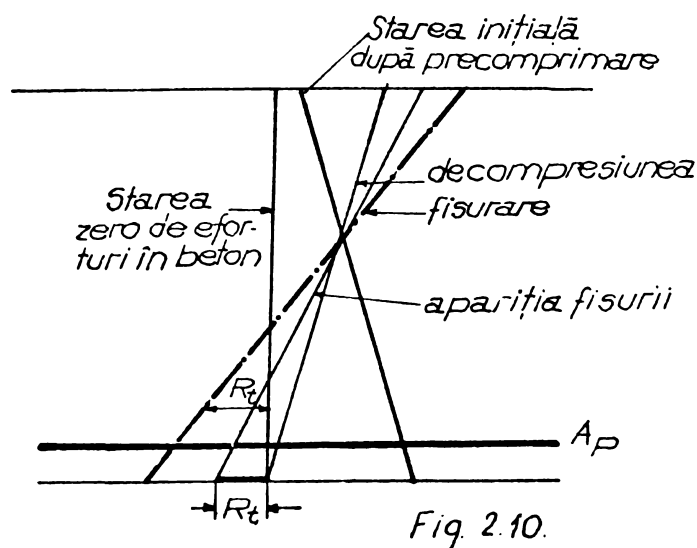
$$R_t = 0,5 \sqrt[3]{R_{cil}^2} \quad (2.3.11)$$

La elementele de beton precomprimat cu armătură preîntinsă prezența efortului de precomprimare devenit activ prin transfer modifică starea intimă de tensiuni și deformații din preajma armăturii tensionate; efortul de aderență care se manifestă în tot lungul corzii are o valoare mai importantă pentru barele cu profil periodic (PC 90), (PC 100), comparativ cu toroanele (TBP).

Pentru zona centrală a elementelor încovoiate, apariția unei fisuri este întâmplătoare, poziția ei fiind condiționată de ieșirea din lucru a secțiunii celei mai slăbite de beton (cu R_t minim și E_{bt} minim). Momentul acesta este plasat mai devreme sau mai târziu, funcție de gradul de precomprimare; când în zona întinsă s-a atins efortul zero, se mai dispune de o rezervă de rezistență condiționată de capacitatea de alungire a betonului întins (factorii principali de influență fiind: modul de dispersare al armăturilor în masa de beton, calitatea, diametrul și bineînțeles rezistența și deformabilitatea betonului la întindere).

Variația eforturilor pe secțiunea transversală a unui element de beton precomprimat de la starea inițială, după precomprimare pînă la apariția fisurilor este prezentată în fig.2.10.

Experimentările au demonstrat că pe un anumit interval



de la apariția primei fisuri, rezistența la întindere este elementul preponderent. Acest interval este condiționat de calitatea betonului și de volumul de beton cuprins în zonele de influență ale armăturilor și este depășit când rezistența la întindere a betonului, omogenizată prin ieșirea din lucru a secțiunilor slăbite, atinge ordinul de mărime a efortului unitar tangențial (τ_{ad}).

Înainte de fisurarea, adică în stadiul "elastic" (de exemplu la o grindă simplu rezemată încărcată cu două sarcini concentrate P) (fig.2.11), datorită funcționării mecanismului aderenței între beton și armătură deformațiile celor două materiale sînt, de bunăseamă, egale: $\epsilon_p = \epsilon_{bt}$, iar eforturile σ_b și σ_p sînt proporționale cu momentul încovoietor.

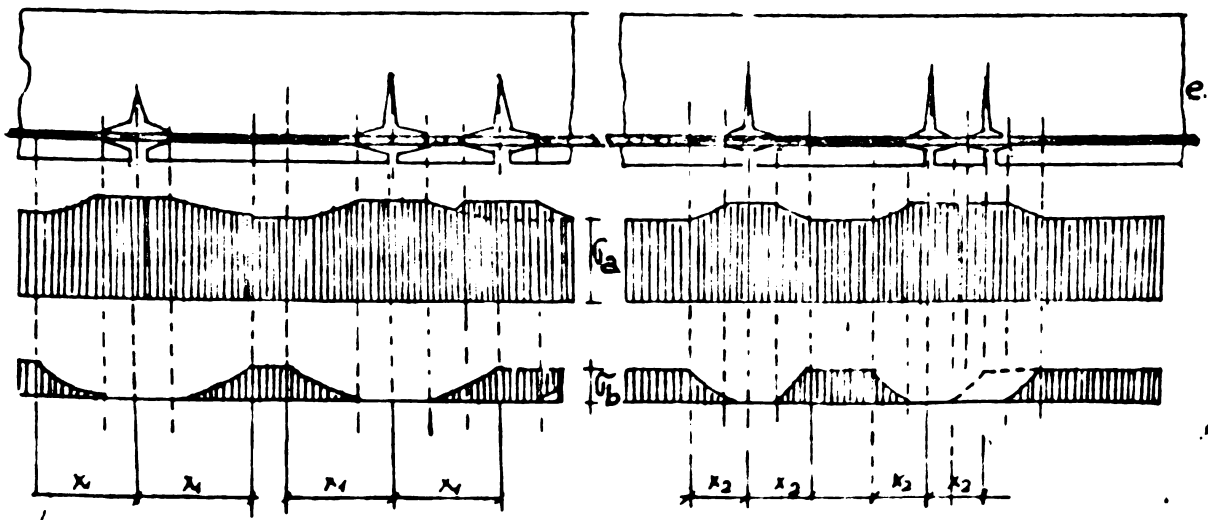
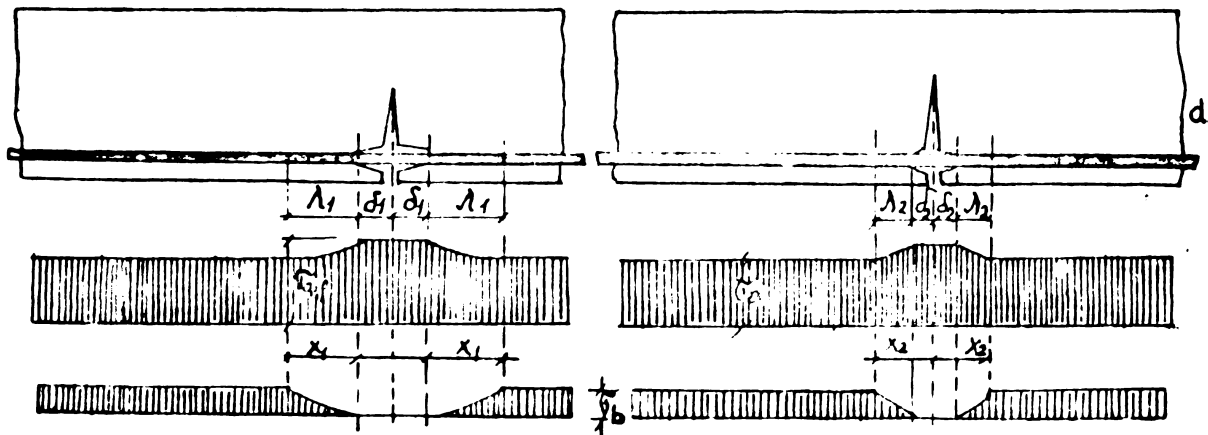
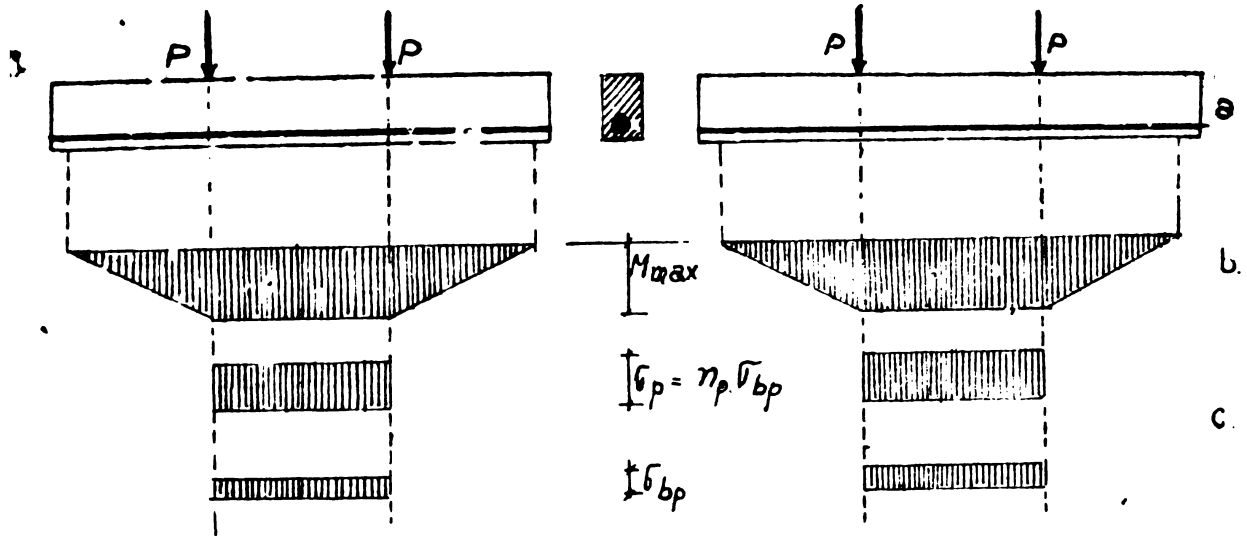
Deformațiile armăturii egale cu cele ale betonului se concentrează în dreptul fisurii, la apariția acesteia, deschiderea fisurii fiind practic egală cu deformația armăturii. Eforturile în armătură cresc ușor, devenind $\sigma_p > n_p \sigma_{bp}$.

Eliberarea instantanee de energie datorită ruperii beto-

Fig.2.11 Dinamica fisurării la betonul precomprimat

1. ARMATURI CU ADERENȚA REDUSĂ

2. ARMATURA CU ADERENȚA MARE



nului produce un șoc, care conduce la distrugerea legăturii beton-armătură pe o anumită zonă δ , de o parte și de alta a fisurii produse, zonă care scade cu creșterea aderenței ($\delta_1 > \delta_2$).

La o anumită distanță λ de zona cu aderență distrusă, oricare ar fi legea de transmitere a eforturilor între armătură și beton, regăsim situația inițială a betonului nefisurat. Lungimea λ scade deasemeni cu îmbunătățirea aderenței.

Prin urmare, fisurarea perturbază o zonă de lungime $X = \lambda + \delta$ de o parte și de alta a fisurii. Pe distanța de transmitere a eforturilor de la armătură la beton, eforturile de întindere în beton sînt mai mici decît R_t , și posibilitatea de apariție a unei noi fisuri este mai scăzută; fisuri noi se vor produce la o distanță mai mare decît X , distanță care variază invers proporțional cu calitățile de aderență ale barei. De fapt, există posibilitatea apariției unor fisuri noi între două existente numai dacă distanța care le separă este mai mare ca $2X$ (fig.2.11.e); $l_{\max} = 2X$ constituie distanța maximă dintre fisuri /73/, /73/, iar $l_{\min} = X$.

Rezultă teoretic : $l_{\text{med}} = 1,5 l_{\min}$ și $l_{\max}/l_{\text{med}} = 1,33$.

Aceste limite teoretice sînt aproximative, datorită neomogenității betonului. Experimental se constată că raportul $l_{\max}/l_{\min} = 2$. Această diferență dintre valoarea teoretică și experimentală a raportului l_{\max}/l_{\min} se explică astfel: rezistența betonului la întindere nu este constantă, ci variază aleator, se presupune că după o distribuție normală; fie R_{t1} și R_{t2} cele două limite extreme. În timpul încărcării cu sarcini primele fisuri se produc unde rezistența betonului la întindere este minimă (R_{t1}). Această rezistență R_{t1} determină o lungime de transmitere λ_1 și în consecință antrenează o distanță minimă posibilă între două fisuri X_1 . Pe măsură ce încărcarea crește, numărul de fisuri se multiplică, pînă cînd rezistența la

întindere a betonului R_{t2} este atinsă.

Această valoare $R_{t2} \gg R_{t1}$ determină o lungime de transmitere $\lambda_2 \gg \lambda_1$, și în consecință o distanță maximă dintre fisuri (pentru situația stabilizată $2X_2$).

In această fază :

$$l_{med} = \frac{l_{min} + l_{max}}{2} = \frac{X_1 + X_2}{2} \quad (2.3.12)$$

de unde

$$\frac{l_{max}}{l_{med}} = \frac{4 X_2}{X_1 + X_2} \quad (2.3.13)$$

Datorită mării dispersii pe care o prezintă rezistența la întindere a betonului se poate neglija X_1 și deci :

$$l_{max}/l_{min} \approx 2 \quad (2.3.14)$$

După opinia autorului, apariția primelor fisuri, avînd în vedere neomogenitatea betonului, are un caracter aleator, determinat de mărimea eforturilor de întindere din beton (deci de încărcare, de momentul încovoietor), și în egală măsură de neomogenitatea betonului în sensul variației aleatoarea rezistenței la întindere a betonului în tot lungul grinzii.

Pe măsură ce par primele fisuri, omogenitatea betonului dintre fisuri crește și deci distanța dintre ele poate fi evaluată prin calcul. Aprecierea acestei distanțe trebuie să reprezinte un calcul de probabilitate, folosind aparatura statistică (tab.1 și 2 din Anexă).

In secțiunea fisurată, prin ieșirea bruscă a betonului din lucru, în armătură se produce un salt de efort, salt care conduce la o deschidere mai mult sau mai puțin pronunțată a fisurii.

In cazul armării insuficiente a zonei întinse, apariția primei fisuri în beton, respectiv ieșirea din lucru a betonului întins face ca creșterea de efort din armătură să mă-



re imediat la apariție ; acest aspect apare important la betonul armat, iar este cu atât mai important cu cât se utilizează betoane de calitate mai bună (R_{tmax} , μ mic).

Intr-o zonă de moment constant după prima fisură vor apărea altele, aceasta depinzând de performanțele betonului la întindere și de capacitatea armăturii de a transfera efort prin aderență.

Fenomenul se stabilizează pentru un anumit număr de fisuri, astfel că forțele transmise de armătură betonului între două fisuri consecutive nu sînt suficiente pentru a atinge rezistența la întindere a betonului.

Ultimele fisuri apar la betonul precomprimat pentru solicitări cu 15-30% mai mici decît cele maxime de rupere.

Mai importantă decît apariția fisurilor este redeschiderea fisurilor normale. Experimental s-a demonstrat că, în ipoteza unei distribuții raționale a armăturilor în zona întinsă și pentru o încărcare apropiată de apariția fisurilor deschiderea fisurilor este mică, aderența dintre beton și armătură nu este afectată decît în preajma fisurii, iar momentul de redeschidere al fisurii este chiar momentul de decompresiune.

La solicitări mai mari, deschiderea fisurilor crește, aderența dintre beton și armătură se distruge pe o anumită lungime, au loc lunecări, iar momentul de redeschidere al fisurilor scade sub momentul de decompresiune.

Oricum, din acest punct de vedere elementele cu armătură preîntinsă sînt superioare celor cu armătura postîntinsă.

Distrugerii locale în dreptul fisurilor împiedică parțial închiderea lor, fapt care a determinat ca în STAS 10107/0-76 să se introducă verificarea la "închiderea fisurilor normale" impunînd existența unor eforturi unitare maxime de compresiune ($\max 1 \text{ N/mm}^2$), capabile să forțeze închiderea fisurilor.

Teoriile fisurării se referă uzual la situația stabilită, când principalele caracteristici : tensiuni și deformații unitare ale elementelor ce lucrează (beton și armătură) sînt valori medii (fig.2,12)

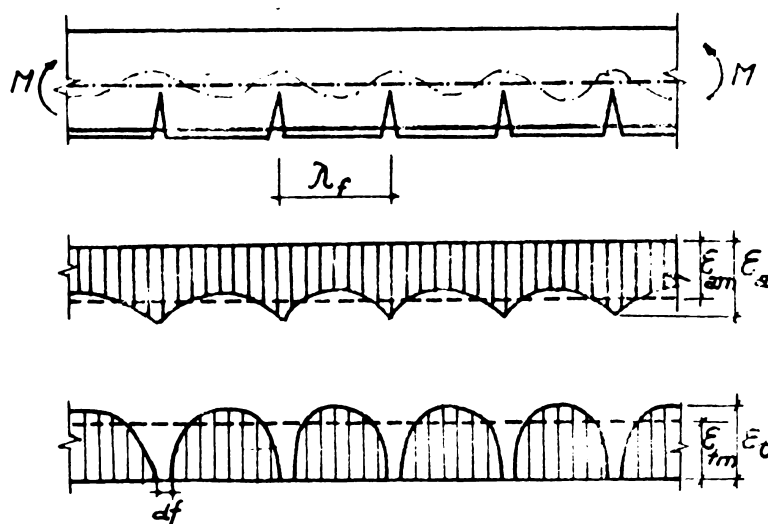


Fig. 2.12.

2.3.2 Ipoteze de calcul

1. Relația dintre efort și deformații pentru beton este prezentată în fig.2,9;
2. Armătura pretensionată se comportă în exploatare elastic (curba caracteristică este lineară) definită fiind de valoarea modulului de elasticitate;
3. Se consideră starea de eforturi din secțiunea fisurată, eforturile din beton din zona comprimată fiind distribuite linear, în zona întinsă betonul este scos din lucru, eforturile de întindere fiind în totalitate preluate de armătură;
4. Este valabilă ipoteza lui Bernoulli;
5. Pe distanța dintre fisuri, betonul conlucrează cu armătura, deci poziția axei neutre variază în lungul elementului,

fig.2.12.

2.3.3 Relații de calcul

Se considera că deschiderea medie a fisurilor α_f la suprafața unui element depinde de :

- distanța medie dintre fisuri λ_f ,
- alungirea specifică a armăturilor în fisură $\Delta \epsilon_p$,
- alungirea specifică medie a armăturii între fisuri ϵ_{pm} ,
- alungirea specifică medie a betonului între fisuri ϵ_{bm} .

$$\alpha_f = \lambda_f (\epsilon_{pm} - \epsilon_{bm}) \quad (2.3.15)$$

Iar prin neglijarea termenului ϵ_{bm} în comparație cu ϵ_{pm} se obține relația :

$$\alpha_f = \lambda_f \epsilon_{pm} \quad (2.3.16)$$

Această proporționalitate dintre deschiderea fisurilor, distanța dintre fisuri și deformația specifică medie a armăturii este comună tuturor teoriilor fisurării, teorii care se deosebesc prin modul de exprimare a celor doi parametri fundamentali.

Pentru calculul alungirii specifice medii a armăturii pe distanța dintre două fisuri se admit relații de forma:

$$\epsilon_{pm} = \frac{\psi \Delta \sigma_p}{E_p} \quad (2.3.17)$$

în care ψ este un coeficient subunitar care ține cont de participarea betonului întins dintre fisuri, sau relații de forma:

$$\epsilon_{pm} = \frac{\Delta \sigma_p}{E_p} \quad (2.3.18)$$

în care nu se ține cont de participarea betonului întins.

Pentru cazul simplu al întinderii centrice a unui tirant de beton armat (fig.2.13) fie A și A_a respectiv secțiunea de beton și armătură, iar σ_b și σ_a eforturile unitare normale datorită forței F .

$$F = A \sigma_b + A_a \sigma_a \quad (2.3.19)$$

Admițînd ipoteza secțiunilor plane, conclucrarea dintre

beton și armătură $\varepsilon_a = \varepsilon_b$ și valabilitatea legii lui Hooke:

$$F = A \sigma_b (1 + n\mu) \quad (2.3.20)$$

unde $n = E_a / E_b$ și $\mu = A_a / A$

Efortul unitar care se transmite prin armătură va fi:

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{F}{A_a} = \frac{A \varepsilon_b E_b + A_a \varepsilon_a E_a}{A_a} = \varepsilon_b E_b \left(1 + \frac{1}{\mu}\right) = \\ &= \sigma_b \left(1 + \frac{1}{\mu}\right) \end{aligned} \quad (2.3.21)$$

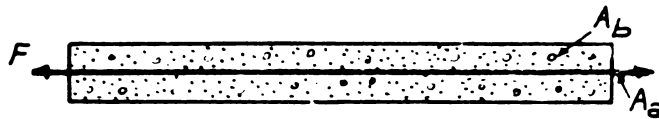


Fig. 2.13.

La o distanță x de fisură, în axa armăturii întinse, efortul uniform distribuit în beton îl vom nota cu σ_{bx}

$$\sigma_{bx} \frac{F_b}{A} = \frac{1}{A} \int_0^x \tau(x) u dx = \tau_b \frac{u x}{A} \quad (2.3.22)$$

unde τ_b este efortul mediu de aderență.

La suprafața elementului:

$$\sigma'_{bx} = f\left(\frac{c}{x}\right) \sigma_{bx} \quad (2.3.23)$$

unde c este acoperirea minimă de beton.

Acceptînd pentru funcția $f\left(\frac{c}{x}\right)$ o distribuție lineară:

$$f(c/x) = 1 - \xi_1 c/x \quad (2.3.24)$$

atunci:

$$\sigma'_{bx} = \left(1 - \xi_1 c/x\right) \frac{\tau_b u x}{A} \quad (2.3.25)$$

x va deveni distanța minimă dintre fisuri cînd $\sigma'_{bx} = R_t$

$$R_t = \left(1 - \xi_1 c/\lambda_f^{\min}\right) \frac{\tau_b u \lambda_f^{\min}}{A} \quad (2.3.26)$$

deci:

$$\lambda_f^{\min} = \xi_1 c + \frac{A R_t}{u \tau_b} \quad (2.3.27)$$

Valoarea medie λ_f va fi:

$$\lambda_f = \xi_1 c + k \frac{A R_t}{u \zeta_b} \quad (2.3.28)$$

adică : $\lambda_f = \xi_1 c + \xi_2 d/\mu \quad (2.3.29)$

unde $\xi_2 = k R_t / 4 \zeta_b \quad (2.3.30)$

Efortul în armătură la distanța x este :

$$\sigma_{ax} = F/A_a - 1/A \int_{a_0}^x \zeta_b(x) u dx \quad (2.3.31)$$

F/A_a reprezintă efortul unitar în fisură, iar $1/A \int_{a_0}^x \zeta_b(x) u dx$ reprezintă aportul betonului pe distanța dintre fisuri.

$$\sigma_{ax} = \sigma_a - \frac{\zeta_b u x}{A_a} \frac{A_a}{A} \quad (2.3.32)$$

$$\sigma_{ax} = \sigma_a - A/A_a \sigma_{bx} \quad (2.3.33)$$

Cînd $\sigma_{bx} = R_t$ relația 2.3.33 devine :

$$\sigma_{ax} = \sigma_a - A/A_a R_t \quad (2.3.34)$$

Efortul unitar mediu σ_{amed} se poate exprima funcție de σ_{ax} din relația 2.3.34 :

$$\sigma_{amed} = \sigma_a - \xi_3 R_t/\mu \quad (2.3.35)$$

Expresia $\xi_3 R_t/\mu$ reprezintă contribuția betonului întins pe distanța dintre fisuri.

Dar $\frac{4 \zeta_b \lambda_f}{\mu} = \xi_3 R_t/\mu \quad (2.3.36)$

Aceasta explică de ce termenul care exprimă contribuția betonului întins pe distanța dintre fisuri se exprimă independent de aderență.

$$\varepsilon_{amed} = \frac{1}{E_a} (\sigma_a - \xi_3 R_t/\mu) \quad (2.3.37)$$

Pentru elementele încovoiate din beton precomprimat efortul σ_a este $\Delta \sigma_p$ și deschiderea medie a fisurii se exprimă astfel :

$$\alpha_f = (\xi_1 c + \xi_2 d/\mu) 1/E_p (\Delta \sigma_p - \xi_3 R_t/\mu) \quad (2.3.38)$$

Distanța dintre fisuri

Pentru evaluarea distanței dintre fisuri se utilizează relații de calcul semiempirice, pe baza rezultatelor experi-

mentale.

- Recomandările internaționale CEB-FIP folosesc o relație lineară cu doi termeni :

$$\lambda_f = \xi_1 c + \xi_2 d/\mu \quad (2.3.39)$$

unde ξ_1 este un coeficient constant, egal cu 1,5;

c este acoperirea de beton a armăturii (cm);

ξ_2 coeficient deteminat experimental, care ține cont de caracteristicile de aderență dintre oțel și beton.

d diametrul armăturii (cm)

μ procentul de armare ($100A_p / A_{bt}$) iar

$$A_{bt} = 0,25 b_0 h \quad (2.3.40)$$

- Normele românești de calcul STAS 10107/0-76 prevăd pentru distanța medie dintre fisuri, următoarea relație :

$$\lambda_f = \beta_f A_{bt} / u \quad (2.3.41)$$

$$\text{unde } \beta_f = a + b \mu_p / d \quad (2.3.42)$$

Pentru elementele din clasa a II-a de fisurabilitate

a-a deteminat experimental valoarea coeficientului β_f :

$$\beta_f = 0,4 + 0,3 \mu_p / d \quad (2.3.43)$$

$$\text{cu } \mu_p = A_p / b h_0$$

d fiind diametrul barelor (cm)

A_{bt} secțiunea de beton întinsă (cm²)

u perimetrul armăturilor (cm)

Se prevede în normativul citat ca distanța dintre fisuri să fie considerată chiar distanța dintre etrieri a(cm)

Pentru elementele armate cu bare groase PC 90, lucrînd în clasa III-a de fisurabilitate:

$$\beta_f = 0,35 + 0,3 \mu_p / d \quad (\text{ca la PC 60}) \quad (2,3.44)$$

Determinarea poziției axei neutre

La elementele solicitate la încovoiere (fig.2.14) înălțimea zonei comprimate de beton se calculează cu expresia :

$$h - x = - \frac{S_d}{I_d + \frac{A(+)-A(-)}{2}} \quad (2.3.45)$$

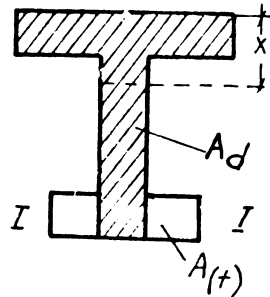


Fig. 2.14.

in care :

A_u este aria suprafeței convenționale decalcul alcătuită din zona comprimată a secțiunii idiale, completată în zona întinsă cu un dreptunghi de lățime b , egală cu lățimea secțiunii în axa neutră și de înăl-

țime $h - x$, egală cu înălțimea zonei întinse,

S_d este momentul static al suprafeței A_d față de marginea întinsă I-I,

$A(+)$ aria porțiunilor din zona întinsă a secțiunii care ies în afara dreptunghiului, $b(h-x)$,

$A(-)$ aria golurilor din zona întinsă.

STAS 10107/0-76 dă pentru înălțimea zonei comprimate în stadiul II următoarea expresie:

$$x = \xi h_0 \quad (2.3.46)$$

iar pentru ξ următoarele valori :

a) pentru secțiuni dreptunghiulare și în T cu placa în zona întinsă și axa neutră în inimă :

$$\xi = k n_p \left(\sqrt{1 + \frac{\rho}{n_p \mu}} - 1 \right) \quad (2.3.47)$$

b) pentru secțiuni T cu placa în zona comprimată, secțiuni dublu T sau casetate, cu axa neutră în placa comprimată, calculul se face ca pentru o secțiune dreptunghiulară de lățime b_p (relația 2.3.47)

c) pentru secțiuni T cu placa în zona comprimată, secți-

uni I sau casetate , avînd axa neutră în inimă :

$$\xi = -\beta - \sqrt{\beta^2 + 2n_p \mu_p + \bar{A} \bar{h}_p} \quad (2.3.48)$$

în care : $\mu_p = A_p / bh_o$

$$\bar{A} = \frac{b_p - b}{b} \frac{h_p}{h_o} \quad (2.3.49)$$

$$\bar{h}_p = h_p / h_o \quad (2.3.50)$$

$$\beta = \bar{A} + \mu_p n_p \quad (2.3.51)$$

Pentru distanța z între rezultanta eforturilor de compresiune din beton și rezultanta eforturilor din armătura pre-tensionată se folosește expresia :

$$z = \xi h_o \quad (2.3.52)$$

unde ξ se determină după cum urmează :

a) pentru secțiuni dreptunghiulare și secțiuni T cu placa în zona întinsă și axa neutră în inimă :

$$\xi = 1 - \frac{\xi}{3} \quad (2.3.53)$$

b) pentru secțiuni în T cu placa comprimată și axa neutră trecînd prin placă ξ se calculează cu relația 2.3.53.

c) pentru secțiuni T cu placa în zona comprimată, secțiuni I sau casetate avînd axa neutră în inimă :

$$\xi = 1 - \frac{\xi}{3} + \frac{2}{3} \frac{\bar{h}_p}{\frac{\bar{b}_p}{\bar{b}_p - 1} \left(\frac{\xi}{\xi - \bar{h}_p} \right)^2 - 1} \quad (2.3.54)$$

în care \bar{b}_p este l_p / b (2.3.55)

Pentru cazul secțiunii I precomprimate și sus și jos se determină în /7/ și /116/ poziția axei neutre.

În fig.2.15 se prezintă starea de eforturi și deformații pe secțiunea transversală a unei secțiuni T precomprimate numai în zona întinsă, în dreptul unei secțiuni fisurate.

$$h-x = \frac{2h h_p^2 b_a^2 + h^2 b + 2n_p A_p a_p + 2n_p A_p' (h-d') - h_p^2 \cdot b_a^2}{2 h_p^2 b_a^2 + 2bh_o + b_a^2 h_p^2 + 2n_p A_p + 2n_p A_p' + \frac{N_a}{R_t}} \quad (2.3.56)$$

unde $b_a^s = b_p^s - b$ (2.3.57)

$b_a^i = b_p^i - b$ (2.3.58)

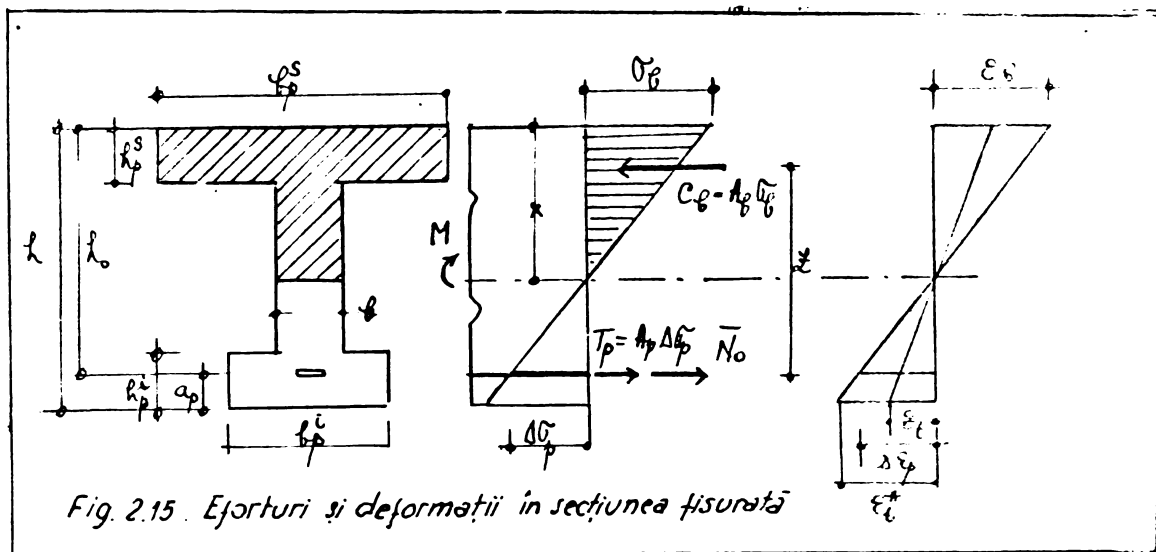


Fig. 2.15. Eforturi și deformații în secțiunea fisurată

Determinarea efortului $\Delta\sigma_p$

Saltul de efort denumit $\Delta\sigma_p$, care provoacă deschiderea fisurii s-a determinat cu relația:

$$\Delta\sigma_p = \frac{M_p}{h_0 A_p \eta} \quad (2.3.59)$$

în care $M_p = M - \eta h_0 N_0$ (2.3.60)

M fiind momentul încovoietor pentru care se face calculul lui $\Delta\sigma_p$.

Deschiderea fisurilor /lo8/ depinde de tensiunea în armătura întinsă, de diametrul barelor, de procentul de armare și de grosimea stratului de acoperire. Calculul acestei marimi se efectuează astfel :

1. După prevederile Recomandărilor internaționale CEB-FIP /31/, /32/, deschiderea maximă a fisurilor se calculează cu expresia (2.3.38) :

$$\alpha_{fmax} = 2,16 \left(\xi_1 c + \xi_2 d/\mu \right) \frac{1}{E} \left(\Delta\sigma_p - \xi_3 R_t/\mu \right)$$

în care, ξ_1 , ξ_2 , și ξ_3 sînt coeficienții care depind de raportul dintre rezistența la întindere a betonului, efortul de aderență a armăturilor și modul de aplicare a încărcărilor.

Relația 2.3.2 dă valoarea medie $\alpha_f = \frac{\alpha_{fmax}}{2,16}$ cu toate că treapta de încărcare la care se sesizează deschiderea medie diferă de aceea la care deschiderea fisurilor este maximă.

Avînd în vedere toate acestea, în lucrarea de doctorat s-a calculat distanța medie dintre fisuri pentru elementele armate cu bare groase cu relația :

$$\alpha_f = 0,476 (1,5 c + 16 d/\mu) (\Delta\sigma_p - 3000/\mu) 10^{-6} \text{ (cm)} \quad (2.3.61)$$

în care $\mu = 100 A_p/A_{bt}$, iar $A_{bt} = 0,25 b_0 h$

Pentru elementele de beton precomprimat armate cu toroane TBP, deschiderea medie a fisurilor s-a calculat, funcție de caracteristicile oțelurilor românești, cu o relație similară :

$$\alpha_f = 0,555(1,5 c + 16 d/\mu) (\Delta\sigma_p - 2570/\mu) 10^{-6} \text{ (cm)}$$

(transformîndu-se corespunzător factorul $\xi_3 E_p = 30 \cdot 100 \cdot 1,8/2,1 = 2570$)

2. După prevederile normelor CAER RS 119-74/102/

$$\alpha_f = K C_g \eta \frac{\Delta\sigma_p}{E_p} 20 (3,5 - 100\mu) \sqrt[3]{d} \quad (2.3.63)$$

unde :

K este un coeficient care depinde de natura solicitării, (K = 1 pentru încovoiere),

C_g = coeficient care ține cont de durata acțiunii ($C_g = 1$ pentru sarcini de scurtă durată, $C_g = 1,5$ pentru sarcini repetate sau de lungă durată),

η = coeficient care ține cont de tipul armăturii longitudinale întinse, fiind 1 pentru barele cu profil periodic, 1,2 pentru toroane, cabluri, sîrme amprențate).

$$\Delta\sigma_p = \frac{M - N_0(z_1 - e_x)}{A_p z_1} \quad (2.3.64)$$

e_x este distanța de la centrul de greutate al armăturii întinse la punctul de aplicație a forței de precomprimare inițiale,

z_1 este distanța de la centrul de greutate al armăturii

întinse la punctul de aplicație a rezultantei eforturilor de compresiune din beton

$$z_1 = h_0 \left[1 - \frac{\frac{h_p^3}{h_0^3} \gamma' + \xi^2}{2(\gamma' + \xi)} \right] \quad (2.3.65)$$

$$\gamma' = \frac{(h_p^3 - b) h_p^3 + \eta \lambda^3 + \eta / \beta \cdot A_p'}{b h_0} \quad (2.3.66)$$

unde A_a' este aria armăturii comprimate

$\eta = 0,45$ pentru încărcările de scurtă durată

$$\xi = \frac{1}{1,8 + \frac{1}{1(L + T)}} \leq 1 \quad (2.3.67)$$

$$T = \gamma' \left(1 - \frac{\log n \mu}{2h_0} \right) \quad (2.3.68)$$

iar
$$L = \frac{M}{b h_0^2 R_b^N} \quad (2.3.69)$$

Rezistența R_b^N este rezistența normată la încovoiere a betonului.

Formula 2.3.64 ține cont de toți parametri care condiționează dezvoltarea fisurilor dintr-un element, dar este destul de greoaie pentru proiectare.

3. După STAS 10107/0-76, deschiderea medie a fisurilor normale se calculează, așa cum s-a arătat la 2.3.3. din lucrare, cu o relație de forma :

$$\alpha_f = \psi \lambda \frac{\Delta \sigma_p}{E_p} \quad (2.3.17)$$

în care ψ este coeficientul de concurență a armăturii pretensionate cu betonul,

λ_f este distanța medie dintre fisuri,

$\Delta \sigma_p$ valoarea efortului unitar din armătura pretensionată care produce deschiderea fisurilor în stadiul II,

E_p modulul de elasticitate al armăturii pretensionate.

În lucrarea de față această formulă simplă recomandată de standardul românesc a fost analizată sub mai multe aspecte.

3.a. Luarea în considerație a betonului întins

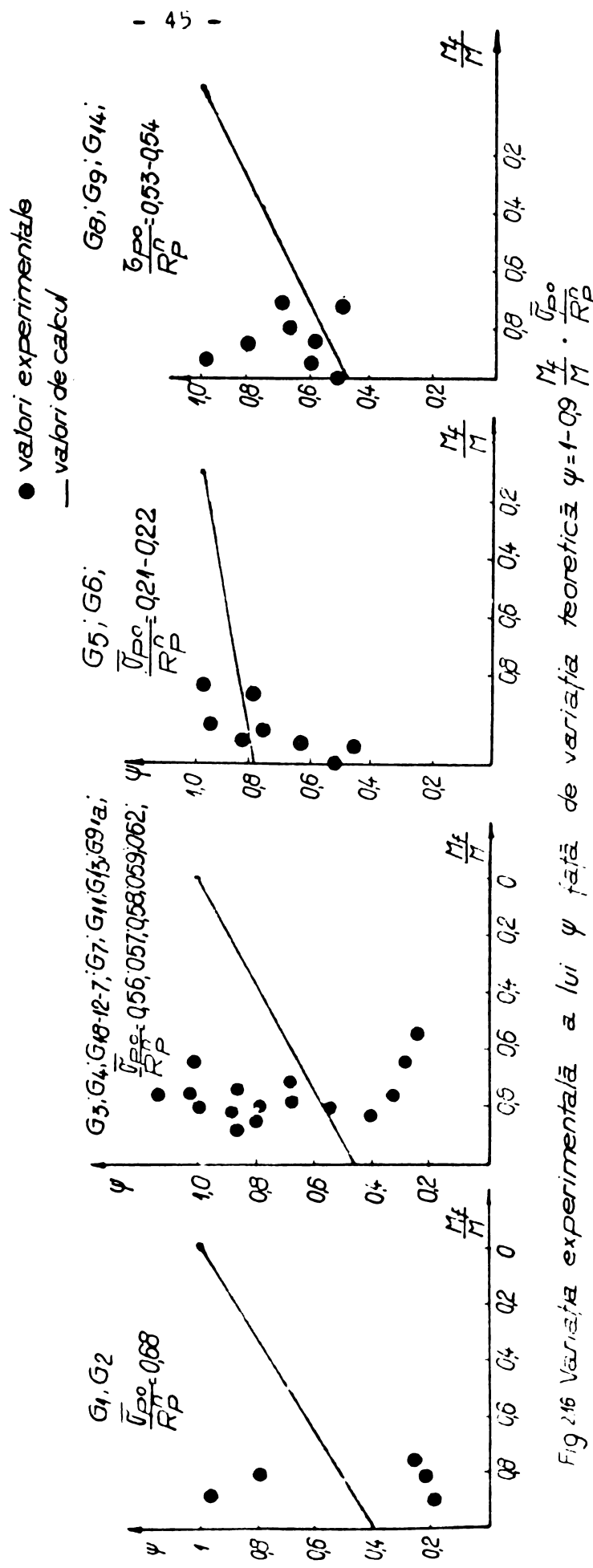


Fig. 2.16 Variația experimentală a lui ψ față de variația teoretică $\psi = 1 - 0,9 \cdot \frac{\bar{\sigma}_{PP0}}{R_P} \cdot \frac{M_f}{M}$

Cercetări teoretice și experimentale /39/, /53/, /116/ au arătat că lucrul betonului de deasupra fisurilor trebuie să fie luat în considerare, prin coeficientul de conlucrare ψ stabilit pe baza teoriei de calcul a eforturilor și deformațiilor. Stabilirea cât mai corectă a acestui coeficient /7/ este importantă atât pentru evaluarea deschiderii fisurilor cât și a rigidității elementelor încovoiate de beton precomprimat.

S-a propus, în urma prelucrării datelor experimentale /116/ o dependență lineară a lui ψ funcție de treapta de încărcare și gradul de precomprimare, o relație de forma :

$$\psi = 1 - r \frac{\sigma_{po}}{R_p^n} \quad (2.3.70)$$

unde r este un coeficient care ține cont de treapta de încărcare de la nivelul căreia se determină mărimea deschiderii fisurilor și se calculează cu formula :

$$r = 0,9 \frac{M_f}{M} \quad (2.3.71)$$

unde M reprezintă valoarea solicitării la care se determină deschiderea fisurilor, iar

M_f valoarea momentului de fisurare a elementului precomprimat.

În fig.2.16 se prezintă variația experimentală a lui ψ față de variația teoretică (2.3.71), așa cum a rezultat din încercările la care se referă această lucrare.

3.b. Considerînd $\psi = 1$

Conform prevederilor din STAS 10107/0-76 deschiderea fisurilor pentru elementele de beton precomprimat se calculează la elementele armate cu toroane TBP, considerînd coeficientul de conlucrare $\psi = 1$.

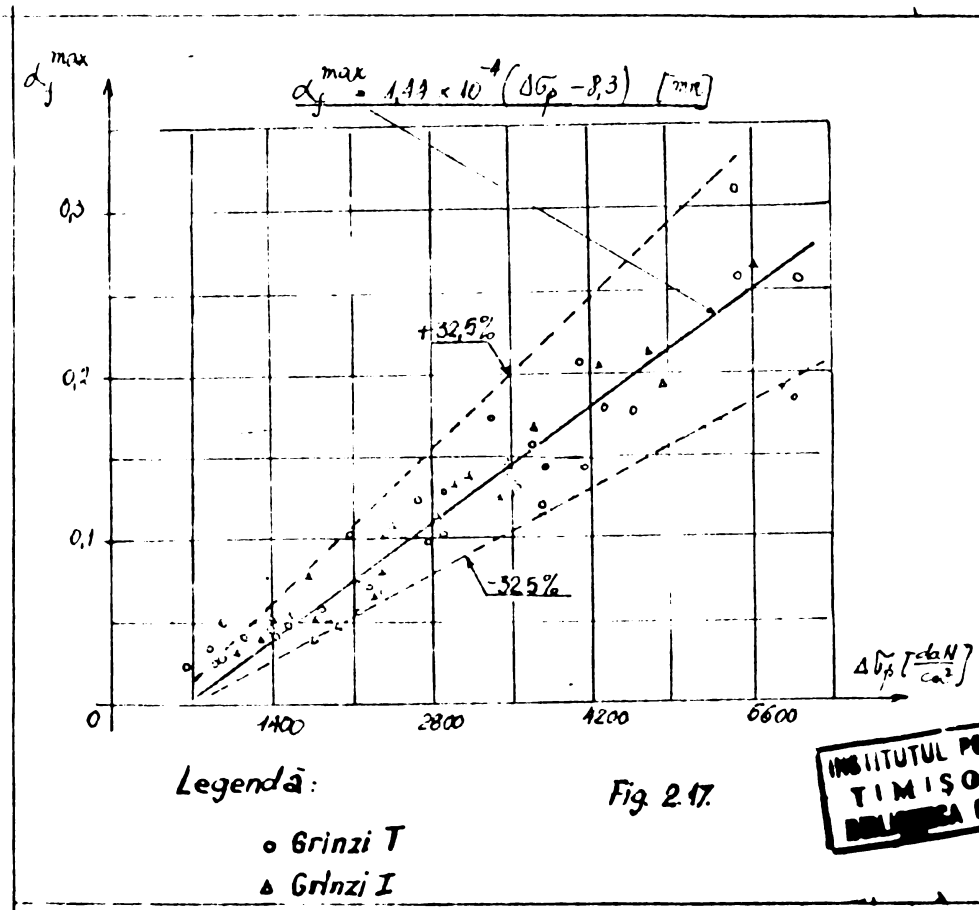
Aceasta presupune că se acceptă cea mai defavorabilă situație, cînd întregul efort $\Delta \sigma_p$ deschide fisura, ceea ce conduce la calcularea unei deschideri MAXIME de fisuri. Rezultatele experimentale proprii au confirmat această interpretare.

4. S-au mai folosit în calculul deschiderii medii sau maxime a fisurilor formulele prezentate în lucrarea /67/ și anume :

$$\alpha_f = 0,7 (\Delta \sigma_p - 8,3) 10^{-4} \text{ (mm)} \quad (2.3.72)$$

$$\alpha_f^{\max} = 1,44 (\Delta \sigma_p - 8,3) 10^{-4} \text{ (mm)} \quad (2.3.73)$$

Rezultatele obținute în cadrul unui vast program experimental sînt prezentate în fig. 2.17



Formulele 2.3.72 și 2.3.73 sînt ușor de aplicat și dau o bună concordanță cu rezultatele obținute de autorul acestei lucrări.

5. Pentru grinziile de beton precomprimat armate cu bare groase PC 90, toate formulele de calcul aplicate dau rezultate mult mai mici față de deschiderea experimentală.

Aceasta se explică prin luarea în considerație, de către toate formulele citate, a unei stări stabilizate de fisurare,

iar la aceste elemente "stabilizarea fisurilor survine tîrziu, distanța medie dintre fisuri fiind de 2-3 ori mai mică decît distanța corespunzătoare treptelor intermediare de încărcare.

Prelucrînd datele de care s-a dispus se propune o formulă pentru calculul deschiderii maxime a fisurilor la elementele armate cu bare cu profil periodic PC 90 de forma :

$$\alpha_f^{\max} = 2,16 \left(\frac{\Delta \sigma}{p} - 8,3 \right) 10^{-4} \text{ (mm)} \quad (2.3.74)$$

Formula a fost verificată pe 12 elemente de suprafață din beton precomprimat armate cu bare groase PC 90, încercate la Catedra de Beton armat și Construcții, Hidrotehnice din Iași, dînd valori acoperitoare.

2.4 Starea limită de rezistență

2.4.1. Gradul de siguranță necesar pentru evitarea unei anumite stări limită este funcție de gradul de avertizare a realizării fenomenului considerat, respectiv de măsura în care anumite modificări în structură semnalizează, mai mult sau mai puțin atingerea unei stări limită.

Starea limită de rezistență, la un element precomprimat cu armătură preîntinsă /67/ este semnalată prin:

- deformații excesive,
- deschideri mari ale fisurilor normale,
- apariția fisurilor înclinate.

În legătură cu acestea se pot remarca următoarele :

2.4.1.a. Deformații mari se ating prin deschiderea exagerată a fisurilor normale; ambele simptome apar ca urmare a depășirii nivelului de încredere prevăzut ori a nerealizării caracteristicilor prescrise pentru element (în special valoarea forței de precomprimare).

O dezvoltare nepermisă a deformațiilor sub încărcări de scurtă, ori lungă durată, denotă apariția și dezvoltarea unor fenomene ireversibile : plasticizarea betonului din zona comprimată, distrugerea pe zone întinse a aderenței dintre beton și armătura pretensionată, eventual smulgerea armăturii din zona de ancorare.

Din acest punct de vedere deformația unei grinzi constituie semnalul de avertizare al pericolului epuizării capacității de rezistență (de aceea unii autori recomandă săgeata de 1/50 ca reprezentând săgeata la epuizarea capacității de rezistență a elementului).

2.4.1.b. În general, apariția fisurilor normale nu constituie o avertizare a ruperii (această afirmație își păstrează valabilitatea și la elementele de clasa a II-a și a III-a care

funcționează cu fisuri sub încărcările de serviciu).

Obişnuit, apariția fisurilor sub o solicitare mai mică decît aceea calculată se datorează unei precomprimări mai reduse decît cea prescrisă (pretensionare redusă, pierderi de tensiune mai mari decît cele luate în calcul), fie unei rezistențe inferioare a betonului la întindere.

De exemplu, o reducere cu $1/3$ a gradului de precomprimare nu afectează însă atît capacitatea portantă a elementului încît apariția fisurilor normale să poată constitui o avertizare a apropierei ruperii.

Cînd armarea longitudinală este foarte redusă, iar rezistența la întindere a betonului este mare, apariția fisurilor normale poate constitui nu numai o avertizare a pericolului ruperii ci și cauza unei ruperi iminente.

Pentru evitarea acestei situații care pune probleme similare cu cele de la betonul armat, prescripțiile prevăd un procent minim de armare longitudinală (prescripțiile mai vechi prevedeau 0,8 raportul între momentul de apariție a fisurilor normale și momentul de rupere)

La stabilirea acestor limitări, trebuie luată în considerare valoarea maximă probabilă a rezistenței betonului la întindere, mai mare decît rezistența medie normată.

2.4.1.c. Deschiderea exagerată a fisurilor normale, însoțită în general de dezvoltarea fisurilor pe înălțimea grinzii, cu reducerea zonei comprimate de beton poate constitui un semnal de avertizare a ruperii.

Nu există pentru aceasta criterii cantitative care să aprecieze apropierea de rupere.

2.4.1.d. La grinzile de beton precomprimat cu armătură preîntinsă din toroane, cu distanța relativ mică între reazeme și capătul grinzii, apariția fisurilor înclinate reprezintă un

semnal de avertizare pentru apropierea ruperii (această afirmație este adevărată când grosimea inimii și rezistența betonului la întindere sînt mari, ceea ce face ca intensitatea încărcării la care se produce apariția fisurilor să fie apropiată de încărcarea ce duce la rupere.

2.4.2. Ipoteze și relații de calcul

În cele ce urmează se vor analiza elementele de beton precomprimat cu armătură prefîntinsă sub formă de toroane TBP și bare groase PC 90 solicitate static la încărcări de scurtă durată.

Secțiunea este solicitată la încovoiere produsă de încărcările exterioare și compresiune excentrică din precomprimare

Se admit următoarele ipoteze :

- Betonul din zona comprimată se plasticifică și la atingerea valorii rezistenței la compresiune R_c în fibra cea mai comprimată secțiunea cedează (fig.2.18). Epura de distribuție a efor-

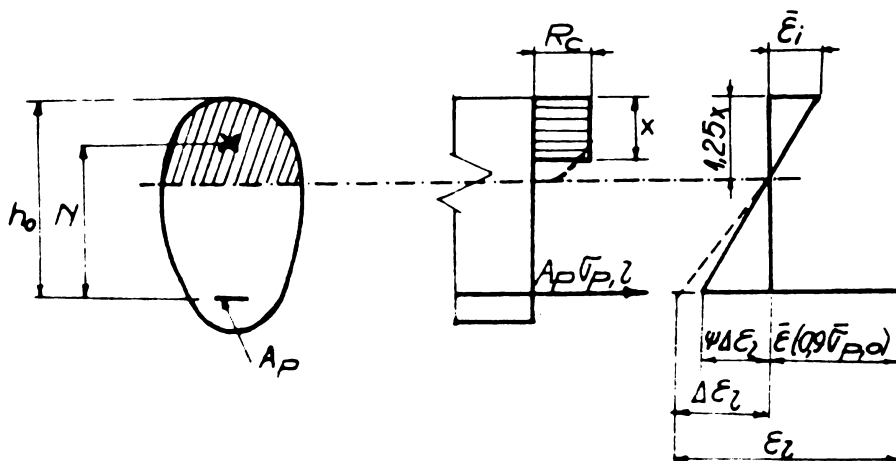


Fig 218 Starea de eforturi și deformații
pe secțiune în stadiul III
(STAS 10107/0 70)

INSTITUTUL POLITEHNIC
TIMIȘOARA
BIBLIOTECA CENTRALĂ

turilor este o parabolă de gradul 3 ; în STAS 10107/0-1976 distribuția eforturilor în zona comprimată este considerată în mod simplificat uniformă.

Această ipoteză a fost analizată în lucrarea /97/ pentru procente uzuale de armare 0,24% . . . 1,17%, influența adoptării diagramelor simplificatoare pentru distribuția eforturilor din zona comprimată asupra valorii momentului de rupere variind între 0,9 - 10,5%.

- Pe înălțimea secțiunii, pentru deformații medii secțiunile plane înainte de deformație rămân plane pînă la rupere.

- Starea de deformații este prezentată în fig.2.18.

- Între variația deformației specifice a armaturii pretenzionate ϵ_1 în secțiunea fisurată de rupere și deformația medie a betonului întins în fibra adiacentă există relația $\epsilon_1 = \frac{\epsilon_{sp}}{\psi}$ în care ψ reprezintă un factor subunitar ce ține cont de conlucrarea betonului întins cu armătura pe distanța dintre fisuri.

În prezenta lucrare nu s-a ținut cont de această influență /97/.

- Pentru oțelurile folosite se acceptă diagramele de calcul prezentate în fig.2.19 și 2.20

- Pentru beton se accepta în fibra extremă comprimată că s-a atins deformația specifică limită de calcul la încovoiere

$$\epsilon_1 = 0,002.$$

Pentru determinarea poziției axei neutre calculul s-a făcut ca pentru o secțiune dreptunghiulară de lățime b_p , deoa-

rece $x < h_{pl}$:

$$x = \frac{A_p \sigma_{pl}}{b_p R_c} \quad (2.4.1)$$

$$\sigma_{pl} = m_p R_p \quad (2.4.2)$$

$$\text{iar } m_p = 1 - k \alpha_p \quad (2.4.3)$$

unde $k = 0,3$

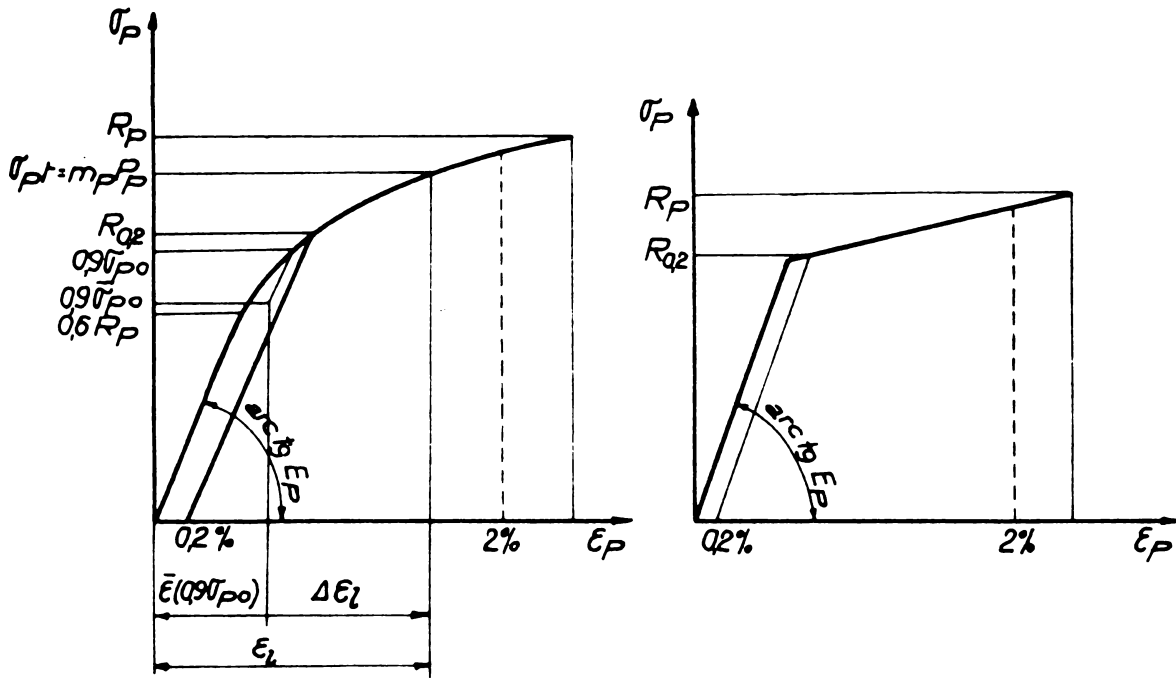


Fig 2.19. Diagrame de calcul σ - ϵ a oțelului (STAS 10107/1976)

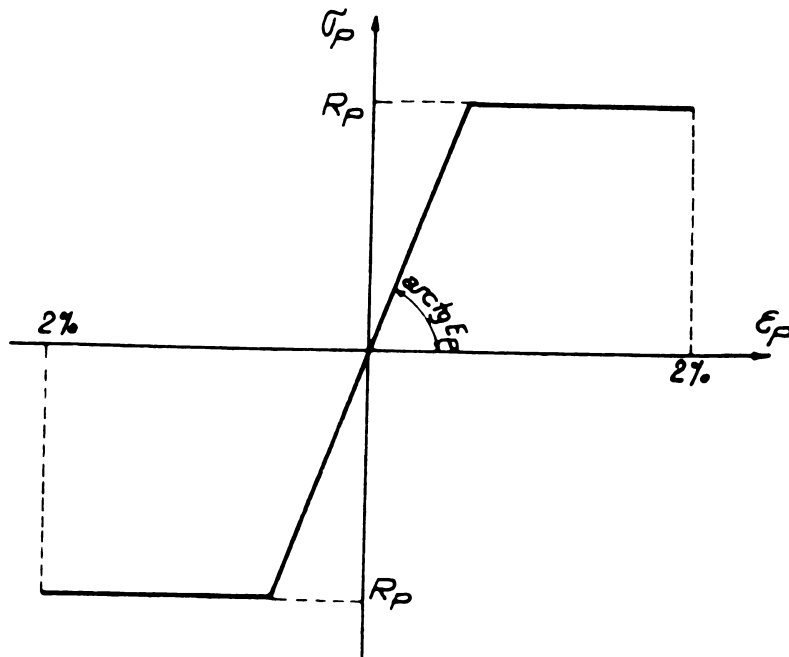


Fig. 2.20. Curba caracteristică convențională PC 90

$$\alpha_p = \frac{A_p R_p}{b_p h_o R_c} \quad (2.4.4)$$

Valoarea momentului de rupere s-a calculat pentru cazul armării cu bare groase cu formula:

$$M_r = A_p \sigma_1 (h_o - 0,5 x) \quad (2.4.5)$$

Pentru cazul armării cu toroane TBP formula :

$$M_r = 0,85 A_p \sigma_1 (h_o - 0,5 x) \quad (2.4.6)$$

Valorile experimentale sînt sensibil apropiate de cele teoretice. La evaluarea momentelor de rupere s-a ținut cont de caracteristicile reale finale ale materialelor : beton și oțel.

Cap. 3 Elemente experimentale

3.1. Grinzi de beton precomprimat cu armătură prefintinsă sub formă de toroane

Elementele experimentale de acest tip, în număr de 14 au fost executate după cum urmează :

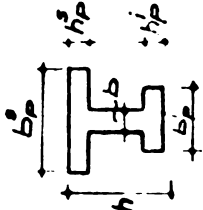
3.1.a. Grinzi de 9,2 m lungime (12 bucăți) cu armătura principală de rezistență sub formă de toroane TBP 9 - 2 bucăți: G_1, G_2 ; TBP 12 - 10 bucăți: $G_3, G_4, G_5, G_6, G_7, G_8, G_9, G_{10}, G_{13}, G_{14}$.

Secțiunea transversală este simetrică de formă I, cu înălțime constantă $H=100$ cm. Caracteristicile geometrice ale secțiunilor sînt prezentate, pentru toate elementele experimentale în tab.3.1, iar fig.3.1 prezintă caracteristicile de armare și schema de încărcare pentru grinzi de 9,2 m : lățimea tălpilor $b_p = 50$ cm, grosimea inimii $b = 10$ cm sau 15 cm și înălțimea tălpilor $h_p = 20$ cm.

Elementele au fost încercate ca grinzi simplu rezemate acționate de două forțe concentrate dispuse simetric, avînd deschiderea de forfecare variabilă, pentru a oferi posibilitatea studierii sistemului și la acțiunea forțelor tăietoare/91/

3.1.b. Grinzi longitudinale de 9 m contract P 234 -1975, 2 bucăți: G 9 l a, grindă longitudinală centrală și G 9 m la marginală; sînt grinzi cu lungimea efectivă de 8,7 m. și secțiune dublu T, avînd înălțimea la reazem $h_1 = 115$ cm și $h_3 = 129$ cm, lățimea tălpii superioare $b_p^{\square} = 70$ cm și a tălpii inferioare $b_p^1 = 40$ cm (fig.3.2).

Elementele sînt precomprimate cu toroane TBP 12, cu traseu drept, fiecare grindă avînd dispuse în talpa inferioară și inimă $28 \times 7 \text{ } \varnothing 4$, astfel ca, la transfer, să nu apară eforturi de întindere periculoase în talpa superioară.



CARACTERISTICI EFECTIVE ALE GRINZILOR EXPERIMENTALE

Tabel. 31.

Element	Dimensiunile sectiunii transversale (valori medii) [cm]										η_s [cm]	η_i [cm]	$I_{bi} \cdot 10^6$ [cm ⁴]	W_{bi}^s [cm ³]	W'_{bi} [cm ³]	a_p [cm]
	h	b_p^s	b_p^i	h_p^s	h_p^i	b	A_{bi} [cm ²]									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			
G1	100,5	51,3	52,0	20,1	21,2	17,0	3649	51,3	49,2	4,15	80900	84500	12,00			
G2	100,5	51,0	52,3	20,0	21,0	16,6	3605	52,0	48,5	4,48	85000	90900	15,00			
G3	101,6	50,8	53,7	20,3	21,3	16,6	3710	52,7	48,9	4,14	83800	90300	15,50			
G4	101,0	51,0	52,6	20,3	20,6	16,9	3664	52,1	48,9	4,12	79100	84300	15,00			
G5	102,0	51,2	53,0	20,3	21,5	17,3	3721	53,3	48,7	4,315	80700	83700	15,00			
G6	100,9	50,5	53,3	20,1	20,8	16,6	3657	52,4	48,5	4,104	78400	84500	14,00			
G7	100,5	51,5	53,7	20,2	20,4	16,9	3677	50,7	49,8	4,41	88500	88500	15,00			
G8	101,0	51,0	52,2	20,2	20,5	17,2	3672	51,7	49,3	4,07	79000	82700	14,00			
G9	100,0	51,0	53,0	20,0	21,0	12,0	3462	51,5	48,5	3,99	77600	82300	12,50			
G10	100,0	50,5	52,0	20,0	21,0	10,7	3364	51,4	48,6	3,915	76000	80500	12,00			
G11	100,0	52,25	53,4	20,3	21,8	18,3	3875	52,7	47,3	4,36	83800	92300	15,50			
G12	100,8	51,6	52,4	19,5	21,5	17,4	3770	53,2	47,6	4,209	80500	90000	14,25			
G13	100,0	50,7	53	18,7	21,0	17,2	3612	52,0	48,0	4,06	80000	86700	12,90			
G14	100,5	51,0	53,5	19,7	21,5	17,5	3705	52,2	48,3	4,196	80300	86700	13,20			

GRINZI DE MARE DESCHIDERE

G12-6	110,0	40	—	9	—	12,5	2024	50,1	59,9	2,452	48953	40944	15,50
G18-12-2	175,0	50	35	13	11	10	3103	86,8	88,2	12,351	142330	140000	24,76
G18-12-1	210,0	63	54	12	12	12	4568	98,5	111,5	27,475	279000	238000	16,00
G9B	117,5	71	40,2	17,5	15	15,5	3785	49,65	67,85	6,065	122000	89500	42,15
	122,0	70,5	40,2	17,5	15	16,3	3870	52,2	69,8	6,745	129000	96500	44,10
	127,0	71	40,3	18,0	16	16	3920	53,8	73,2	7,392	137300	101000	47,50

Fig 3 1.

CARACTERISTICI PENTRU GRINZI DE 92m

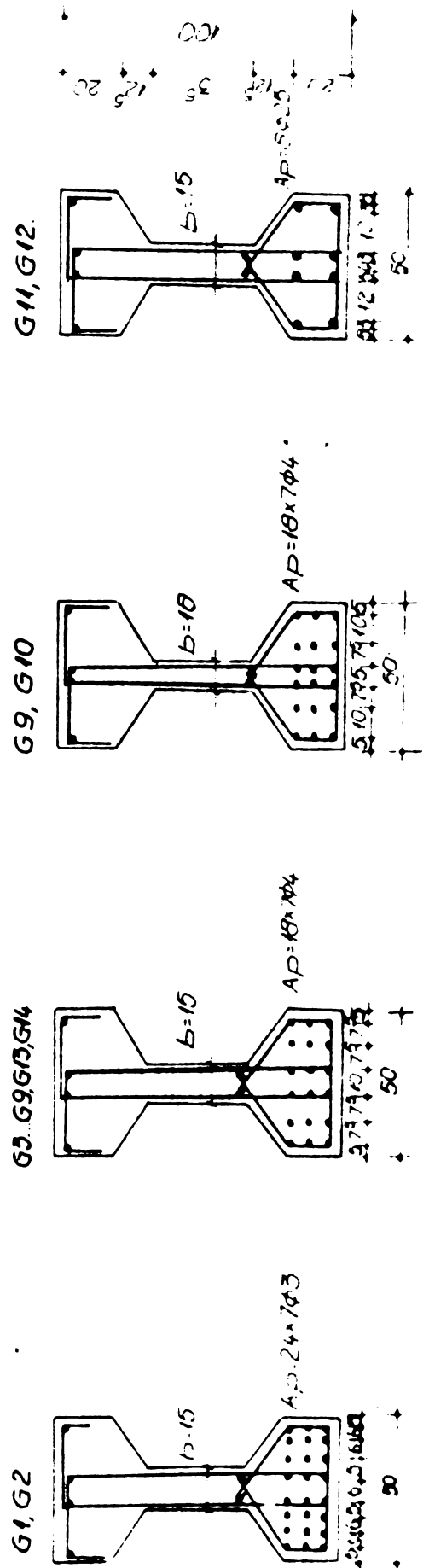
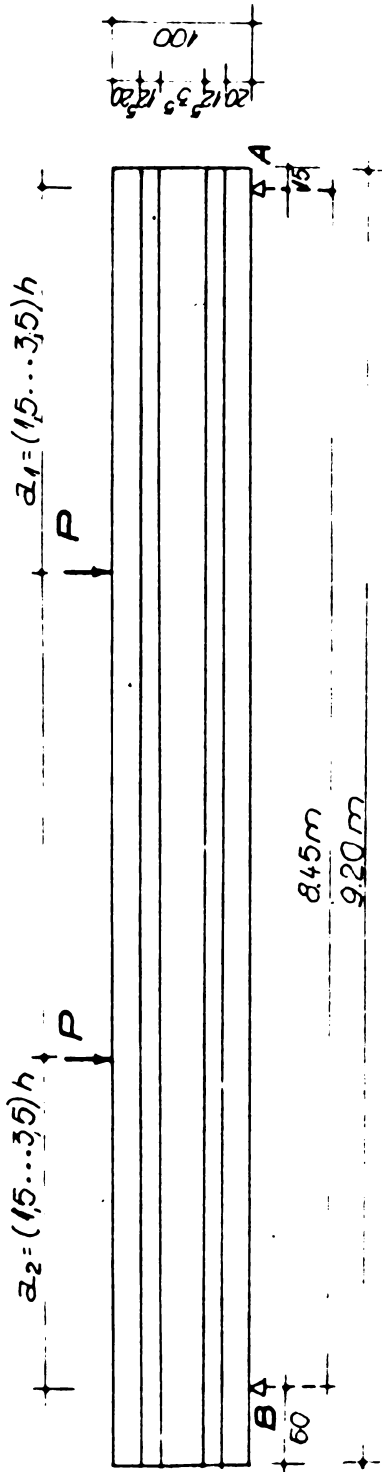
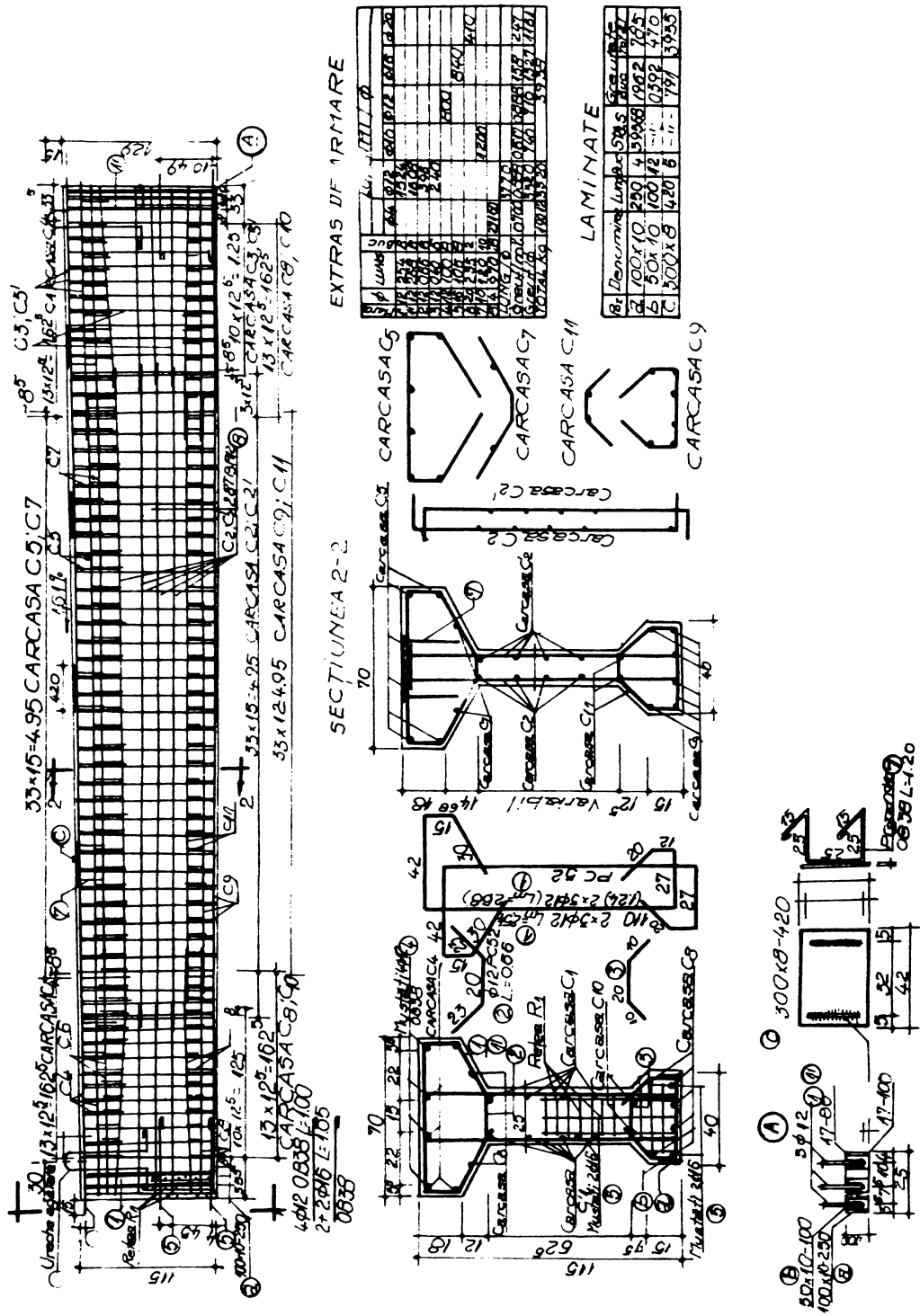


Fig. 3.2. Caracteristici pentru grinda G91a



Ca element de studiu a fost considerată doar grinda G91a solicitată în exploatare simetric.

Aceste grinzi, proiectate de IPC București urmează a fi utilizate la hale industriale cu deschidera de 12 m, 15 m, 18 m și 24 m și au făcut obiectul contractului de cercetare 21050, apărut ca urmare a unor studii efectuate în institutul de proiectări citat, privind necesitatea tipizării halelor industriale parter, cu travee de 9 m /92/ ; au fost experimentate ca prototipuri.

Inercarea grinzii G91a a cuprins două etape : (fig.3.3):

- etapa I corespunzătoare montajului, în care grinda a fost încărcată nesimetric cu 6 sarcini concentrate P_1 la 26 cm de axul ei și care dau momente de torsiune de valoare :

$$M_1 = P_1 \cdot 0,26 = 2,08 \text{ tm},$$

- etapa II-a corespunzătoare exploatării, în care grinda este solicitată cu forțe simetrice P_2 corespunzătoare încărcării uniform distribuite (deasemeni 6 forțe concentrate).

La ambele capete prinderea grinzii de reazem s-a realizat în soluția de îmbinare uscată, adică cu corniere sudate de placa din grindă și placa de reazem (respectiv din stîlp, în execuție) (fig.3.4)

3.1.c. Grinda G 18-2-7 de 18 m deschidere (fig.3.5) (tab.3.1) a fost experimentată ca prototip /80/.

Este un element destinat structurii de rezistență a halelor industriale cu pod tehnic, pentru traveea de 12 m.

Secțiunea transversală în dublu T este de înălțime constantă $h=1,20$ m, grosimea inimii $b=12$ cm, lățimea tălpii superioare $b_p^s = 63$ cm, iar a celei inferioare $b_p^i = 54$ cm.

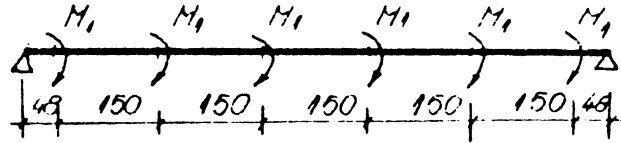
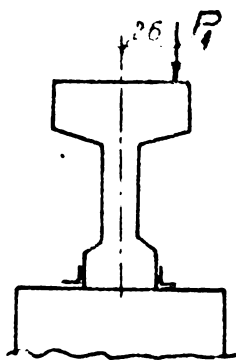
Precomprimarea se realizează cu trasee rectilinii din armătură preîntinsă sub formă de toroane TBP 12-24 x 7Ø 4.

Inercarea grinzii s-a făcut cu 4 sarcini concentrate pe

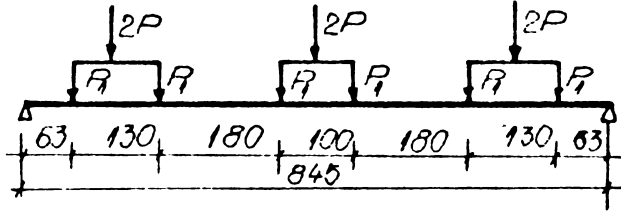
GRINDA CENTRALĂ G9-1a

Fig 3.3.

La montaj



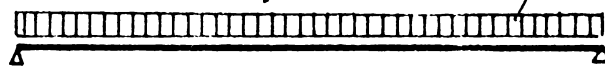
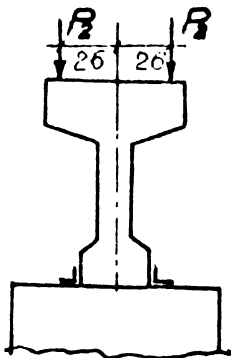
Schema din proiect $M_1 = 2,08 \text{ tm}$



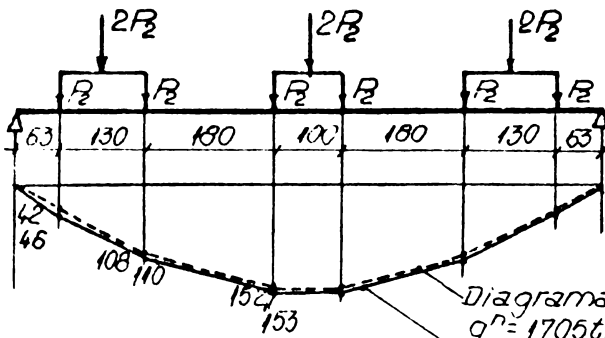
Schema adoptată la încercare
 $P = 8 \text{ t}$

Pentru încărcarea de exploatare

$q^n = 17,05 \text{ t/m}$



Schema din proiect
 $q^n = 17,05 \text{ t/m}$

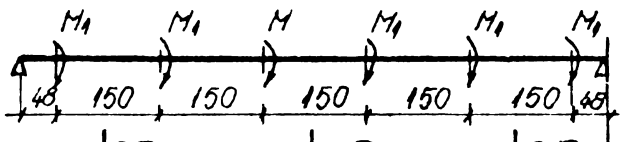
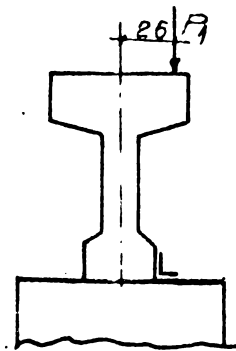


Schema adoptată
 $P_2 = 24,5 \text{ t}$

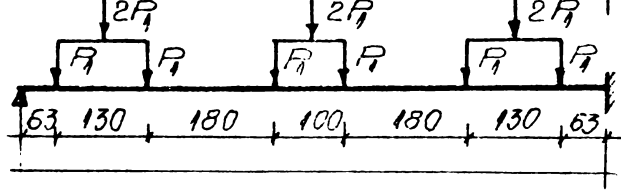
Diagrama de mom. din $q^n = 17,05 \text{ t/m}$
Diagrama de mom. dată de $P_2 = 24,5 \text{ t}$

GRINDA MARGINALĂ Gm9-1a

La montaj

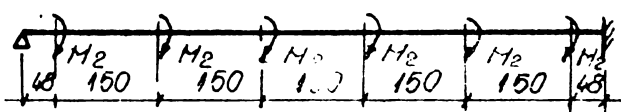
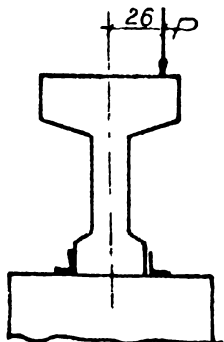


Schema din proiect
 $M_1 = 1,4 \text{ tm}$
 $q = 5,34 \text{ t/m}$

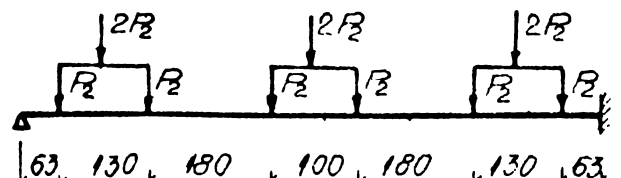


Schema adoptată
 $P_1 = 7,75 \text{ t}$

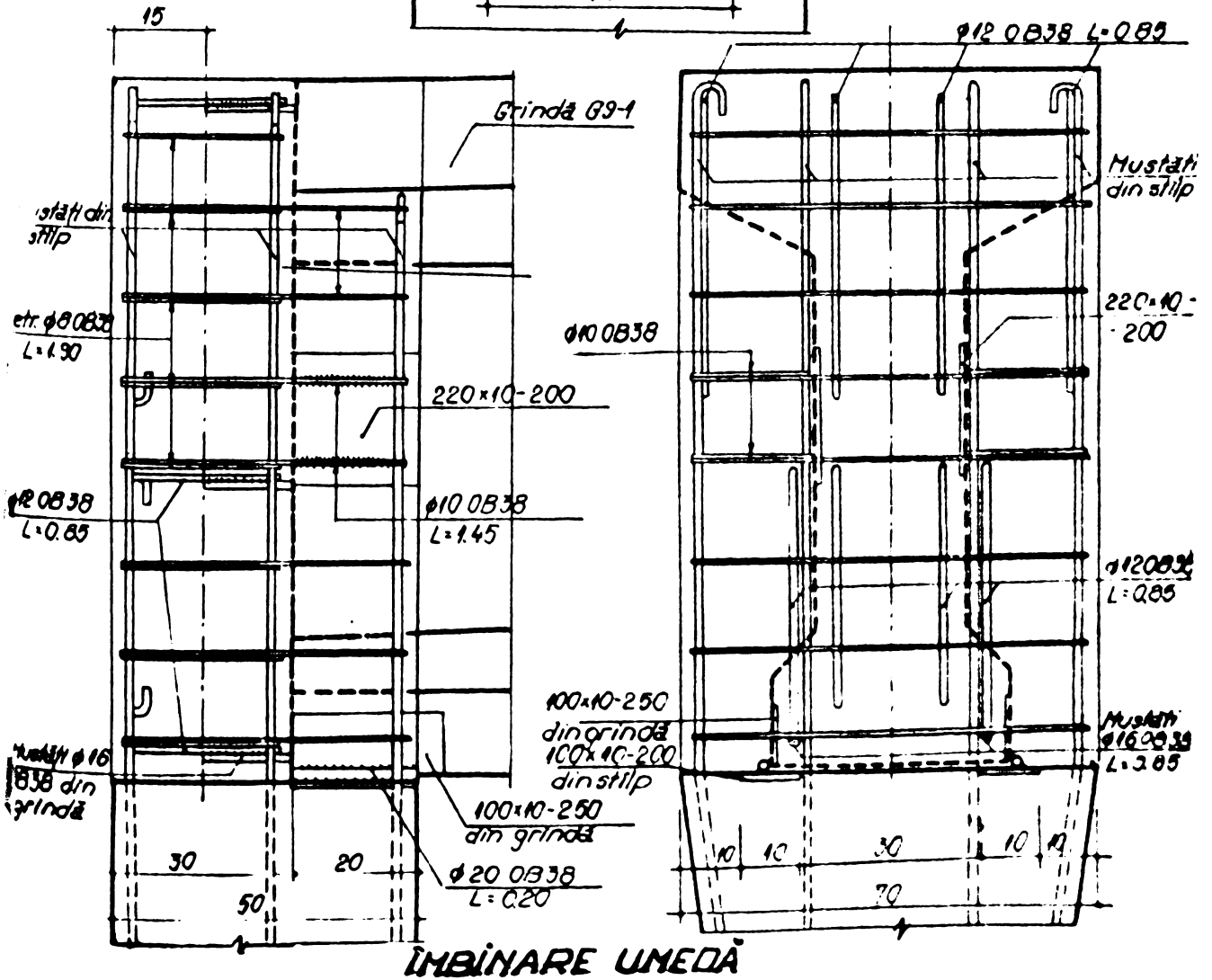
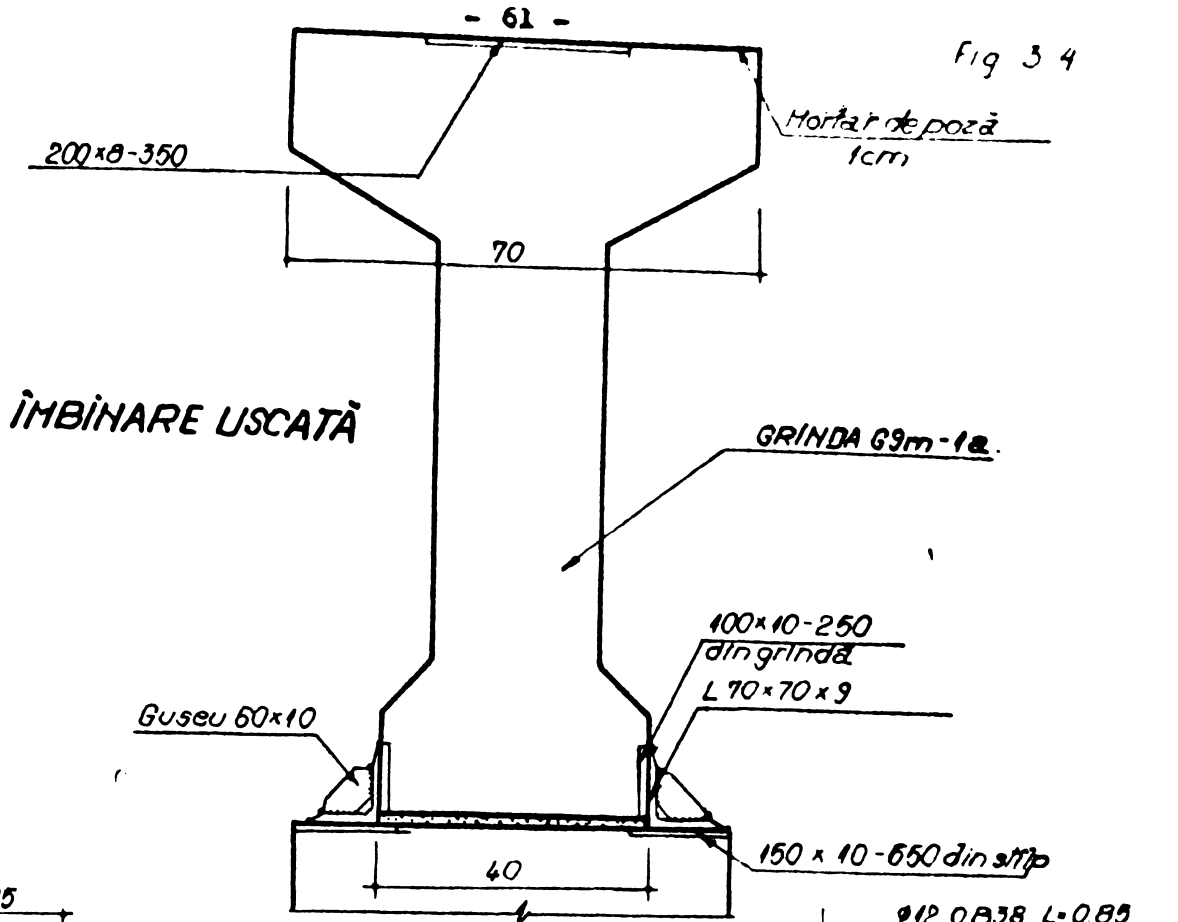
La încărcarea de exploatare



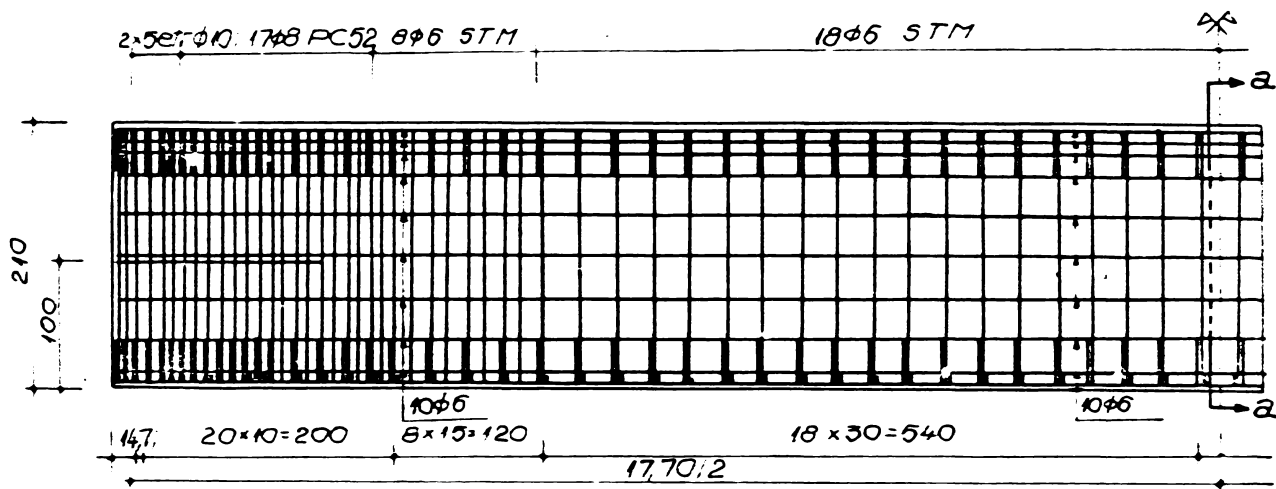
Schema din proiect
 $M_2 = 3,32 \text{ tm}$



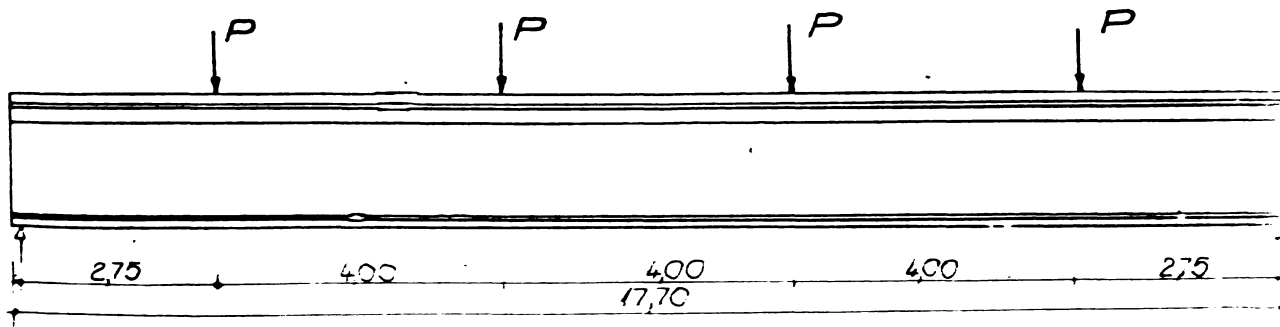
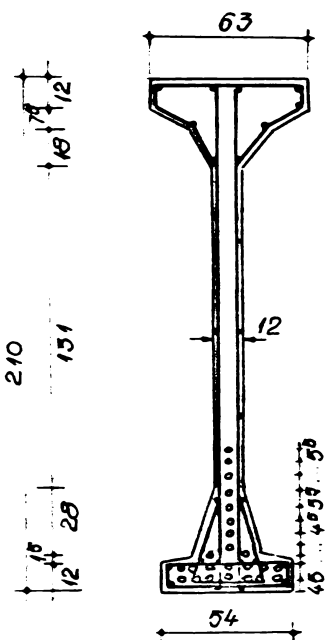
$P_2 =$



CARACTERÍSTICI PENTRU GRINDA G18-12-7 (TBP12)



Secțiunea a-a



talpa superioară (pentru realizarea acoperișului s-a preconizat în proiect folosirea chesoanelor tip IPC 1,5 x 12 m) și 8 sarcini concentrate la talpa inferioară (pentru realizarea podului tehnic din chesoane de mare suprafață).

3.2. Grinzi de beton precomprimat cu armătură preîntinsă sub formă de bare groase PC 90

Elementele experimentale cu armătură preîntinsă din bare groase sînt în număr de 4 și anume:

3.2.1. Grinzi de 9,2 m lungime - 2 bucăți : G 11 și G 12, cu armătura realizată din 8 \emptyset 25 PC 90, dispuse după traseu rectiliniu.

Secțiunea transversală a acestor grinzi este în dublu conform celor descrise la punctul 3.1.a. (tab.3.1. și fig.3.1).

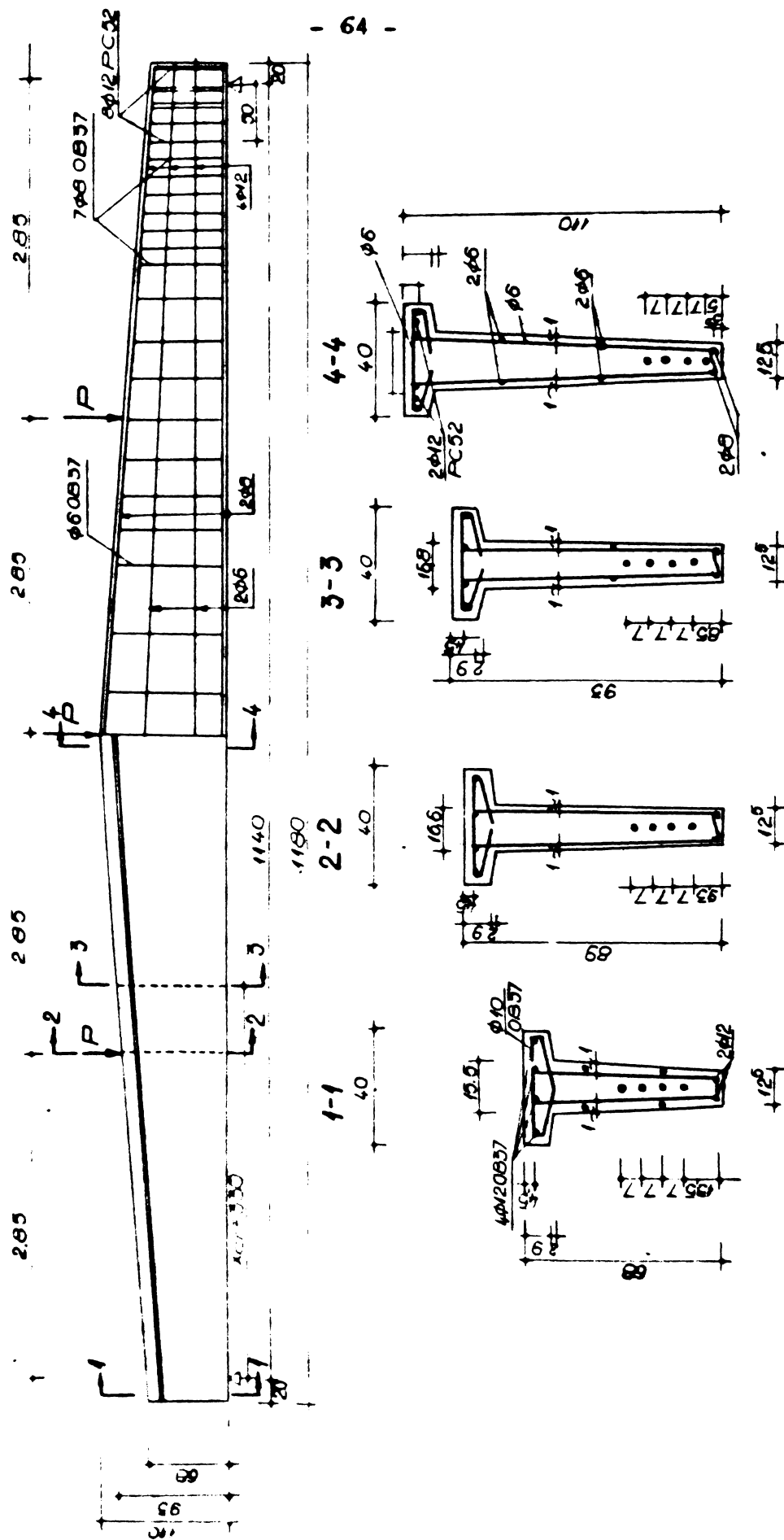
La încercare elementele sînt simplu rezemate, acționate de două sarcini concentrate dispuse simetric, realizînd o deschidere de forfecare $a/h = 2,5$.

3.2.2. Grinda G 12-6 (proiect IPC nr.2136) prototip de element precomprimat a fost executată și încercată pînă la pierderea capacității de rezistență /82/ cu un număr de 3 forțe concentrate dispuse la distanțe egale între ele, pentru o schemă statică de grindă simplu rezemată.

Armarea s-a făcut cu 4 \emptyset 25 PC 90 dispuse după un traseu rectiliniu. Grinda are 11,80 m deschidere, iar longitudinal este prevăzută cu două pante, avînd înălțimea la reazeme $h_r = 68$ cm și în cîmp, la mijlocul deschiderii $h_{max} = 110$ cm.

Secțiunea transversală este în T cu inima de grosime variabilă pe înălțime : $b_{min} = 12,5$ cm (la bază) și $b_{max} = 17,7$ cm, dar constantă longitudinal, lățimea tălpii este $b_p = 40$ cm, iar înălțimea tălpii $h_p = 9$ cm (fig.3.6)

Fig. 5.6 CARACTERISTICI PENTRU GRINDA G12-6 (4φ25 PC90)



Grinda G 18-12-2, prototip de element precomprimat (proiect IPC) a fost executată și încercată pînă la pierderea capacității de rezistență /81/ cu un sistem de acționare format din 8 forțe concentrate, pentru realizarea unei scheme apropiate de cea uniform distribuită din exploatare.

Armătura de rezistență este formată din 9 \varnothing 25 mm PC 90

Grinda are deschiderea de 17,70 m, secțiunea transversală dublu T, cu înălțime variabilă : $h_r = 117$ cm, $h_{\max} = 175$ cm-

Lățimea tălpilor este $b_p^s = 50$ cm, $b_p^{\text{inf}} = 35$ cm.

La capate, inima profilului care are $b = 10$ cm este îngroșată pe o distanță de 1,50 m pînă la $b = 14$ cm (fig.3.7).

3.3. Parametri variabili

Rezultatele prezentate în lucrare au fost culese și analizate folosind ca elemente de încercat, elemente experimentale propriuzise, dar și grinzi de mare deschidere a căror comportare sub acțiunea încărcărilor a fost comandată în cadrul unor contracte, în vederea omologării.

În cele ce urmează se prezintă diferiți parametri, care influențează comportarea la fisurare și anume :

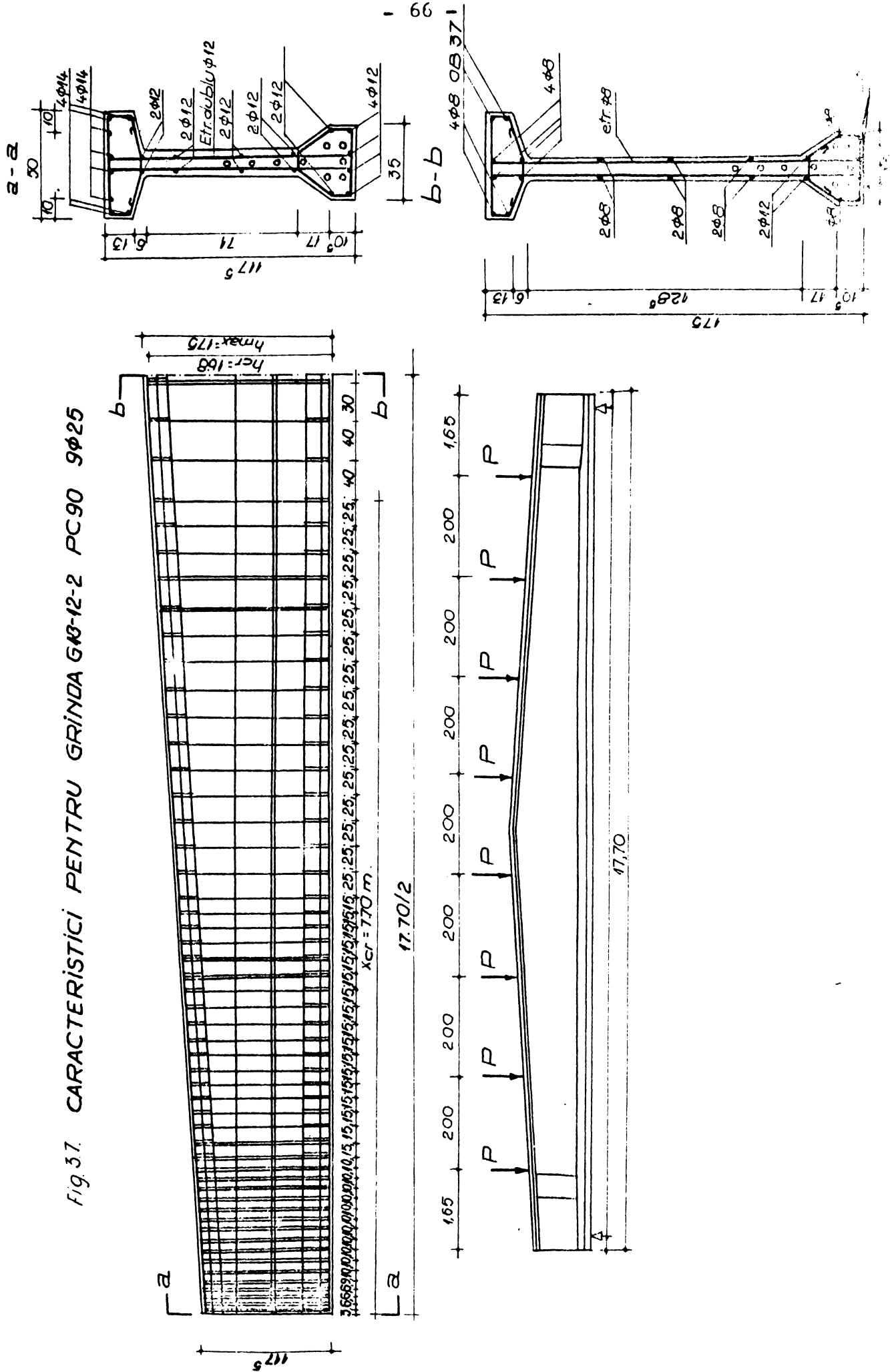
3.3.1. Calitatea armăturii pretensionate

Tab.3.2

Toroane	TBP 9	G_1, G_2
	TBP 12	$G_3, G_4, G_5, G_6, G_7, G_8, G_9, G_{10}, G_{13}, G_{14}$
Bare groase	PC 90	$G_{11}, G_{12}, G_{12-6}, G_{18-12-2}$

3.2.2 Armătura transversală (tab.3.3.) și deschiderea de forfecare (tab.3.4)

Fig. 3.7. CARACTERISTICI PENTRU GRINDA G13-12-2 PC90 9φ25



Tab.3.3

Indicativ grindă	G ₁	G ₂	G ₃	G ₄	G ₅	G ₆	G ₇	G ₈	G ₉	G ₁₀	G ₁₁	G ₁₂	G ₁₃	G ₁₄
Armătura transversală														
A _{et}	5∅8	4,5∅8	4,5∅8	4,5∅8	4,5∅8	4,5∅8	4,5∅8	4,5∅8	5,5∅12	4,5∅8	5,5∅12	4,5∅8	5,5∅12	5,5∅12
a ₁		2,5h												
a ₂	2,5h	1,5h	1,5h	2,5h	3,5h				2,5h			3,5h	1,5h	

Tab.3.4

Indicativ grindă	G12-6	G18-12-2	G18-12-7	G91a
A _{et}	(5.. 2)∅6/m	(5-2,5)∅8/m	3,3∅6/m	Carcase dinSTM și PC52 3(∅8...∅10)/m
a ₁ =a ₂	3,8 h	1,5 h	<1,5 h	<1,5h

La grinzile precomprimăte G12-6, G18-12-2, G18-12-7 și G91a încărcarea s-a realizat, funcție de posibilitățile de care am dispus, pentru a modela sarcina uniform distribuită care sollicită grinzile în serviciu.

Secțiunile critice la grinzile G 12-6 și G 18-12-2 au apărut în preajma zonei de schimbare a distanței dintre etrieri: de la 20 cm distanță la 50 cm distanță (grinda G 12-6), de asemenea de la 25 cm la 40 cm (G 18-12-2).

3.3.3 Intensitatea precomprimării $\sigma_{be} = \frac{N_0}{A_i}$

Tab.3.5

Tensiunea $\left[\frac{\text{daN}}{\text{cm}^2}\right]$	16...17	3845	47...54	72...73
Indicativ grindă	G ₁ , G ₂ , G ₇ , G ₈ , G ₉ , G ₅ , G ₆	G ₁₀ , G ₁₁ , G ₁₂ , G ₁₃ , G ₁₄	G ₃ , G ₄ , G ₁₂₋₆ , G ₁₈₋₁₂₋₂	G ₁₈₋₁₂₋₇ , G _{91a}

PROGRAM DE ÎNCERCARE

Tab.3.7.

Indica- tiv grindă	Lungimea [m]	Dimensiunile proiectate ale secțiunii [cm]				Calitatea betonului	Armătura tensionată efectivă		Etrieri OB 37		Forța de prima [10 ⁶ daN]	Deschide- rea de forfecare		Lungimea peste reazeme		
		h	b _p	h _p	b		Calitate	Secțiune [cm ²]	ρ _p %	φ/m		Secțiune [cm ²]	ρ _e %		a ₁ h	a ₂ h
1	2	3	4	5	6	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
G1						TBR ₉	1199	082	5φ8	250	0,335	16160	2,5	2,5		
G2						24x7φ3		084	3φ6	086	0,114	16160	2,5	1,5		
G3								115	4,5φ8	2,25	0,30	17850	1,5	1,5		
G4								111	5,5φ12	6,21	0,83	17730	2,5	2,5		
G5					15	TBR12		107	4,5φ8	2,25	0,30	6270	2,5	2,5		
G6						18x7φ4	16,11	112	5,5φ12	6,21	0,83	6270	2,5	2,5		
G7								111	4,5φ8	2,25	0,30	15290	3,5	3,5	15	60
G8	920	100	50	20				108	4,5φ8	2,25	0,30	16290	2,5	2,5		
G9					10	B400		153	4,5φ8	2,25	0,45	14715	2,5	2,5		
G10								171	5,5φ12	6,21	1,245	14725	2,5	2,5		
G11								255	5,5φ12	6,21	0,83	14840	2,5	2,5		
G12					15	PC90	392	261	4,5φ8	2,25	0,30	15140	2,5	2,5		
G13								108	5,5φ12	6,21	0,83	16356	3,5	3,5		
G14								105	5,5φ12	6,21	0,83	16380	1,5	1,5		
G12-6	1180	110	40	9	125	B500	1964	166	variabil	—	—	10380	130	225	15	15
G18-12-2	17,70	175	90	13	11	B500	4418	294	variabil	—	—	226,4	150	320	15	15
G18-12-7	17,70	210	65	54	12	B500	21,6	093	variabil	—	—	245,7	380	—	15	15
G19a	8,45	122	70	40	15	B500	2506	1,97	variabil	—	—	282,0	0,52	—	25	25

Obs. In pătratele cu două cifre cea din stînga este caracteristica tălpii superioare
si cea din dreapta a tălpii inferioare (pentru secțiuni dublu T)

3.3.4. Calitatea betonului

Tab.3.6

R_c daN/cm ²	360	390-415	430-440	450-460	490-500	520	550
Gr.	G_{13}	$G_1, G_2, G_5,$ $G_6, G_7, G_8,$ G_{14}	G_4 G_{12}	G_{91a} $G_9, G_{10},$ G_{11}	G_3 $G_{18-12-7}$	$G_{18-12-2}$	G_{12-6}

3.4. Executarea grinzilor

Programul experimental cuprinde 14 grinzi de 9,2 m și încă 4 elemente prototip. In acest capitol se prezintă modul de execuție al grinzilor cu armătură prefintinsă.

3.4.1. Grinzi de 9,2 m($G_1..G_{14}$)

Elementele la care se referă această lucrare au fost executate pe standul Catedrei de beton armat și construcții hidrotehnice, de la Iași, menținându-se, pe cât posibil aceleași condiții de execuție (armătură, beton, cofral, manoperă)

a. Caracteristicile materialelor folosite

- Armătura pretensionată

Pentru grinzile G_1, G_2 tab.3.7. s-a folosit toron TBP (18x7Ø3), pentru G_3, G_{10} și G_3, G_{14} toron TBP 12 (18x7Ø4).

Grinzile G_{11}, G_{12} s-au executat folosind ca armătură activă barele groase PC 90.

Caracteristicile armăturilor pretensionate determinate experimental sînt prezentate in tab.3.8.

Tab.3.8

Armătura pretensionată	$R_{po,2}^n$ daN/cm ²	R_p^n daN/cm ²	$R_{po,1}^n$ daN/cm ²	E_p daN/cm ²	$\delta_{r\alpha}$
TBP 9	16050	20100	15050	$2,05 \times 10^6$	4-4,5
TBP 12	13920	18400	15200	2×10^6	4,5
PC 90	7200	10350	6800	2×10^6	8-9

INSTITUTUL POLITEHNIC
TIMIȘOARA
BIBLIOTECA CENTRALĂ

- Armătura transversală (etrieri)

Etrierii sînt realizați din OB 37 avînd diametre de 6,8 sau 12 mm (tab.3.7); caracteristicile experimentale ale acestui oțel beton sînt date în tab.3.9.

Tab.3.9

d_{etr} mm	R_c^n daN/cm ²	R_r^n daN/cm ²	E_a daN/cm ²	δ_r %
6	3000	4300	6	29
8	2500- 2620	4200	2,1 x 10 ⁶	26 - 28
12	2650- 2800	4200		30

Etrierii sînt cu două ramuri, dispuși la distanțe egale pe toată lungimea grinzilor, exceptînd capatele, unde pe primii 10 cm se dispun 4 etrieri pentru îmbunătățirea comportării la transfer a zonelor de capăt.

- Betonul

Marca prevăzută a betonului este B 400, avînd următoarea compoziție:

- ciment Pz 400 (RIM 200 la grinda G₃) - 460 kg/m³
- apă 207 l (minus cea corespunzătoare umidității agregatului)
- nisip 460 kg/m³
- mărgăritar 362 kg/m³
- pietriș 7-15 mm 972 kg/m³

Agregatul folosit este agregat de rîu cu dimensiunea maximă pînă la 15 mm cu următoarea granulometrie :

Tab.3.10

Sită mm	0,2	1,0	3	7	15	30
Nisip 25%	6,2	20,7	20,2	24,2	25	25
Mărgăritar 20%	0,2	0,7	2,7	18,2	20	20
Pietriș 7-15 ,55%	0,9	1,4	1,8	3,6	44,7	55
Total 100%	7,3	22,8	27,7	46,0	89,7	100

b. Tensionarea armăturilor

Operațiunea s-a făcut pe standul de precomprimare al catedrei, lungimea 24 m; s-a preconizat executarea simultană a două grinzi (fig A.II.1-foto 1).

Tensionarea toroanelor s-a făcut de la un singur capăt, cu presa BP 12, toronul fiind rulat la celălalt capăt după un bolț \varnothing 50 mm sistem buclă, în vederea reducerii numărului de blocaje de capăt.

Controlul tensionării s-a făcut prin măsurarea presiunii la manometru electropompei, etalonat în prealabil, dar și prin măsurarea alungirilor și trasarea diagramelor P- Δ 1 la tensionare

Măsurarea forței totale în toroane (grinzi $G_3 \dots G_{14}$) s-a făcut cu ajutorul a două dinamometre de 100 tf dispuse între culele standului și traversele de blocare a toroanelor.

Tensionarea barelor groase PC 90

Barele groase PC 90 folosite la grinzile G_{11}, G_{12} au fost blocate la capete cu eclise sudate și tensionate în grup cu ajutorul a două prese de 100 tf. (fig.3.8 și fig.3.9).

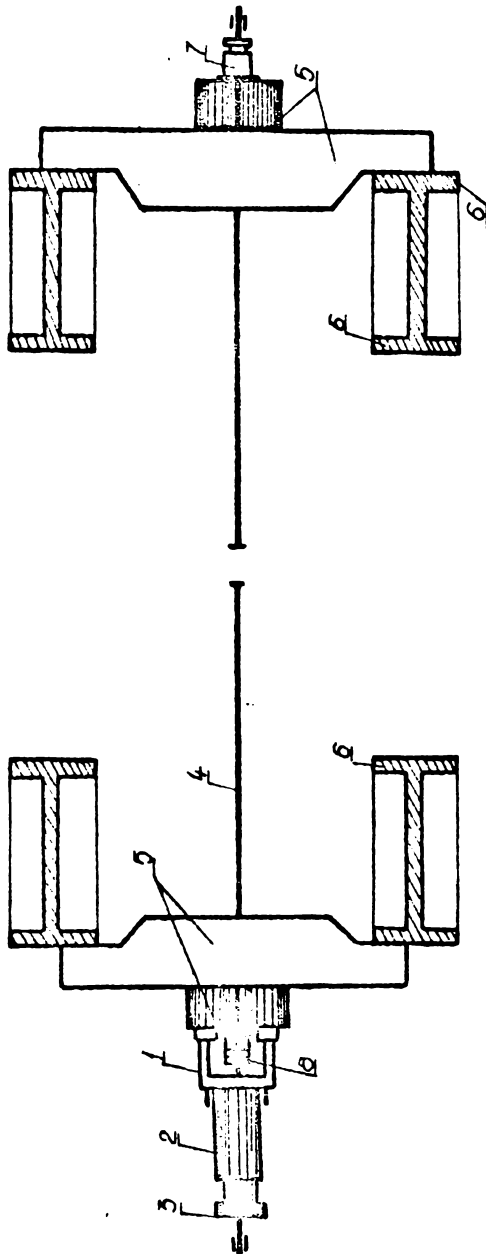
Efortul unitar de control s-a stabilit sub 5000 daN/cm^2 ($3850-4300 \text{ daN/cm}^2$). Controlul tensiunilor în bare s-a făcut prin măsurarea alungirilor cu deformetru cu baza de 200 mm (echipat cu comparator cu precizie de $1/100 \text{ mm}$).

Caracteristicile elementelor experimentale sînt prezentate în tab.3.11.

Turnarea grinzilor

După tensionarea armăturilor la valori ale tensiunilor calculate conform celor expuse anterior, s-au montat etrierii legîndu-se cu sîrmă arsă și cofrajul, realizat din dulapi de lemn căptușit în interior cu teco, după care s-au turnat elementele.

Turnarea manuală s-a efectuat cu betonul provenit de la

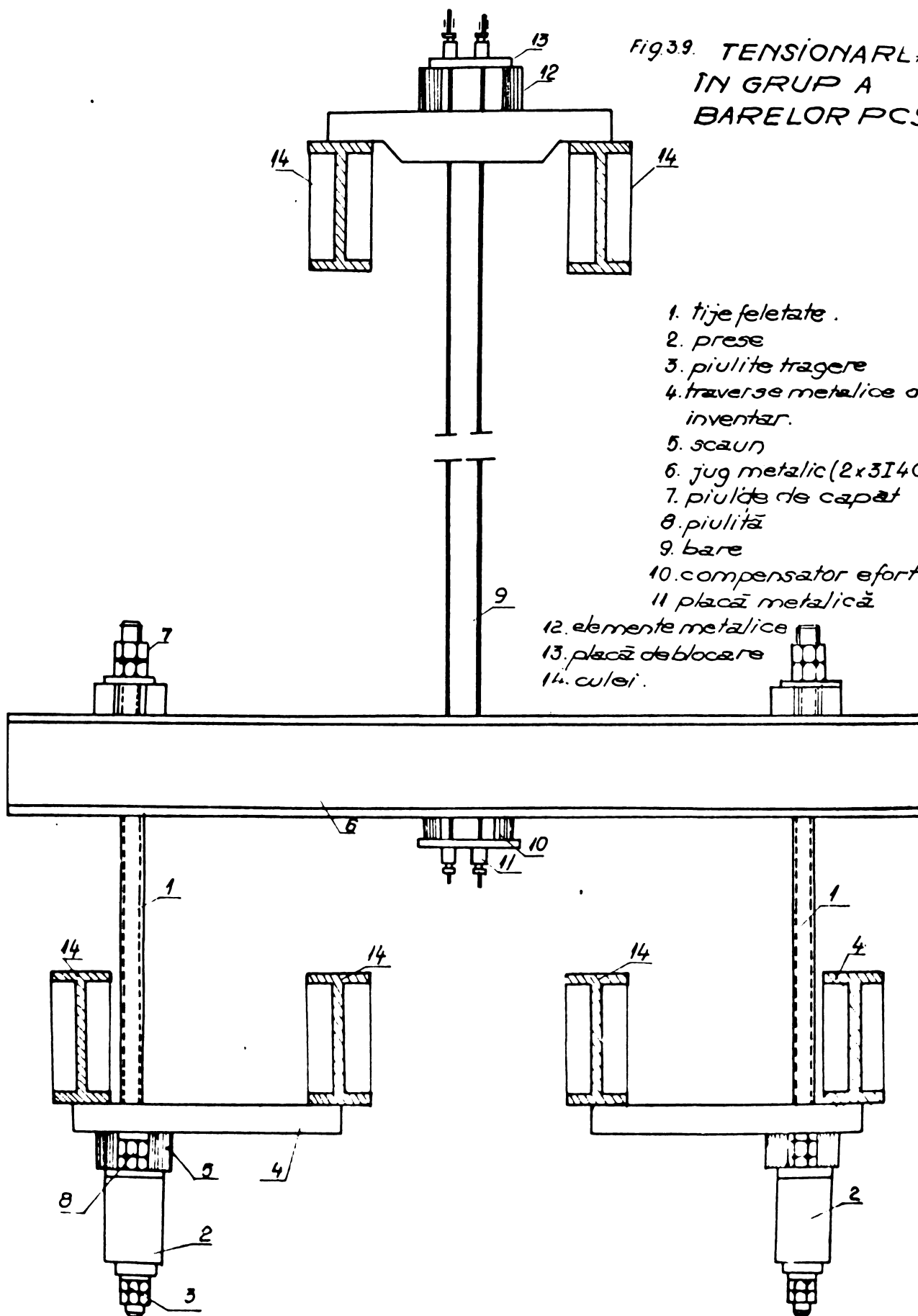


1. scaun metalic
2. presa
3. presa de blocare
4. bară
5. elemente metalice
6. culei
7. compensator
8. șabla distanțare

Fig. 3.8.

**TENSIONAREA INDIVIDUALĂ A
BARELOR PC 90**

Fig.39. TENSIONAREA
ÎN GRUP A
BARELOR PC90



CARATTERISTICI GRINZI EXPERIMENTALE

Abold 3.11

GRINDA	Lunghezza media [m]	Arma pura per prova (dimensioni)	Marca	PRECOMPRIARE				INCERCARE								
				Virgole (zile)	R _{sub} [daN/cm ²]	Eb [daN/cm ²]	Virgole (zile)	Resistenza la corruzione		Resistenza la ingrandire		R _i	Resistenza la ingrandire		Eb [daN/cm ²]	
								R _c	R _{sc}	R _c	R _{sc}		R _c	R _{sc}		R _c
G1		TBP9		25	300	290000	96	440	340	323	312	360	287	208	26,9	332000
G2				25	300	290000	134	390	324	309	297	340	279	26,05	29,70	326000
G3				13	430	336000	197	490	407	376	368	432	324	29,7	29,2	356000
G4				11	340	306000	191	430	357	337	325	377	297	27,6	27,4	336000
G5				16	340	306000	66	390	324	309	297	340	279	26,05	25,60	326000
G6		TBP2		19	290	287000	119	415	345	331	315	365	290	27,3	26,7	333000
G7	9,20		400	71	400	330000	91	400	332	316	304	350	2830	26,5	26,1	330000
G8				63	380	322000	98	400	332	316	304	350	2830	26,5	26,1	330000
G9				28	400	330000	135	460	382	358	346	405	3100	28,8	28,00	344000
G10				22	350	340000	130	460	382	358	346	405	3100	28,8	28,00	344000
G11		PC90		48	400	330000	129	460	382	358	346	405	3120	28,8	28,00	344000
G12				42	400	330000	124	440	365	345	332	392	3015	28,0	27,8	338000
G13		TBP2		21	330	302000	27	360	299	287	275	315	2640	24,8	24,30	314000
G14				18	325	300000	118	390	324	309	297	340	27,8	26,05	25,70	326000
G12-6	11,80	PC90	500	26	520	364000	50	550	456	418	410	480	3505	31,9	31,6	370000
G12-2	17,70	PC90	500	23	502	360400	45	520	432	398	389	456	3300	30,8	30,4	364000

o stație de betoane automatizată; vibrarea s-a făcut cu ajutorul unui vibrator cu 26000 vibrații/minut, în două etape : talpa inferioară și restul grinzii.

Pentru aprecierea calității betonului s-au confecționat epruvete de probă : 6 cuburi (20x20x20) și 6 cilindri, pentru fiecare grindă, păstrate în condiții similare cu elementul.

Alunecările în toroane, pe parcursul execuției, au fost evaluate cu precizia de 0,05 mm și luate în considerare ca pierderi de tensiuni alături de $\Delta\sigma$.

Transferul tensiunilor de la armătură la beton s-a făcut în momentul atingerii rezistenței minime de 300 daN/cm² (evaluată cu corpuri de probă și sclerometru cu înregistrare Schmidt).

S-au efectuat măsurători privind :

- deformațiile specifice ale betonului pe toată înălțimea grinzilor, la mijlocul deschiderii, cu deformetru cu baza de măsurare 200 mm și precizia de măsurare 0,0005 mm.,

- contrasăgeata grinzilor la precomprimare în 5 secțiuni; măsurătorile au fost efectuate cu comparatoare de precizie 1/100 mm.,

Totodată s-au făcut măsurători la nivelul armăturii tensionate, în talpa inferioară pe capete, pentru determinarea lungimilor de transmitere a tensiunilor de la armătură la beton

În tab.3.12 se dau valorile calculate și experimentale ale tensiunilor unitare în beton la precomprimare.

3.4.2. Grinzi prototip(G12-6,G18-12-2,G18-12-7,G91a)

Execuția grinzii G12-6

Tensionarea celor 4 \varnothing 25 mm PC90 care alcătuiesc armătura activă a grinzii de 12 m s-a făcut mecanic, individual pentru fiecare bară /82/, la un efort $\sigma_{pk} = 5700 \text{ daN/cm}^2$.

Armarea grinzii s-a făcut conform planșelor de execuție; în vederea unei bune ancorări a barelor în beton s-au

TENSIUNI LA PRECOMPRIMARE

Tab. 3/2

Element	Arma tura preten- sionata	Tensiune de control σ_{pk} [daN/cm ²]	Pierderi de tensiuni [daN/cm ²]					Tensiuni in armatura pre- comprimate [daN/cm ²]				Tensiuni in beton [daN/cm ²]			
			$\Delta\sigma_1$	$\Delta\sigma_2$	$\Delta\sigma_3$	$\Delta\sigma_4$	$\Delta\sigma_5$	σ_{p0}	σ_{p0}	σ_{p0}	σ_{p0}	Calculate		Experiment	
												σ_{bp}^c	σ_{bp}^s	σ_{bp}^c	σ_{bp}^s
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
G1	24x7φ3	15650	580	-	1590	1830	773	13480	12467	16160	14950	-10070	1464	1060	150
G2	18x7φ3		580	-	1594	2041	948	13476	12100	16160	14520	-9605	992	1060	114
G3		12300	455	-	760	998	796	11086	10052	17850	16184	-10544	1366	1140	142
G4			500	625	1063	1321	958	11012	8796	17730	15770	-10910	1631	1160	163
G5		4850	330	625	0	0	215	3895	3684	6270	5925	-3255	041	559	165
G6	18x7φ4		330	625	0	0	303	3895	3590	6270	578	-3447	151	383	133
G7	9P12	11000	340	625	540	550	423	9495	9062	15290	14590	-9379	1168	950	925
G8			400	625	485	503	530	9490	8942	15280	14397	-9837	1781	999	150
G9		9650	360	-	150	166	635	9140	8490	14715	13670	-9917	1760	1010	155
G10			360	-	144	181	822	9146	8306	14725	13370	-10312	1909	1100	172
G11	8φ25	4180	175	-	151	193	393	3800	3395	14840	13330	-8093	865	860	69
G12	PC90		175	-	150	163	440	3856	3402	15140	13360	-8839	1376	895	125
G13	18x7φ4		105	400	536	547	417	10159	9731	16356	15067	-10352	1783	1085	1570
G14	18P12	11200	105	400	519	688	820	10176	9247	1638	14890	-10228	1850	1110	1790
G12-5	PC90 4φ25	5700	195	-	220	250	500	5285	4755	1038	9340	14719	2893	-	-
G13-2	PC90 3φ25	5700	130	-	445	515	555	5125	4500	2264	19980	16004	1270	-	-
G13-7	18P12 2φ4, 13P12	13600	600	625	1000	1135	1135	11375	10103	2457	21830	12555	1663	-	-
G14	18P12 2φ4, 12P12	12690	660	-	774	870	647	11256	10515	2820	26345	14035	-2239	-1650	130

sudat la capete eclise din oțel \varnothing 25 mm, pe 12 cm lungime (A.II. 2. foto 4, 5, 6, 7 și 8).

Betonul folosit în grindă este de marcă prezumată 3 500 cu ciment RIM 200 în proporție de 550 kg/m³, cu adaos de 0,2% LSc; raportul A/C=0,4; agregatul (dimensiunea max,15mm), din piatră spartă, are următoarea compoziție granulometrică:

Tab.3.13

Sita	0,2	1	3	7	15	30
Trece prin ciur %	3,5	15,5	26,2	48,2	92,2	100

Turnarea betonului s-a realizat în două straturi diferențiate prin modul de compactare: primul strat, s-a turnat cu locm peste ultima bară, betonul din acest strat compactându-se cu vibratoare de cofraj, al doilea strat completând înălțimea grinzii se compactează cu ajutorul pervibratoarelor.

O dată cu turnarea betonului s-au confecționat manual epruvete cubice, prismatice și cilindrice; pentru a obține toate caracteristicile mecanice necesare.

Rezultatele determinărilor sînt prezentate în tab.3.14.

Tab.3.14

Vîrsta betonului (zile)	Rezistența la compresiune pe R_{cub} (daN/cm ²)	Rezistența la întindere prin desp.cil ² (R_{ti}) (daN/cm ²)
26 (transfer)	520	36,1
50 (încercare)	550	39,2

Pentru urmărirea comportării la transfer s-a folosit tensometria mecanică -deformetru tip BAC ce baza de 200 mm, echipat cu microcomparator cu precizia de masurare 1/1000 mm. Ploturile reper s-au lipit pe suprafața betonului în 3 secțiuni caracteristice.

Contrasăgeata la transfer s-a masurat cu comparatoare de

precizie 1/100 mm.

Pe bare s-au dispus coliere cu comparatoare pentru evaluarea intrărilor barelor la transfer (A.2.2. foto 9).

Transferul forței de precomprimare de la culeiele standului la beton s-a efectuat prin încălzirea locală a fiecărei bare pînă la consumarea deformațiilor din întinderea din precomprimare.

Contrasăgeata din precomprimare este 5,03 mm(1/2540 l).

Execuția grinzii G 18-12-2

Cele 9 bare \emptyset 25 mm PC 90 care alcătuiesc armătura de rezistență a grinzii de 18 m deschidere au fost tensionate prin procedeul mecanic în grup și bară de bară, după o soluție originală (foto 14,15 din A.II.3).

Lungimea oarelor tensionate în grup a fost de 23,1 m, iar a celor tensionate individual 26,3 m. Tensiunea de control a fost de 5700 daN/cm².

Armarea grinzilor și cofrarea s-a făcut în conformitate cu proiectul de execuție (fig.3.7).

Betonul de marcă B 500 a fost preparat cu ciment RIM 200 cu dozajul 550 kg/m³, cu adaos 0,2% LSc; raportul A/C = 0,4, iar agregatul este asemănător cu cel folosit la grinda G 12-6.

Turnarea betonului s-a făcut în două straturi diferențiate prin modul de compactare : primul strat, care depășește cu 5 cm ultima bară s-a compactat cu vibrator de cofraj, iar pe restul înălțimii s-au folosit pervibratoarele.

Caracteristicile mecanice ale betonului s-au determinat cu ajutorul epruvetelor executate o dată cu grinda : tab.3.15.

Tab.3.15

Vîrsta betonului (zile)	R _c (daN/cm ²)	R _t desp.	R _{ti}
23 zile (transfer)	502	35,9	-
45 (încercare)	520	38,2	43,5

Transferul s-a efectuat prin încălzirea locală a fiecărei bare și tăierea cu flacără oxiacetilenică, pentru a evita șocurile.

Contrasăgeata măsurată din precomprimare a avut valoarea de 7,07 mm.

Execuția grinzii G 18-12-7

Precomprimarea grinzii codificată G 18-12-7 s-a realizat cu toroane TBP 12, 24 x 7 ϕ 4, tensiunea de control $\sigma_{pk} = 13600 \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2}$

Armătura transversală a fost sub formă de etrieri 3ϕ 6 mm/m din STM.

Turnarea s-a efectuat într-o fabrică de prefabricate, în cofraj metalic, în poziție orizontală.

Rezistența betonului la transfer a fost de 350 daN/cm², iar la încercare de 500 daN/cm².

Execuția grinzii G 91a

Intrucât în ambele grinzi : centrală-G91a și marginală-G 91a este prevăzută aceeași armătură tensionată (28 x 7 ϕ 4) dispusă asemănător pe secțiune s-a preconizat turnarea celor două grinzi pe aceeași linie de toroane tensionate și blocate pe culeile standului de precomprimare din Hala de producție a Catedrei de beton armat, care are o lungime de 24 m (A.II.4. foto 18). Pentru a se elimina ancorajele de la un capăt al standului, s-au prevăzut bolțuri ϕ 100 mm, realizându-se o buclă, toroanele fiind tensionate numai de la un capăt și blocate (A.II.4. foto 19).

Tensionarea fiecărui toron s-a făcut cu presa BP 12, controlul tensiunilor realizându-se cu manometrul electropompei etalonat în prealabil și prin măsurarea alungirilor și trasa-rea diagramei $P_k - \Delta_1$ pentru fiecare toron în parte.

Efortul $\sigma_{pk}^{exp.}$ a fost de 13350 daN/cm² (față de valoarea

13600 daN/cm² prevăzută în proiect)

Se menționează că datorită forței totale mari $N_k=336$ tf, după terminarea tensionării s-a produs o curbare a bolțului de la capătul pasiv, ceea ce a făcut ca tensiunea din toroane să scadă, corespunzător unei pierderi din blocaje $\Delta\lambda = 1$ cm, valoare care a fost luată în considerare la calculul pierderilor de tensiuni.

Armătura transversală : Înainte de tensionarea toroanelor s-au realizat carcassele de armături pentru cele 2 grinzi prin asamblarea unor carcasse plane: 11 la grinda centrală și 15 la cea marginală (A.II.4. foto 20). Carcassele au fost executate la Intreprinderea de Materiale de construcții Iași, care dispune de mașină de sudat prin puncte.

Turnarea grinzilor : după montarea carcaselor s-au introdus toroanele și s-a efectuat operațiunea de tensionare. Co-frajele s-au executat din dulapi de 5 cm grosime cu rigidizări suficiente pentru a nu se deforma, în timpul vibrării (A.II.4. foto.21).

Betonul de marcă prezumată B 500 s-a preparat în stația de betoane semiautomatizată a Căminului de beton armat. Compoziția granulometrică a agregatului utilizat este prezentată în tab.

3.16

Tab.3.16

Sita	0,2	3,0	3,0	7	15	30
N 28%	2,6	20,4	25,2	27,4	27,8	28
M 18%	0,4	1,9	3,3	15,4	17,9	18
P 54%	1,2	2,6	3,6	10,3	40,5	53,7
100%	4,2	24,9	32,1	53,1	86,5	99,7

Compoziția betonului a fost :

Ciment RIM 580 kg/m³

Apă 203 l - 43 l (datorită umidității)

Nisip 0-3 275 kg

Mărgăritar 3-7 378 kg

Pietriș 7-15 880 kg

Pentru o bună compactare s-au utilizat vibratoare de cofraj, dar și un vibrator de adâncime cu 26000 rot/min.

La turnarea fiecărei grinzi s-au confecționat câte 12 cuburi cu latura de 20 cm, pentru aprecierea calității betonului și 6 cilindri pentru determinarea rezistenței la întindere prin despicare, probele fiind păstrate în aceleași condiții ca și grinzile.

Deși cofrajul a fost deosebit de rezistent, vibrarea intensivă a făcut ca dimensiunile efective ale celor două grinzi să prezinte abateri față de prevederile din proiect, abateri luate în considerare la calculul caracteristicilor geometrice ale secțiunilor (tab.3.1).

Precomprimarea grinzilor Transferul eforturilor de la armătură la beton s-a făcut la ambele grinzi odată, atunci când rezistența betonului a atins valorile de 300 daN/cm² la grinda G 9mla și 350 daN/cm² la grinda G 9la, valori determinate prin încercarea a câte trei cuburi de probă și paralel prin sclerometrare cu sclerometru Schmidt cu înregistrare, constatându-se o foarte bună concordanță între valorile lui R_c obținute pe cele două căi, tab.3.17

Tab.3.17

Grinda	Tensionarea armăturii	Turnarea bet.	Transfer data (zile)	vîrsta	Rezistența R _c (cub) daN/cm ²	R _c sclerometru daN/cm ²	A/C
G 9 la	20,03,1975	1.04.75	15.04.75	15	350	360	0,4
G 9mla	20,03.75	27.03.75	15.04.75	19	300	315	0,52

La precomprimare s-au efectuat măsurători privind:

- deformațiile betonului pe fețele laterale ale tălpii în-

ferioare pe o lungime de 1,5 m de la capătul grinzii pentru a se determina lungimea de transfer a eforturilor de la armătură la beton,

- deformațiile betonului pe înălțimea grinzii, în secțiunea centrală, cu un deformetru cu precizia de măsurare de 0,001 mm, ceea ce a permis determinarea tensiunilor în beton din precomprimare,

- contrasăgeata la precomprimare (cu comparatoare cu precizie 1/100 mm),

- intrarea toroanelor în beton prin dispunerea pe toroane a 20 ceasuri comparatoare (A.II.4. fig.26),

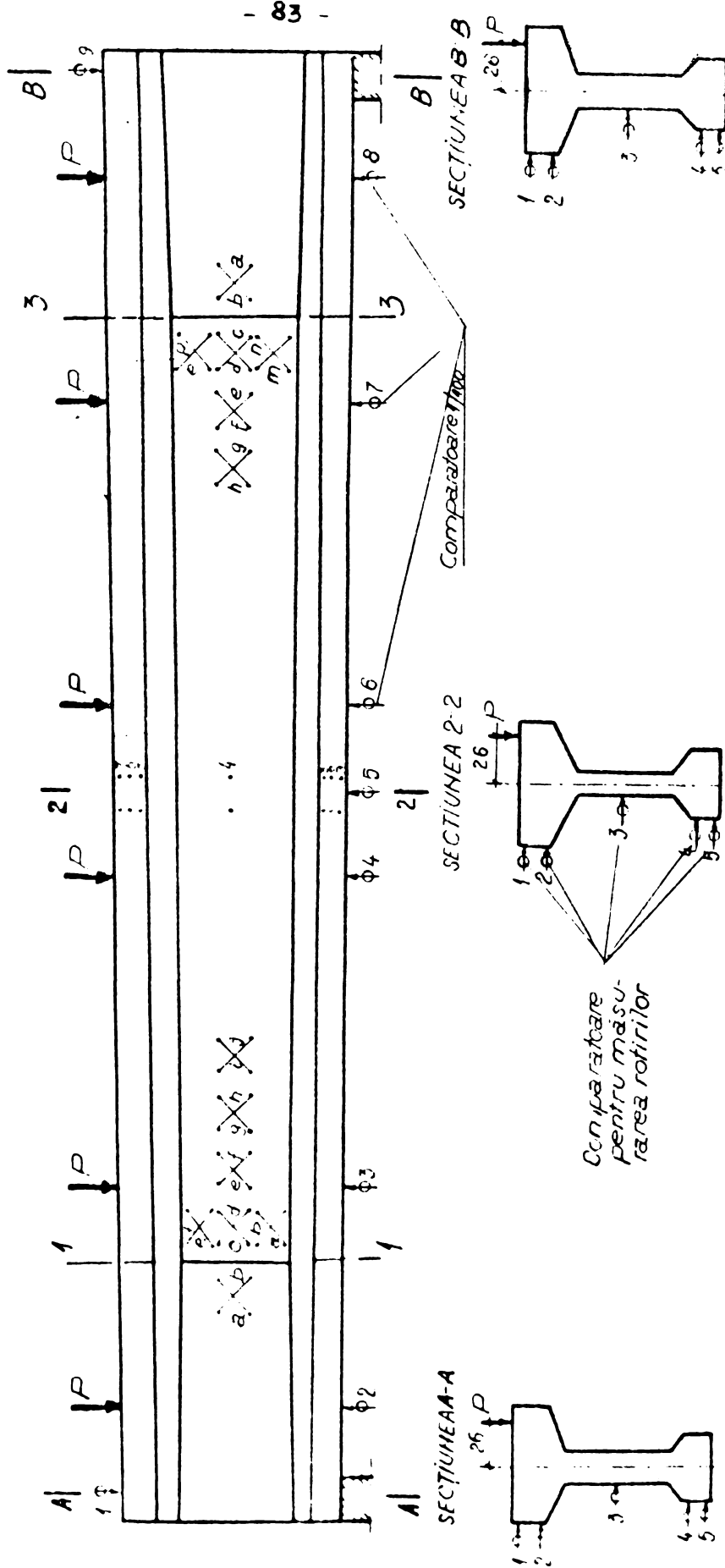
Transferul s-a făcut brusc, prin tăierea pe rând a toroanelor cu flacără oxiacetilenică, în ordinea indicată de proiect, și încălzind pe o lungime cât mai mare toronul, pentru a evita șocul.

Modulul de elasticitate al betonului a fost apreciat funcție de rezistența la compresiune [320000 daN/cm^2 (G91a) și (G9mla) 290000 daN/cm^2].

În fig.3.10 se prezintă dispunerea comparatoarelor și a ploturilor, pentru măsurarea deformațiilor în beton, iar în fig.3.11, diagrama de eforturi din precomprimare în secțiunea centrală a grinzii.

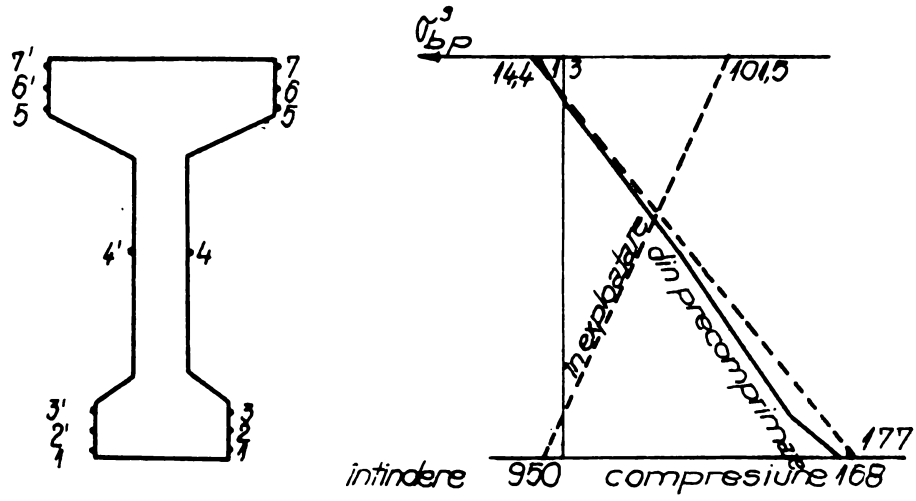
FIG. 3.10 GRÎNDĂ CENTRALĂ G9-1E

DISP. LIEI COMPARTOARELOR 1100 ȘI A PLOTURILOR PENTRU MĂSURAREA DEFORMĂRILOR ÎN BETON



DISPUNEREA COMPARTOARELOR 1100 PENTRU MĂSURAREA ROTIRILOR (faza de montaj)
 (Is Ploturile au fost dispuse pe ambele fețe ale grinzii.)

Fig. 3.11. EFORTURI DIN PRECOMPRIMARE ÎN SECȚIUNEA CENTRALĂ A GRINZII G9-1a



----- Valori de calcul
————— Valori experimentale

Cap.4 Experimentarea grinzilor

4.1. Condiții de experimentare

Programul experimental, cuprinzând 18 grinzi cu armătură prefabricată a avut ca scop urmărirea comportării elementelor pînă la pierderea capacității de rezistență.

Încărcarea s-a realizat, pentru elementele codificate $G_1 \dots G_{14}$ cu două forțe concentrate (fig.3.1), iar grinzile prototip (fig.3.3)(3.5),(3.6) și (3.7) astfel :

- la grinda G 12-6 cu trei forțe concentrate,
- la grinda G 18-12-2 cu opt forțe concentrate,
- la grinda G 18-12-7 cu patru forțe concentrate,
- la grinda G 91a cu șase forțe concentrate.

În lucrare s-au studiat și rezultatele experimentale prezentate în /91/, obținute pe grinzi care au avut deschiderea de 3,4 m, încercate în Belgia. Aceste elemente, simplu rezemate au fost încărcate cu două forțe concentrate situate la 0,75 m de axul rezemării.

Încărcarea s-a realizat cu verine hidraulice de 30 tf fiecare, însoțite de un captor tensometric de precizie 14,6kgf

Lungimea peste reazeme a fost de 35 cm pentru a avea asigurată ancorarea armăturilor.

De asemeni în lucrare s-au analizat și elementele de 4,9 m lungime, experimentate la INCERC București, prezentate în tab.4.1.

Standul de încercări al Catedrei de beton armat din Iași este realizat din cadre metalice pe care se sprijină presele hidraulice de 100 tf, cu un dinamometru mecanic de 100 tf interpus.

În general, sistemul de acționare a fost simetric, for-

GRINZI DE 4,9 m DESCHIDERE (INCERC BUCUREȘTI)

Tabel. 41

Grinza 5 cm	Armătură		Marca pres- crisă [daN/cm ²]	Precomprimare		INCERCARE										
	Long	Trans- vers		R _{cub} ^{10cm} (R _{cub} ^{20cm})	E _b [daN/cm ²]	Vir- sta (ziile)	Rezistența la compres. (daN/cm ²)			R _i [daN/cm ²]	E _b [daN/cm ²]	Rezistența la in- tindere (daN/cm ²)				
							R _c ^{RFA}	R _c ^{STAB}	R _c ^{CAER}			R _t ^{FIP}	R _t ^{STAB}	R _t ^{CAER}		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
3	0B38	3φ6/m	400-450	302	290800	9	436	349	340	329	380	337200	29,5	27,8	27,4	
4				302	290800	10	436	349	340	329	380	337200	29,5	27,8	27,4	
7			295	288000	10	491	393	379	368	425	359600	31,6	29,8	29,4		
8			450-500	295	288000	11	491	393	379	368	425	359600	31,6	29,8	29,4	
10				362	314000	10	467	373	362	351	405	336800	30,5	28,9	28,9	
16			5φ8/m	450-500	300	290000	12	459	367	356	345	400	343600	30,2	28,7	28,4
17		5φ8/m	400-450	251	270400	8	398	318	314	302	350	329200	27,5	26,3	26	
18				251	270400	13	410	328	322	311	350	332000	28,1	26,8	26,4	
19			450-500	382	322800	12	495	396	381	371	430	358000	31,8	30	29,4	
20				382	322800	15	495	396	381	371	430	358000	31,8	30	29,4	
22			298	289200	14	467	374	362	351	405	346800	30,7	28,9	28,3		
29			5φ8/m	450-500	232	259200	14	460	368	357	346	400	344000	30,4	28,7	28,2
30	FC	450-500	232	259200	12	460	368	357	346	400	344000	30,4	28,7	28,2		
31	0B38	3φ8/m	360-400	232	259200	35	336	279	269	257	295	304400	24,6	23,8	23,5	
35			400-450	-	-	80	409	327	321	310	360	331800	28	26,7	26,4	
38		5φ6/m	450-500	325	300000	62	460	368	357	346	400	344000	30,3	28,7	28,2	
39		12	0B38	400-450	340	306000	48	411	329	323	301	360	332200	27,7	26,8	26,4
40					340	306000	143	-	-	-	-	-	-	-	-	-
41		5φ8/m	500-570	355	312000	48	570	466	435	424	495	374000	35,5	32,7	31,8	
42		0B38	500-570	355	312000	51	570	466	435	424	495	374000	35,5	32,7	31,8	
43				450-500	250	270000	45	480	384	371	360	415	352000	31,2	29,4	28,9
45		27BP12 1φ16 PC90	5φ6/m	400-450	210	246000	48	440	365	343	332	385	338000	30,1	27,9	27,5
46					210	246000	48	440	365	343	332	385	338000	30,1	27,9	27,5
47		37BP12	5φ6/m	>600	350	310000	25	630	504	495	472	550	383000	37,3	35,6	33,6
48					350	310000	28	630	504	495	472	550	383000	37,3	35,6	33,6
49	2φ18 PC90	0B38	400-450	245	267000	26	414	331	325	313	365	332800	28,2	27	26,5	
50				245	267000	27	414	331	325	313	365	332800	28,2	27	26,5	
51	12	0B38	>600	497	358800	27	640	531	475	471	560	384000	38,6	34,6	33,9	
52				497	358800	18	640	531	475	471	560	384000	38,6	34,6	33,9	
53	37BP12	5φ6/m	500-570	378	321200	67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
54				378	321200	68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
55	12	0B38	400-450	262	274800	53	487	389	376	365	425	354800	31,4	29,7	29,1	
56				262	274800	54	487	389	376	365	425	354800	31,4	29,7	29,1	
57	17BP12	5φ6/m	450-500	265	276000	52	470	378	364	353	410	348000	30,8	29	28,6	
58	2φ16 PC90			265	276000	52	470	378	364	353	410	348000	30,8	29	28,6	
59	37BP12	3φ6/m	450-500	300	290000	26	470	378	364	353	410	348000	30,8	29	28,6	
61	17BP12 2φ16 PC90			265	276000	28	452	362	351	340	395	340600	30	28,4	27,9	
63	27BP12 1φ20 PC90	0B38	400-450	305	292000	28	500	400	385	374	395	360000	32	30,2	29,6	
64				305	292000	28	500	400	385	374	395	360000	32	30,2	29,6	
65	37BP12	5φ8/m	360-400	262	274800	19	392	314	309	298	435	378400	27,2	26	25,7	
66				20	262	274800	18	392	314	309	298	435	378400	27,2	26	25,7
67	17BP12 1φ16 PC90	0B38	400-450	373	319200	17	437	349	341	330	340	337400	29,3	27,6	27,4	
68				373	319200	17	437	349	341	330	340	337400	29,3	27,6	27,4	

țele concentrate realizându-se prin intermediul unor profile dispuse longitudinal și rezemate pe grinzi prin intermediul unor plăcuțe metalice, pentru a împiedica strivirea locală a betonului în zona de transmitere.

Grinzile au avut schema simplu rezemată, pe un rulou fix și celălalt cu posibilitate de deplasare orizontală (A.II.1. foto 3).

4.2. Măsurători efectuate

În timpul experimentărilor au fost efectuate următoarele măsurători, care caracterizează comportarea grinzilor :

- deplasarea pe verticală, cu precizia de 1/100 mm, folosind comparatoare dispuse în 5 secțiuni în lungul grinzii (s-a ales pentru exemplificare grinda G 91a - fig.4.1 și 4.2),

- smulgerea capetelor armăturilor active din beton, cu comparatoare de precizie 1/100 mm fixate pe coliere, pe fiecare bară,

- apariția și dezvoltarea fisurilor normale și înclinate cu lupa (putere de mărire 10 x) și cu deformetru cu bază de măsurare 50 mm (precizie 0,005 mm),

- deformațiile betonului în secțiuni normale și înclinate, pe înălțime cu deformetru mecanic (1/1000 mm)(fig.4.3).

Treapta de încărcare a fost 3,5 - 4 % din încărcarea de rupere până la apariția fisurilor și apoi 6-8,5% din cea de rupere ; după fiecare treaptă, încărcarea s-a menținut constantă 10-15 minute, dar oricum până la stabilizarea deformațiilor, după care s-au făcut citirile.

După fiecare treaptă de încărcare s-au măsurat deschideri de fisuri, la nivelul centrului de greutate al armăturilor tensionate, până la deschiderea lor de 0,30 mm, pentru fisuri normale și 1 mm pentru fisuri înclinate.

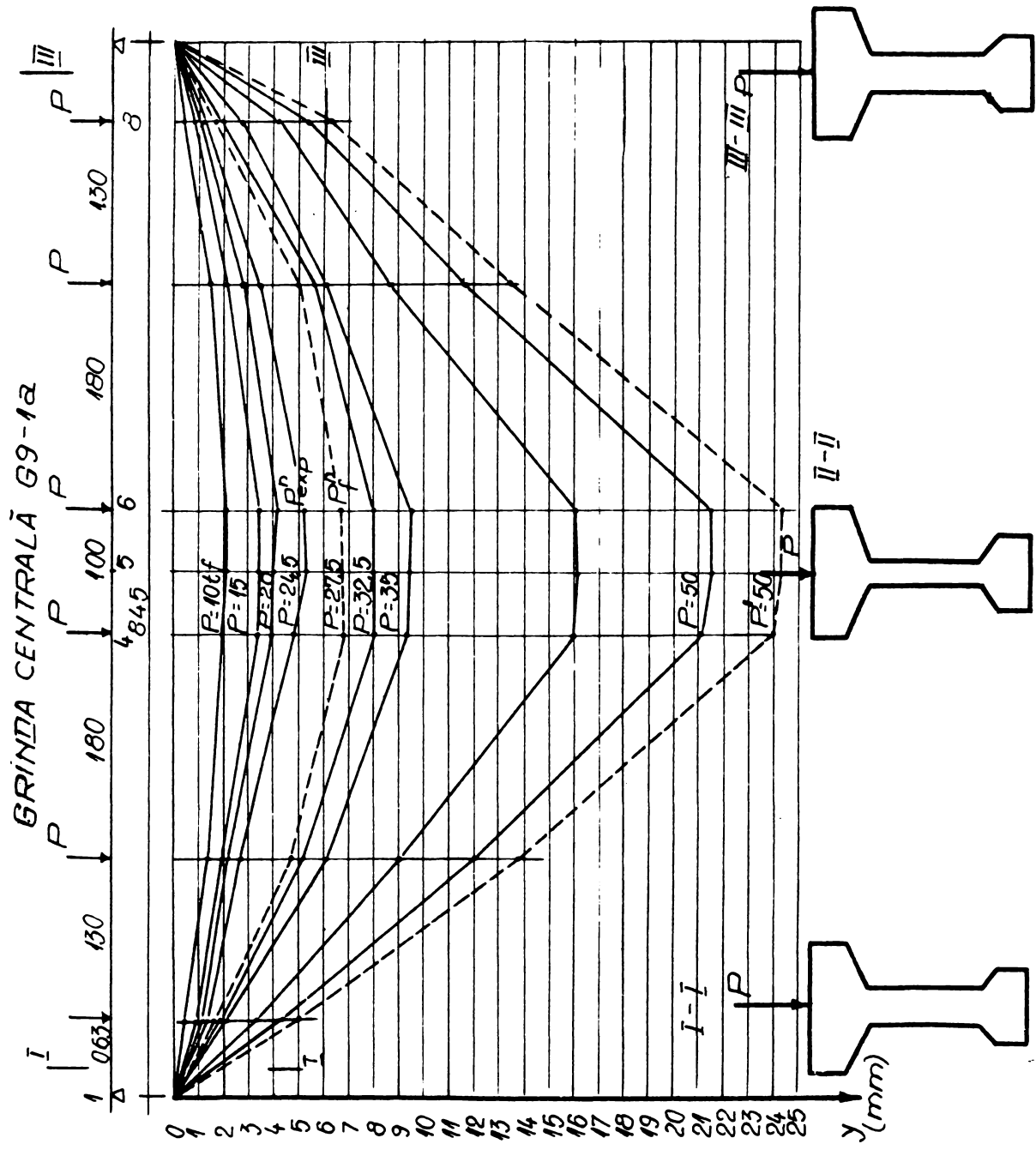


Fig. 4.1. Diagrama deplasărilor pe verticală a secțiunilor grinzii

Fig. 4.2. GRINDA CENTRALĂ GG-1a

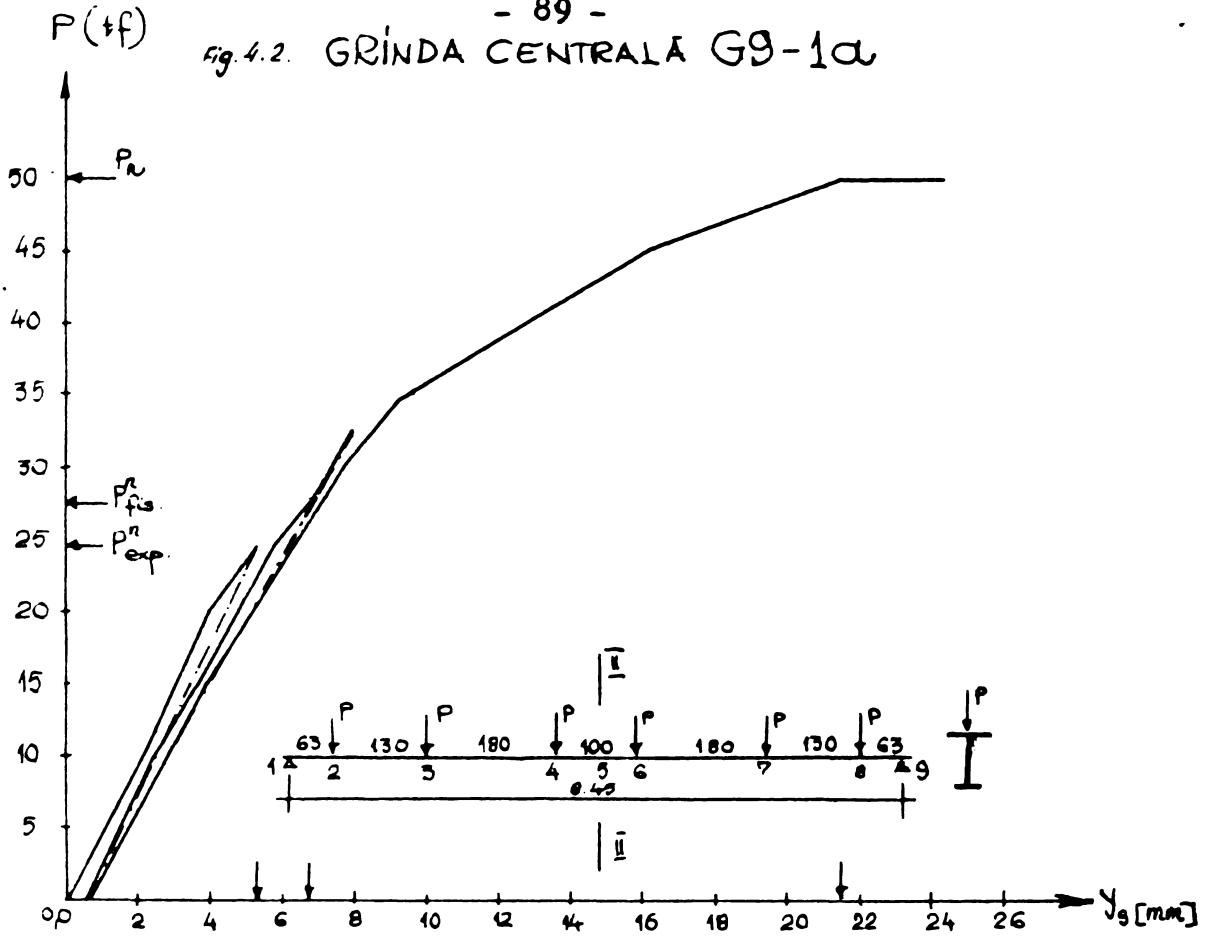
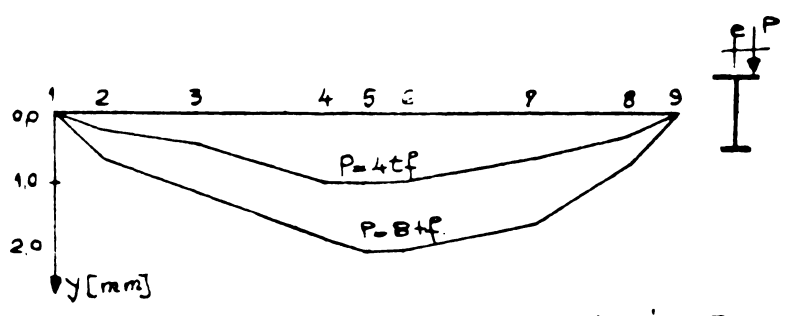


DIAGRAMA P-y(l/2)

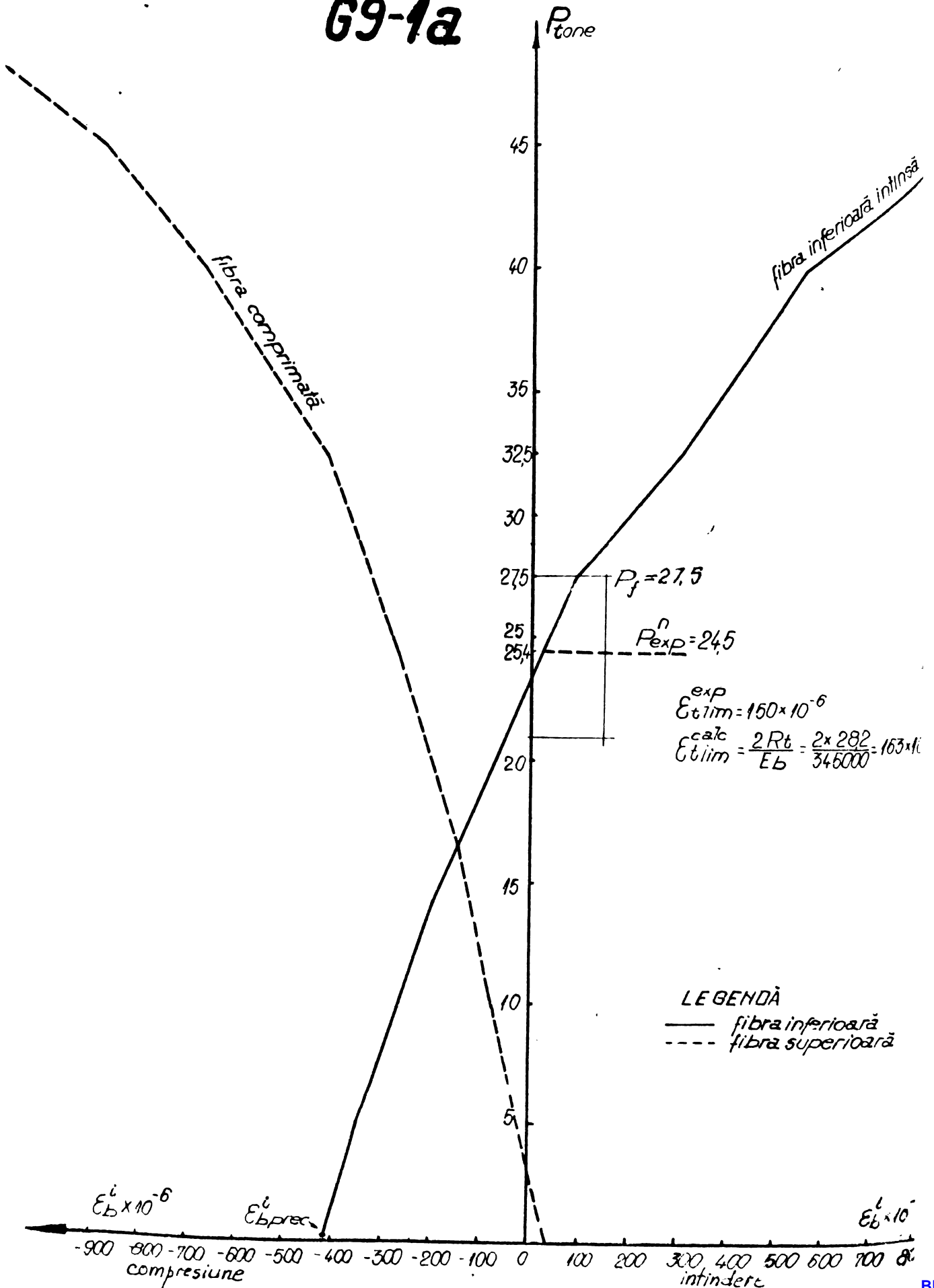


FAZA MONTAJ - DIAGRAMA DEPLASĂRILOR SECȚIUNILOR PE VERTICALĂ

INSTITUTUL POLITEHNIC
TIMIȘUARA
BIBLIOTECA CENTRALĂ

Fig 4.3. DEFORMAȚII ÎN BETON SUB ÎNCĂRCARE ÎN
SECȚIUNEA CENTRALĂ

G9-1a



Cap.5 Rezultate experimentale și compararea lor
cu valorile teoretice

În acest capitol se vor prezenta rezultatele culese din încercarea elementelor experimentale la care se referă lucrarea cît și unele rezultate obținute de alți autori, în vederea stabilirii modului în care diferite norme și formule prezentate în literatură prind prin calcul fenomenul real.

Analiza și concluziile se referă la starea limită de fisurare și starea limită de rezistență, pentru grinzi precomprimate din beton greu armate cu bare PC 90 și toroane TBP 9 și TBP 12, cu diverse grade de precomprimare.

5.1. Apariția fisurilor normale

Aprecierea valorii experimentale a momentului de apariție al fisurilor s-a făcut după Recomandările metodologiei de încercare CAER, apreciindu-se că momentul de apariție al fisurilor corespunde unor deschideri inițiale de 0,02-0,05 mm.

În tab 5.5 col 4 sînt înscrise valorile primelor fisuri, imediat la apariție.

Deasemeni, aceste valori au fost confruntate cu cele rezultă din diagramele de încărcare săgeată obținute în urma prelucrării măsurătorilor deplasărilor pe verticală în diferite secțiuni de grindă, la treptele de încărcare ; s-au determinat totodată momentele corespunzătoare închiderii și redeschiderii fisurilor normale.

Variația valorii momentului de fisurare cu procentul de armare longitudinal este prezentată în fig.5.1. Se observă o influență destul de redusă a acestui parametru (μ) pentru grad de precomprimare ($\frac{\sigma_{p0}}{R_s} \cong 0,5$) apoximativ acelaș.

În schimb, raportul între momentul de fisurare și cel

de rupere variază proporțional cu gradul de precomprimare (fig.5.2)

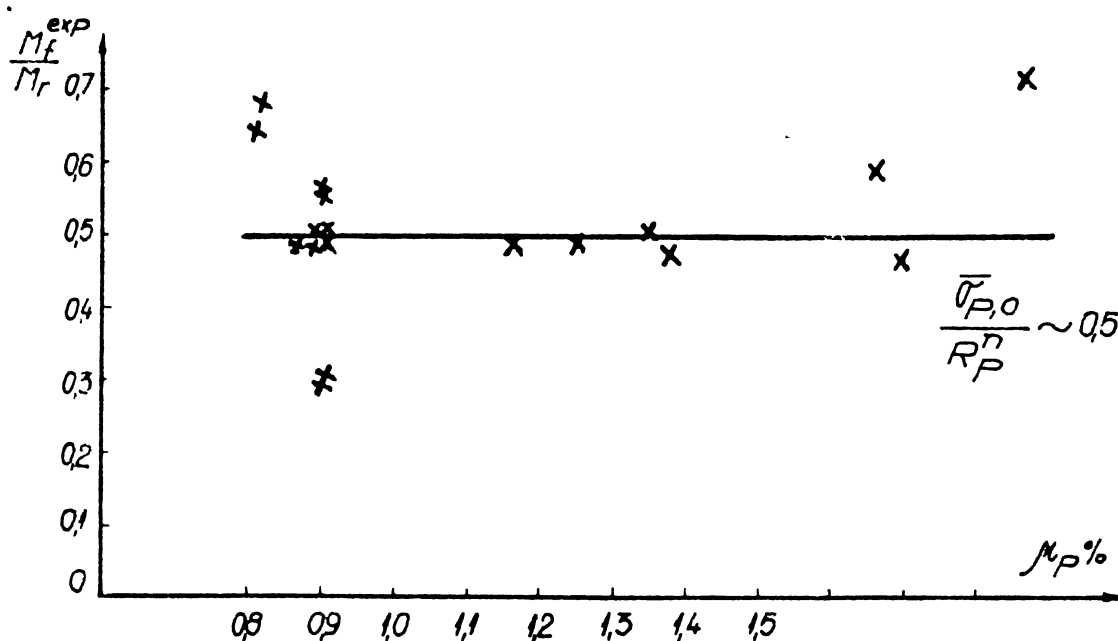


Fig. 5.1. Variația M_f^{exp} cu procentul de armare.

Pentru grade de precomprimare variind de la 0,2 la 0,8, valoarea raportului M_f / M_r (valori experimentale) variază între 0,2 și 0,7. Trasînd prin puncte dreapta experimentală care înfășoară valorile rezultate s-a obținut o relație de dependență simplă, avînd forma:

$$\frac{M_f}{M_r} = 0,9 \frac{\bar{\sigma}_{p0}}{R_p^n} \quad (5.1)$$

Pentru acelaș grad de precomprimare și aceeași armare transversală nu se constată vreo influență a tipului de toron asupra raportului M_f^{exp} / M_r .

Redeschiderea fisurilor s-a observat la trepte reprezentînd 0,09-0,48 M_r .

Rezultatele obținute sînt în concordanță cu ale altor autori /116/.

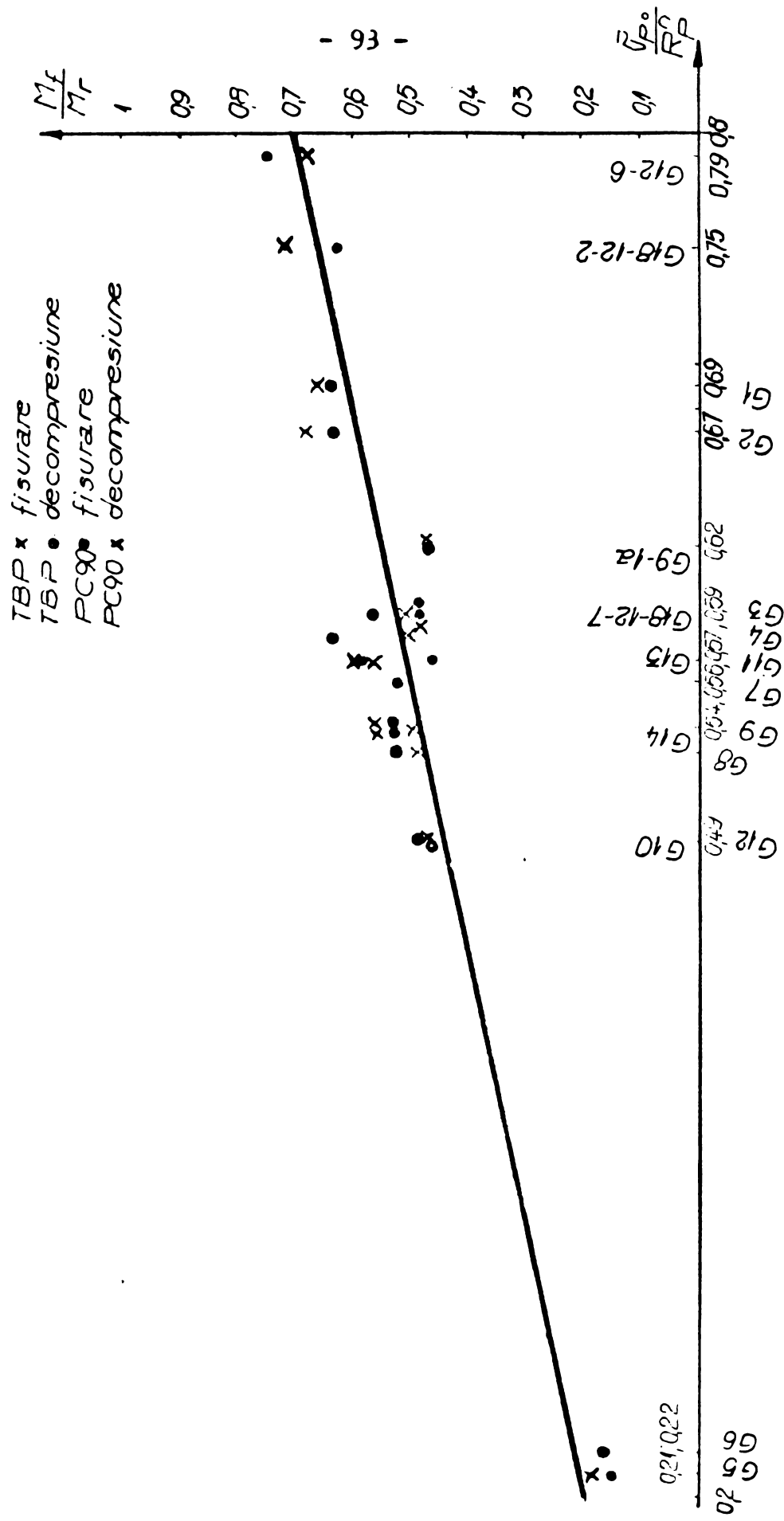
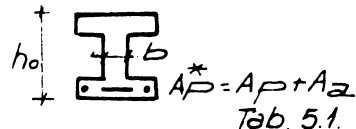


Fig.3.2. Variația raportului $\frac{M_f}{M_r}$ cu gradul de precomprimare

APARIȚIA FISURILOR NORMALE



Grinda	Armătură tensi- onată	A* [cm ²]	Dimen- siuni [cm]		10 M _{ap}	R _t [daN [cm ²]	M _f ^{exp} 10 ⁵ daN cm	M ₀ ^g 10 ⁵ daN cm	STAS M _{f1} 10 ⁵ daN cm	CAER M _{f2} 10 ⁵ daN cm	M _f [*] 10 ⁵ daN cm	M _f ^{exp} M _{f1}	M _f ^{exp} M _{f2}	M _f ^{exp} M _f [*]	
			b	h ₀											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
G1	24TB ₉	11,99	17,0	85,5	0,082	26,8	117,60	85,74	119,71	112,79	118,95	0,98	1,04	0,98	
G2			16,6	85,5	0,084	26,05	129,75	85,25	120,75	115,41	119,42	1,07	1,13	1,08	
G3			16,6	86,1	0,115	29,70	111,35	93,45	133,66	124,48	120,11	0,83	0,89	0,92	
G4			16,9	86	0,111	27,60	110,18	89,73	124,70	117,45	117,30	0,88	0,93	0,93	
G5			17,3	87	0,107	26,05	68,50	36,03	70,69	67,17	73,17	0,96	1,01	0,93	
G6	18TB ₁₂	16,11	16,6	86,9	0,112	27,3	63,25	33,29	67,89	65,22	63,16	0,93	0,96	1,00	
G7			16,9	85,5	0,111	26,5	110,50	85,88	121,06	140,02	120,68	0,91	0,96	0,91	
G8			17,2	87	0,108	26,5	105,70	83,24	116,11	109,62	116,30	0,91	0,96	0,91	
G9			12,0	87,5	0,153	28,8	111,34	81,71	117,26	107,41	117,20	0,94	1,03	0,94	
G10			10,7	88	0,171	28,8	112,37	80,92	115,70	109,29	116,78	0,97	1,02	0,96	
G11	8φ25	39,27	18,3	84,20	0,255	28,8	122,40	73,74	113,61	107,25	120,42	1,07	1,14	1,01	
G12	PC90		17,4	86,55	0,261	28,0	99,08	76,45	114,25	107,86	121,62	0,86	0,91	0,81	
G13	18TB ₁₂	16,11	17,2	87,10	0,108	24,8	122,42	92,59	124,84	117,32	125,98	0,98	1,04	0,97	
G14			17,5	87,30	0,105	26,05	121,89	85,82	119,70	112,83	119,62	1,01	1,08	1,01	
G12-6	4φ25	19,64	12,5	94,5	0,166	31,9	73,38	46,34	59,36	59,36	68,65	1,17	1,23	1,06	
G18-12-2	9φ25	44,18	10,0	150,25	0,294	30,8	317,40	283,98	266,02	266,02	304,59	1,11	1,19	1,04	
G18-12-7	TB ₁₂	21,60	12,0	194	0,093	30,2	401,96	430,08	407,27	407,27	432,97	0,93	0,98	0,92	
G9		2506	16,3	77,9	0,197	28,04	188,72	173,99	160,83	160,83	179,34	1,06	1,14	1,03	
G'3			6	34			27,8	9,07	6,49	8,61	8,07	8,49	1,05	1,12	1,06
G7			6	34			29,9	9,78	6,69	8,96	8,42	8,83	1,09	1,16	1,10
G8			6	34			29,9	9,90	6,44	8,72	8,40	8,58	1,135	1,18	1,15
G9			6	34			29,0	10,40	6,49	8,70	8,16	8,65	1,195	1,27	1,20
G10			6	34	0,31		29,0	9,90	6,50	8,71	7,97	8,58	1,135	1,24	1,15
G13		2685	6	34			29,8	9,66	6,30	8,57	8,05	8,42	1,125	1,20	1,14
G14			6	34			29,8	9,66	6,21	8,48	7,97	8,32	1,14	1,21	1,16
G15			6	34			28,8	9,40	6,21	8,48	7,97	8,26	1,11	1,18	1,13
G20			6	34			30,0	7,52	5,06	7,35	6,94	7,14	1,025	1,09	1,05
G31			12	34			23,7	8,12	5,89	8,07	7,60	7,56	1,00	1,07	1,07
G33			12	34	0,066		25,75	7,76	5,96	8,33	7,86	7,75	0,932	0,99	1,00
G35			12	34			26,70	8,12	5,35	7,81	7,38	7,18	1,04	1,10	1,13
G41			12	34			32,60	8,62	5,89	8,89	8,42	8,10	0,972	1,05	1,06
G45	2TB ₁₂	4,33	12	34	0,106		29,90	6,17	4,12	6,69	6,29	6,03	0,923	0,98	1,01
G46	1φ18 PC90		12	34			27,90	6,12	4,05	6,62	6,29	5,96	0,925	0,97	1,02
G47	3TB ₁₂	7,765	12	34			34,70	7,62	6,22	9,41	8,91	8,97	0,81	0,86	0,85
G48	2φ18		12	34			34,70	8,85	6,42	9,61	9,09	9,69	0,922	0,97	0,91
G49	PC90		12	34	0,19		26,96	7,62	6,16	9,64	9,14	8,35	0,883	0,83	0,91
G50			12	34			26,96	7,60	5,98	8,46	7,98	8,16	0,905	0,95	0,93
G51			12	34			35,0	8,20	6,22	9,42	8,92	9,00	0,870	0,92	0,91
G52			12	34			35,0	8,32	5,96	9,18	8,70	8,73	0,908	0,95	0,95
G57	1TB ₁₂	4,915	12	34	0,12		29,10	3,62	2,22	4,90	4,73	4,31	0,74	0,76	0,84
G58	2φ16		12	34			29,10	3,14	2,22	4,90	4,73	4,31	0,64	0,66	0,73
G61	PC90		6	34	0,24		28,50	4,02	2,23	4,40	4,25	4,41	0,915	0,94	0,91
G63			6	34			30,20	7,07	4,33	6,63	6,31	6,53	1,065	1,12	1,08
G64	2TB ₁₂ PC90	3,80	6	34	0,486		30,20	7,07	5,01	7,31	6,94	7,34	0,965	1,02	0,96

In tab.5.1 sînt prezentate valorile experimentale și cele calculate ale momentului de fisurare pentru 44 elemente din care 18 încercate la I.P.Iași, după cum urmează : în col 8 momentul experimental de apariție al fisurilor, în col.10, momentul M_{f1} calculat cu formula 2.2.4, iar în coloana 11, momentul M_{f2} , calculat cu formula 2.2.7, pentru a ține cont de distribuția eforturilor din zona comprimată de beton (distribuție trapezoidală).

Modul de exprimare a aportului betonului întins prin termenul $W_f R_t$ din relațiile 2.2.4 și 2.2.7 nu este în concordanță cu fenomenul fizic, deoarece rezistența la întindere a betonului R_t este acea care suportă variația diversilor parametri și nu modulul de rezistență W_0 .

Pe baza rezultatelor obținute pe 44 de grinzi din beton precomprimat greu și 24 de grinzi de beton ușor de granolit, precomprimate cu toroane, avînd și armătură pasivă, comentate în lucrarea /109/ se propune pentru calculul momentului de apariție a fisurilor formula 2.2.10 :

$$M_f^X = W_0 R_t^X + M_0^B$$

M_0^B se calculează cu relația 2.2.5, iar R_t^X , rezistența aparentă a betonului la întindere se exprimă funcție de principalii parametri care influențează apariția fisurilor: calitățile de aderență ale armăturilor, prezența armăturii netensionate, intensitatea precomprimării (prin raportul $\frac{\bar{\sigma}_{p0}}{R_p}$) și procentul de armare longitudinal (μ_{ap}).

$$R_t^X = (k + 10 \mu_{ap}) R_t + 0,1 \sigma_{bp}$$

Coefficientul k este 1,1 pentru toroane, 1,3 pentru bare groase PC 90 și 0,8 pentru fascicule.

μ_{ap} este procentul de armare longitudinal al armăturii întinse, care se exprimă funcție de cantitatea totală de armă-

tură $\frac{A_p + A_a}{b h_0} a$, A_a fiind armătura netensionată din zona întinsă.

Pentru rezistența la întindere a betonului R_t s-a considerat valoarea prevăzută în STAS 10107/0-1976, calculată din rezistența la compresiune.

Valorile forței de precomprimare în faza finală, adică la încercare, notată cu N_0 s-a obținut prin evaluarea tuturor pierderilor de tensiuni conform /104/.

Compararea valorilor obținute prin experimentări cu a celor rezultate prin calcul a condus la concluzia că prevederile din normativul citat /104/ privitor la calculul pierderilor de tensiuni sînt juste.

Analiza raportului M_f^{exp} / M_f^{calc} , valori înscrise în col 13, 14 și 15 ale tab.5.1. scoate în evidență următoarele:

- raportul $M_f^{exp} / M_{f1}^{calc}$ pentru cele 44 grinzi are valori cuprinse între 0,64 și 1,19 cu o medie de 0,977, ceea ce arată că probabilitate de apariție a fisurilor normale este mai mare decît cea acceptată.

Valorile cele mai scăzute (0,64...0,88) se înregistrează la grinzile care pe lîngă armătura tensionată au și armătură pasivă (G_{47} , G_{64}), ceea ce arată că relația 2.2.4 nu exprimă corect influența anumitor parametri,

- utilizînd pentru calculul lui M_f relația 2.2.7 unde r_s este redus cu 20%, rezultă pentru M_f^{exp} / M_{f2} valori mai acoperitoare, cuprinse între 0,66 - 1,25, cu o valoare medie 1,03.

Reducerea distanței r_s cu 20% pentru a ține cont de distribuția trapezoidală a eforturilor în betonul comprimat nu este justificată, deoarece în exploatare, eforturile unitare în beton nu depășesc 0,6-0,65 R_c , fiind în domeniul comportării elastice a betonului,

- calculul momentului încovoietor de apariție a fisurilor

cu ajutorul relației propuse (2.2.10) conduce la valori ale raportului M_f^{exp} / M_f^x cuprinse între 0,91 și 1,20, cu o medie de 0,996...1. Valori subunitare ale acestui raport s-au înregistrat la grinzile cu armătură transversală sub forma de etrieri redusă, procentul de armare $\mu_t \leq 0,25\%$, ceea ce pare să demonstreze o anumită influență a acestei armături asupra fisurării.

Verificările experimentale pe cele 44 de grinzi de beton precomprimat cu bare groase PC 90 și toroane TBP precum și pe 24 de elemente de beton ușor de granulat precomprimate, au condus la valori de calcul apropiate, dar acoperitoare față de valorile experimentale.

5.2. Starea limită de deschidere a fisurilor

5.2.1. Stabilizarea fisurilor

Evoluția tabloului de fisurare a elementelor experimentale este prezentată în anexă (A.I.1...A.I.59).

Teoriile de fisurare acceptă o situație stabilizată a fisurilor, care se produce la elementele de beton precomprimat la trepte superioare deschiderii de 0,1 mm.

Creșterea încărcării pînă la trepte corespunzătoare deschiderii fisurilor de 0,2 mm, conduce la o micșorare a distanței dintre fisuri cu 15 - 20%.

Stabilizarea fisurilor depinde ca și în cazul elementelor de beton armat /22/ de valoarea procentului de armare : cu creșterea procentului de armare crește diferența de moment de la stabilizarea epurei de fisuri pînă la rupere.

Analizînd rezultatele obținute la încercarea unor grinzi de 40 cm înălțime /67/, se constată că nu există vreo influență a factorului de scară în ceea ce privește raportul M_f^{stab} / M_f ; la grinzile de 1 m înălțime, care fac obiectul pre-

zentei lucrări împrăștierea este mai mică.

În tab.5.5 sînt prezentate rapoartele experimentale între momentul de stabilizare al fisurilor și momentul de fisurare (col.19) : variația este cuprinsă între 1,13 ...1,567, pentru elementele armate cu toron TBP și 1,55...1,63 pentru cazul armării cu bare groase PC 90. O valoare mult mai mare s-a obținut la elementul G 91a armat cu armătură transversală sub formă de carcasa și la care stabilizarea s-a produs în preajma ruperii.

Dar, mai întîi ar trebui să se definească acest moment de stabilizare ; el reprezintă valoarea momentului pînă la care se formează întreg spectrul de fisuri, evoluția tabloului de fisurare în zona de moment constant fiind marcată în continuare numai de dezvoltarea pe înălțime și creșterea deschiderii fisurilor deja existente.

5.2.2. Distanța dintre fisuri

Așa cum s-a arătat în cap.2.3. pentru elementele de beton precomprimat care lucrează în exploatare în regim fisurat se pune problema limitării stricte a deschiderilor de fisuri, sub valori maxime prescrise, în vederea păstrării durabilității și în general a siguranței sistemului.

Pentru elementele experimentale studiate s-a dedus momentul de exploatare din momentul de rupere teoretic, determinat cu rezistențele de calcul ale materialelor, conform prevederii STAS 10107/0-1976, valorile fiind prezentate în tab.5.4.

Primul factor care a fost analizat este distanța dintre fisuri. Pentru aceasta în tab.1 și tab.2 din Anexă sînt prezentate valorile experimentale ale distanțelor dintre fisuri, prelucrate statistic, pentru un număr de 71 elemente.

Prelucrarea s-a făcut cu un program la mașina Olivetti.

DISTANȚA DINTRE FISURI PENTRU BRINZILE DE 92 m

Tab. 52

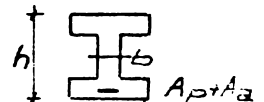
Grin- da	Grad pre- compr- mare % $\frac{\Delta L}{L_0}$	λ_f exp km mediu	Etr/m	a cm	$\lambda_f = 1,5c + 16 \frac{\sigma}{\mu}$ [FIP-CEB]				$\lambda_f = \beta_f A b t l_u$ (STAS 10107-86)				Valori relative				
					c cm	σ cm	Abt [cm ²]	μ %	$16 \frac{d}{\mu}$	λ_f (cm)	β_f	Abt [cm ²]	μ	λ_{f2} (cm)	$\frac{\lambda_{exp}}{a}$	$\frac{\lambda_{exp}}{\lambda_{f1}}$	$\frac{\lambda_{exp}}{\lambda_{f2}}$
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15	16	17	18
G1	0,69	2185	5,48	20	4,55	6,82	4212	2,81	5,12	11,94	0,675	2205,7	67,9	2192	1,09	1,83	0,997
G2	0,67	2787	3,46	33	4,55	6,82	4107	2,87	5,02	11,84	0,68	2179,6	67,9	2182	0,93	2,35	1,277
G3	0,69	2405	4,548	22,2	3,8	5,7	4047	3,98	4,82	10,52	0,687	2219,49	67,8	22,49	1,08	2,28	1,07
G4	0,58	4855	5,5412	18,2	3,8	5,7	4252	3,77	5,09	10,79	0,677	2159,55	67,8	21,66	1,02	1,72	0,86
G5	0,22	2005	4,548	22,2	3,8	5,7	4415	3,65	5,26	10,96	0,667	2411,05	67,8	23,72	0,90	1,83	0,85
G6	0,21	1565	5,5412	18,2	3,8	5,7	4673	3,85	4,99	10,69	0,68	2159,42	67,8	21,66	0,86	1,46	0,72
G7	0,56	2027	4,548	22,2	3,8	5,7	4248	3,79	5,06	10,76	0,677	2186,37	67,8	21,83	0,91	1,88	0,93
G8	0,53	2056	4,548	22,2	3,8	5,7	4343	3,71	5,17	10,87	0,67	2171,22	67,8	21,46	0,93	1,90	0,96
G9	0,54	2428	4,548	22,2	8,59	12,88	300	5,37	3,57	16,45	0,78	1869	67,8	21,50	1,09	1,47	1,13
G10	0,49	1809	5,5412	18,2	7,60	11,4	2675	6,02	3,19	14,59	0,827	1762,89	67,8	21,50	0,99	1,34	0,84
G11	0,57	2068	5,5412	18,2	10,45	15,67	4575	8,58	4,68	20,33	0,656	2154,15	62,8	22,50	1,14	1,01	0,92
G12	0,49	2337	4,548	22,2	10,25	15,37	4384	8,95	4,47	19,84	0,66	2087,08	62,8	21,93	1,05	1,17	1,06
G13	0,57	1264	5,5412	18,2	7,75	11,62	430	3,75	5,12	16,74	0,67	2189,72	67,8	21,60	0,69	0,75	0,59
G14	0,54	2255	5,5412	18,2	8,2	12,30	4398	3,66	5,24	17,54	0,66	2245,75	67,8	21,82	1,24	1,28	1,03
G125	0,79	11,74	variabil	-	3,75	5,62	34375	5,71	7	12,62	0,48	1085,625	31,40	15,98	-	0,93	0,73
G128	0,75	12,65	variabil	-	4,75	7,12	43750	10,1	3,96	11,08	0,7	1604,3	70,65	15,89	-	1,14	0,80
G127	0,59	1925	variabil	-	4,5	6,75	630	3,43	5,60	12,35	0,63	2651,5	90,432	18,47	-	1,56	1,04
G918	0,62	13,07	variabil	-	3,4	5,1	4575	5,48	3,50	8,6	0,89	2085,68	106,50	17,59	-	1,52	0,74

Distanța dintre fisuri pentru grinzile de 4,9 m

Tabel 5.3.

Grin da	Dimensi- uni geom trice b, h, c (cm)	A _{a,p} [cm ²]	A _{bt} [cm ²]	μ _{ap} %	1,5 c	16 $\frac{d}{\mu_{ap}}$	calc λ _f	exp λ _f	$\frac{\lambda_f^{exp}}{\lambda_f^{calc}}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
G3	b=6cm h=40cm c=5,4cm	A _a =0 A _p =2685	60	4,47	8,1	4,29	12,39	19,71	1,59	
G7			60	4,47	8,1	4,29	12,39	21,0	1,69	
G8			60	4,47	8,1	4,29	12,39	18	1,45	
G9			60	4,47	8,1	4,29	12,39			
G10			60	4,47	8,1	4,29	12,39	18,80	1,51	
G13			60	4,47	8,1	4,29	—	—	—	
G14			60	4,47	8,1	4,29	—	—	—	
G15			60	4,47	8,1	4,29	—	—	—	
G20			60	4,47	8,1	4,29	12,39	25,20	2,03	
G31			60	4,47	8,1	4,29	12,39	15,90	1,28	
G33			60	4,47	8,1	4,29	—	—	—	
G35			60	4,47	8,1	4,29	12,39	23,71	1,91	
G41			60	4,47	8,1	4,29	12,39	22	1,77	
G45			4,33	120	3,60	8,1	8,0	16,10	13,42	0,83
G46				120	3,60	8,1	8,0	16,10	10,40	0,65
G47			7,765	120	6,47	8,1	4,45	12,55	13,71	1,09
G48	120	6,47		8,1	4,45	12,55	14,57	1,16		
G49	120	6,47		8,1	4,45	12,55	18,40	1,46		
G50	120	6,47		8,1	4,45	12,55	14,40	1,15		
G51	120	6,47		8,1	4,45	12,55	14,88	1,18		
G52	120	6,47		8,1	4,45	12,55	12,40	0,99		
G57	4,915	120	4,09	8,1	6,26	14,36	12,43	0,87		
G58		120	4,09	8,1	6,26	14,36	12,47	0,87		
G61		60	8,19	8,1	3,13	11,23	13,65	1,21		
G63	60	8,19	8,1	3,13	11,23	13,69	1,22			
G64	3,80	60	6,33	8,1	4,04	12,14	22,36	1,84		

$$\lambda_f = \left(\xi_1 c + \xi_2 \frac{d}{\mu_{ap}} \right) \text{ (Recomandări FIP-CEB)}$$



$$\xi_1 = 1,5; \xi_2 = 1,6; d[\text{cm}] = \text{diam. max}; \mu_{ap} = \frac{100 A_{ap}}{A_{6t}}; A_{6t} = 0,25 b h; A_{ap} = A_a + A_p$$

Se constată că coeficienții de variație sînt destul de mari 14-45%, comparabili ca mărime și împrăștiere cu cei ai rezistențelor la întindere ale betonului.

Astfel s-au putut determina distanțele medii experimentale și compara cu valorile teoretice, calculate după diferitele normative și anume:

- Recomandările internaționale FIP-CEB care folosesc relația lineară:

$$\lambda_f = \xi_1 c + \xi_2 d/\mu \quad (2.3.39)$$

- Normele românești STAS 10107/0-76:

$$\lambda_f = \beta_f \frac{A}{u} \quad (2.3.41)$$

în care : $\beta_f = 0,4 + 0,3 \mu_p/d$ pentru elementele din clasa II-a de fisurabilitate (2.3.43)

iar $\beta_f = 0,35 + 0,3 \mu_p/d$ pentru elementele armate cu bare groase (2.3.44)

Rezultatele sînt înscrise în tab.5.2 și 5.3.

S-a considerat de asemenea situația cînd distanța teoretică probabilă dintre fisuri este chiar distanța dintre etrieri notată cu a.

Încă din timpul încercărilor s-a putut observa o influență deosebită a armăturii transversale asupra distanței dintre fisuri, prezența etrierilor condiționînd apariția fisurilor într-o secțiune sau alta. Etrierii de diametre mai mari sau cei din bare cu profil periodic au o mai mare influență asupra locului fisurii, aceasta se explică prin antrenarea betonului din dinții profilelor în procesul încărcării. Această observație trebuie înțeleasă în sensul că și etrierii colaborează alături de aderență, de rezistența betonului la întindere și de capacitatea armăturii de a transfera eforturi betonului, la realizarea unui anumit spectru de fisuri.

Aceste observații au permis să se stabilească că prevederea standardului românesc potrivit căreia distanța dintre fisuri calculată poate fi considerată chiar distanța dintre etrieri "a" este pe deplin justificată experimental.

În tab.5.2 sînt calculate în col.10 distanțele dintre fisuri după formula 2.3.39, iar în col.14 după formula 2.3.41.

Coloanele 15, 16,17 dau valorile relative ale raporturilor dintre distanțele experimentale medii dintre fisuri și cele calculate, folosind : în col.15 chiar distanța dintre etrieri, în col.16 formula 2.3.39 și în col.17 formula 2.3.49.

Se observă că rezultatele obținute folosind calculul conf.STAS 10107/0-76, cu considerarea coeficienților β_f și ψ de la punctul 2.3.43 și 2.3.44 dă o medie a rapoartelor de 0,92

Luarea în considerație a efectului forței de precompresie face ca acest raport să devină 0,985, în timp ce folosirea formulei 2.3.39. dă o medie a rapoartelor $\lambda_f^{exp}/\lambda_f^{calc}$ de 1,52. Cel mai omogen rezultat și cel mai simplu calcul se obține considerînd distanța dintre fisuri egală cu distanța dintre etrieri, media rapoartelor fiind 0,99.

Plecînd de la aceste observații se propune ca la pct. 5.5.8.1 din STAS 10107/0-1976 să se precizeze că pentru armături realizate din SBP, SBPA și TBP preîntinse și postîntinse la care se consideră $\lambda_f = a$, distanța uzuală dintre etrieri să fie cuprinsă între limitele 15 . . .25 cm.

În tab. 5.3 sînt prezentate distanțele experimentale și cele calculate dintre fisuri, pentru grinzile de 4,9m.

Se observă că formula CEB-FIP dă o mare împrăștiere între distanțele teoretice și cele calculate, pentru cazul armării cu toroane (lucru justificabil, întrucît Recomandările se referă la bare cu profil periodic). Ea este valabilă la elementele armate cu toroane și armătură pasivă de tip PC 90,

dând o medie a valorilor raportului $\lambda_f^{\text{exp}} / \lambda_f^{\text{calc}} = 1,11$ (în timp ce pentru toroane această medie este 1,65). Se remarcă o micșorare a dispersiei pentru elementele care au armătură pasivă, comparativ cu celelalte, deci o restrângere a domeniului de variație. De astfel este cunoscut că armătura pasivă controlează fisurarea și permite realizarea unei secțiuni transversale raționale din punct de vedere a fisurării.

Un alt aspect important care a fost analizat este influența gradului de precomprimare asupra distanței dintre fisuri. Programul experimental cuprinzând elemente cu grade de precomprimare variind de la 0,2 la 0,8 (s-a denumit grad de precomprimare raportul dintre efortul final de calcul din armătura pretensionată și rezistența normată a acesteia, adică $\frac{\sigma_{pe}}{R_p}$) a permis formularea unei opinii privind acest aspect, precum și explicarea rezultatelor obținute de alți autori.

În fig.5.3 este prezentată grafic variația distanțelor dintre fisuri cu gradul de precomprimare : s-au trasat valorile experimentale medii, cu linie continuă, valorile experimentale maxime și minime cu linie întreruptă, precum și valorile calculate cu formulele 2.3.39, 2.3.41 și $\lambda_f = a$.

În zona de moment constant a grinzilor încovoiate din beton precomprimat distanța dintre fisuri nu variază cu gradul de precomprimare.

Aceste rezultate obținute pe elemente de înălțime mare și deschidere importantă (elemente reale), care au armătura dispersată în talpa inferioară, unele chiar și pe înălțimea grinzii nu sînt în concordanță cu rezultatele obținute în lucrarea /96/, rezultate prezentate grafic în fig.5.4, în care se observă o tendință de creștere a distanței dintre eșuri cu gradul de precomprimare.

Rezultatele raportate de Fons și Pinglot la Congresul

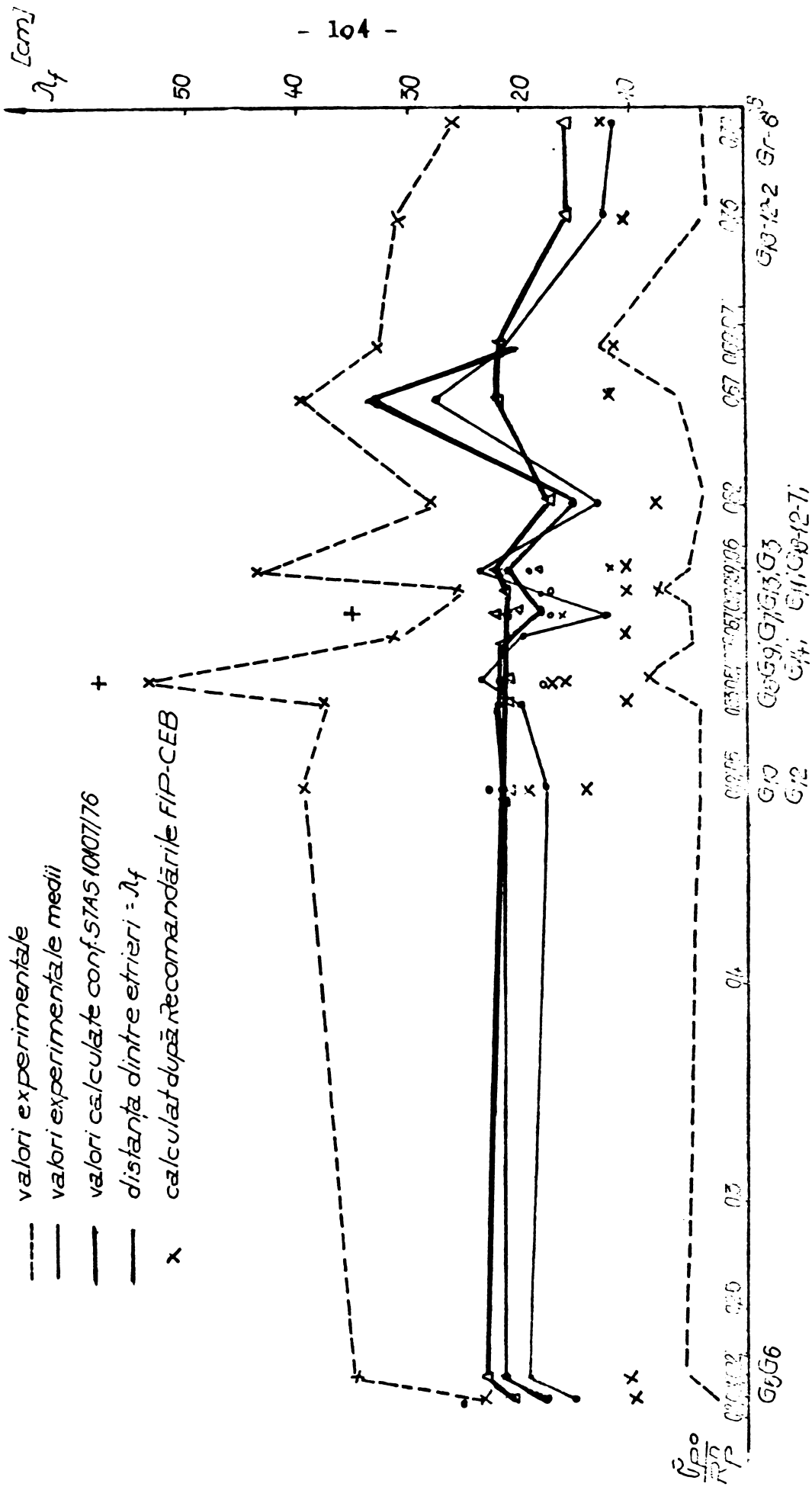


Fig. 53. Distanța dintre fisuri λ_f funcție de gradul de procar primare.

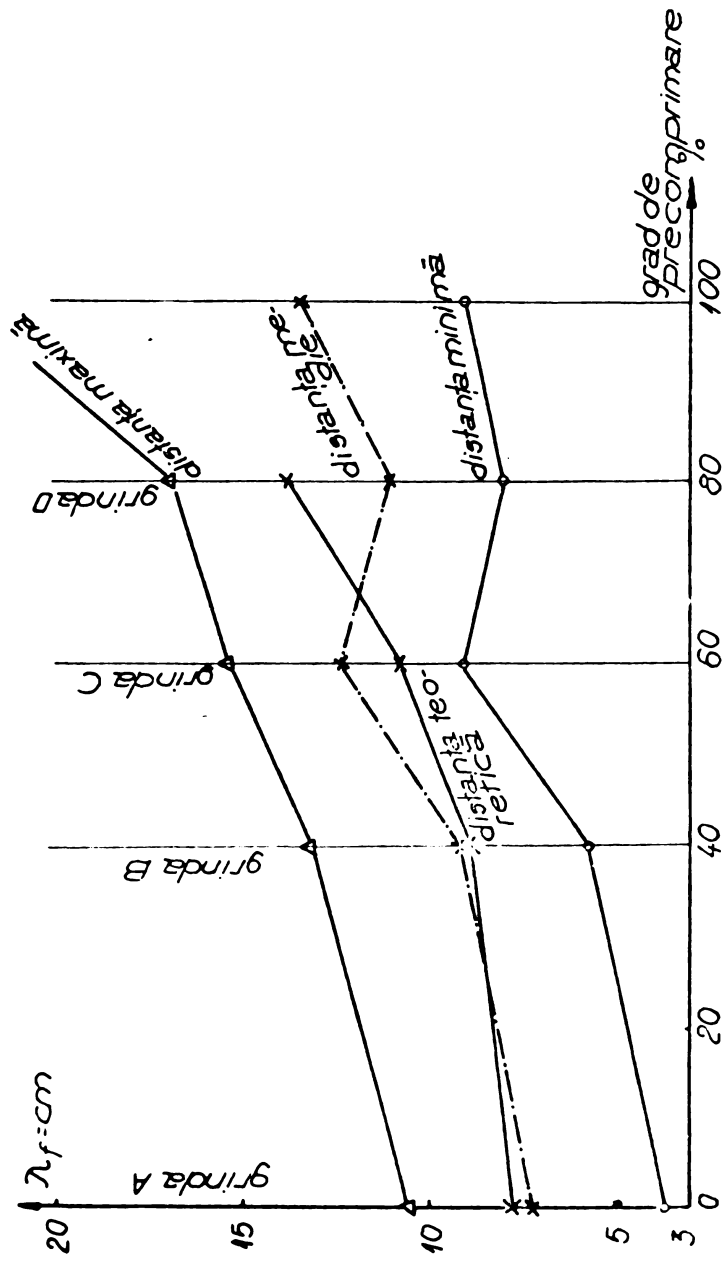


Fig 54. Variația distanței dintre fisuri după PONS și PINGLOT

FIP - New York 1974 se refereau însă la încercarea unor grinzi de beton precomprimat cu armătură postîntinsă.

Ori este lucru ştiut că la elementele postîntinse armăturile sînt concentrate, au secţiuni mari şi diametre mari, această concentrare creşte cu gradul de precomprimare. Creşterea distanţelor dintre fisuri şi a deschiderii lor indică o conlucrare efectivă mai scăzută între armătură şi beton.

Fisurarea este condiţionată de :

- o multitudine de factori care ţin de caracteristicile betonului : rezistenţă, defecte de structură, contracţie (dacă acţionează sau nu), curgere lentă,

- o serie de factori care ţin de caracteristicile oţelului : calitatea, caracteristici de aderenţă, cantitatea şi modul de dispersare , existenţa sau absenţa mecanismului de aderenţă între beton şi armătură,

La suprafaţa de contact între armătura pretensionată şi beton apar în timpul întăririi o serie de defecte, micropori, discontinuităţi incluse în dinţii de beton ce se formează mai mult la barele groase şi mai puţin la toroane.

În timpul transferului, aceste discontinuităţi sufăr un fenomen parţial de închidere, structura intimă a materialului antrenată de armătura activă se compactează.

La grinzi care au fost păstrate maimultă vreme (2 ani) înainte de a fi încercate, s-a observat o anumită casanţă, momentul de apariţie a fisurilor fiind mai mic decît a elementelor încercate la vîrstă tîndră, datorită probabil curgerii lente.

Elementele experimentale prezentate în această lucrare aveau în momentul încercării aproximativ aceeaşi vîrstă, de aceea nu s-a studiat influenţa factorului timp asupra momentului de apariţie a fisurilor.

Cu creșterea încărcărilor, structura se distruge treptat însumând statistic toate defectele ce pot apărea pe direcția eforturilor preponderente.

La cele 18 elemente experimentale a căror comportare s-a studiat în cadrul lucrării, mecanismul de aderență, cu toate componentele sale, funcționează pînă la pierderea capacității de rezistență, cu perturbări mai mari sau mai mici în dreptul fisurilor ; acest mecanism face ca fisurarea să fie constrinsă, iar stabilizarea fisurilor să se facă independent de gradul de precomprimare.

Prezența armăturii pasive pe secțiune, la grinzile de 4,2 m îmbunătățește spectrul de fisuri, fisurile fiind mai dese și de deschideri mai reduse.

La elementul experimental codificat G 91a, distanța experimentală medie dintre fisuri are o valoare redusă, datorită armării transversale raționale, armare realizată cu carcasa, care face posibilă menținerea unei conlucrări puternice între armătura pretensionată (28 TBP 12) și beton.

Toate aceste observații și explicații sînt valabile în zonele de moment preponderent, în timp ce pe lungimea de transmitere, la capetele grinzilor, gradul de precomprimare are o influență necontestată.

La 24 de elemente încovoiate din beton de granolit, armate cu toroane și armătura pasivă /109/, rezultatele obținute concordă cu cele raportate de Pons și Pinglot /96/.

Aceasta demonstrează că la betonul de granolit, cu creșterea gradului de precomprimare se produc în zona de contact, în timpul transferului, distrugerii locale mai accentuate care conduc la discontinuități ale legăturii beton-oțel.

Sub acțiunea încărcărilor, aceste discontinuități mai pronunțate condiționează mărirea distanței dintre fisuri,

deci o scădere a conlucrării, cu toată prezența armăturii pasive pe secțiune.

Observații culese de-a lungul anilor în timpul încercărilor unor elemente de beton precomprimat, încercări efectuate în cadrul contractelor de cercetare științifică ori a colaborărilor cu diferite întreprinderi de construcții din țară, fac posibil să se aprecieze că primele fisuri care apar pe element (două, trei chiar patru) cu deschideri care ating uneori valoarea de 0,1 mm sînt fisuri întîmplătoare, care scot din lucru secțiunile slăbite, omogenizînd betonul dintre acestea.

Treptat, pe măsura creșterii încărcării, ia naștere spectrul de fisuri primar, condiționat de calitatea armăturii de a transmite betonului saltul de efort din dreptul secțiunii fisurate.

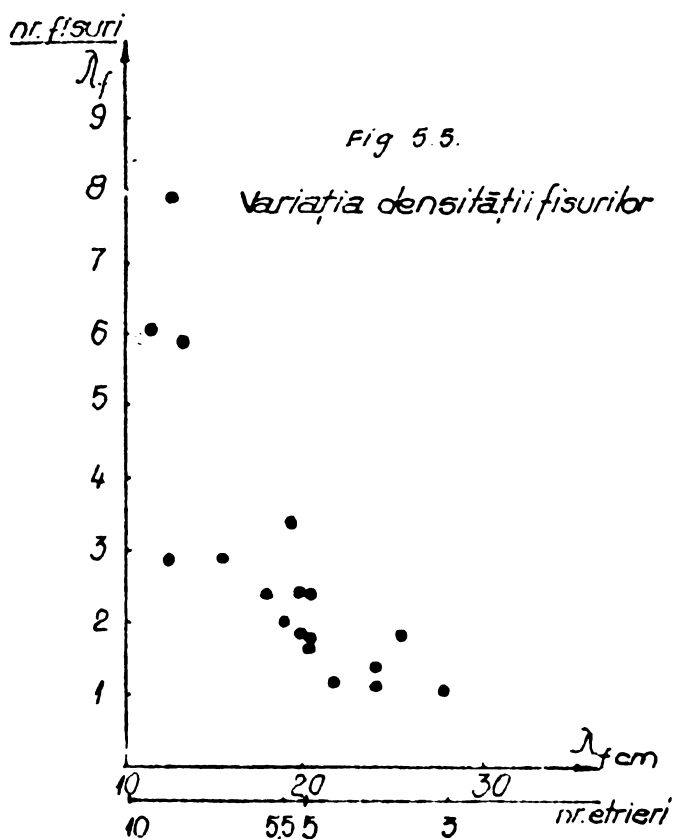
Pentru această treaptă a încărcării este important gradul de precomprimare și existența sau absența unei aderențe corespunzătoare.

În ipoteza unor discontinuități în funcția de legătură beton-armătură, dacă armătura este pretensionată la un efort înalt ea nu mai are posibilități să formeze noi fisuri, deoarece saltul din secțiunea fisurată este mai mic decît efortul capabil la întindere al betonului pe lungimea maximă de transmitere (corespunzătoare unei distanțe maxime dintre fisuri).

La elementele la care s-a asigurat o conlucrare corespunzătoare, armate cu bare cu profil periodic sau cu toroane și armătură pasivă, se formează în preajma ruperii o a treia categorie de fisuri zise secundare la distanțe mici între ele care exteriorizează forfecările pragurilor de beton din neregularitățile armăturilor, și antrenarea lor în mișcarea armăturilor.

În fig.5.5 este reprezentată grafic variația densității

fisurilor (înțelegînd prin aceasta numărul de fisuri pe unitate de lungime) cu distanța dintre fisuri și numărul etrierilor. Se observă o densitate mare în jurul valorii $\lambda_f = 20$ cm, pentru un număr de etrieri de 4 - 5,5 /m.



5.2.3. Deschiderea fisurilor

Un aspect deosebit de important care a fost urmărit la experimentarea celor 18 grinzi încercate a fost evoluția deschiderii fisurilor normale funcție de creșterea momentului încovoiator, valorile maxime și medii măsurate pentru aceste fisuri la diferite trepte de încărcare.

În tab.5.4 se prezintă, funcție de gradul de precompresie, rapoarte între momentele de calcul și momentele de rupere - col.3, între momentele de fisurare și momentele de rupere - col.4, între momentele de fisurare și cele corespunzătoare respectiv - deschiderilor medii de fisuri (0,1; 0,15; 0,2; 0,3 mm) și maxime - col.5...12. În coloanele 13...20 sînt calculate ra-

Rapoarte dintre momentele experimentale

Tab 5.4

Grindri.	$\frac{M_f}{M_R}$	$\frac{M_{f01}}{M_R}$	Deschideri medii de fisuri					Deschideri maxime de fisuri					Deschideri medii de					Deschideri maxime				
			$\frac{M_f}{M_{015}}$	$\frac{M_f}{M_{02}}$	$\frac{M_f}{M_{03}}$	$\frac{M_f}{M_{01}}$	$\frac{M_f}{M_{015}}$	$\frac{M_f}{M_{02}}$	$\frac{M_f}{M_{03}}$	$\frac{M_{01}}{M_f}$	$\frac{M_{015}}{M_f}$	$\frac{M_{02}}{M_f}$	$\frac{M_{03}}{M_f}$	$\frac{M_{01}}{M_f}$	$\frac{M_{015}}{M_f}$	$\frac{M_{02}}{M_f}$	$\frac{M_{03}}{M_f}$	$\frac{M_{01}}{M_f}$	$\frac{M_{015}}{M_f}$	$\frac{M_{02}}{M_f}$	$\frac{M_{03}}{M_f}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
G1	0,69	0,6	0,66	0,998	0,991	0,886	0,806	0,998	0,993	0,91	0,853	0,65	0,66	0,74	0,81	0,5	0,65	0,72	0,76			
G2	0,67	0,56	0,72	0,892	0,812	0,785	0,85	0,892	0,85	0,785	0,81	0,89	0,89	0,92	-	0,77	0,81	0,95	0,92			
G3	0,59	0,61	0,50	0,892	0,867	0,852	0,767	0,892	0,881	0,861	0,76	0,96	0,98	0,59	0,65	0,56	0,57	0,58	0,66			
G4	0,58	0,61	0,51	0,977	0,966	0,95	0,822	0,989	0,978	0,967	0,851	0,52	0,52	0,54	0,62	0,51	0,52	0,52	0,60			
G5	0,22	0,61	0,31	1,00	0,938	0,924	0,77	1,00	0,992	0,945	0,818	0,31	0,34	0,34	0,41	0,31	0,32	0,33	0,38			
G6	0,21	0,61	0,29	0,945	0,888	0,86	0,732	0,98	0,894	0,878	0,808	0,31	0,33	0,34	0,39	0,29	0,32	0,33	0,36			
G7	0,56	0,6	0,51	0,862	0,85	0,81	0,77	0,915	0,853	0,835	0,803	0,59	0,61	0,63	0,66	0,55	0,59	0,61	0,63			
G8	0,53	0,62	0,48	0,976	0,877	0,834	0,765	0,988	0,976	0,913	0,875	0,50	0,55	0,58	0,63	0,49	0,50	0,53	0,55			
G9	0,54	0,61	0,50	0,938	0,88	0,761	0,748	0,993	0,888	0,817	0,754	0,53	0,56	0,65	0,66	0,50	0,56	0,61	0,66			
G10	0,49	0,54	0,50	0,972	0,89	0,872	0,80	0,976	0,926	0,891	0,835	0,51	0,56	0,62	0,62	0,51	0,54	0,56	0,61			
G11	0,57	0,58	0,59	0,95	0,96	0,86	0,79	0,994	0,99	0,972	0,744	0,60	0,62	0,69	0,75	0,60	0,60	0,61	0,73			
G12	0,49	0,58	0,47	0,79	0,704	0,646	0,634	0,89	0,78	0,723	0,641	0,59	0,67	0,73	0,74	0,51	0,60	0,65	0,72			
G13	0,57	0,61	0,57	0,833	0,815	0,795	0,745	0,909	0,875	0,823	0,806	0,69	0,70	0,72	0,77	0,63	0,65	0,69	0,71			
G14	0,54	0,61	0,56	1	0,957	0,894	0,805	1,00	0,994	0,903	0,85	0,56	0,58	0,63	0,67	0,56	0,56	0,62	0,66			
G126	0,79	0,58	0,67	0,86	0,82	0,793	-	0,905	0,86	0,82	-	0,78	0,82	0,85	-	0,74	0,78	0,82	-			
G12-12	0,75	0,59	0,72	0,958	0,918	0,887	0,842	0,958	0,935	0,909	0,85	0,75	0,78	0,81	0,85	0,75	0,77	0,79	0,85			
G12-6	0,59	0,59	0,61	0,763	0,655	0,557	-	0,802	0,624	0,602	0,512	0,64	0,75	0,88	-	0,56	0,79	0,82	0,96			
G12-12	0,62	0,48	0,48	0,816	0,807	0,726	0,655	0,876	0,831	0,808	0,661	0,54	0,59	0,65	0,73	0,54	0,57	0,59	0,72			

Valori experimentale pentru deschideri medii de fisur

Tabela 5.5

Apariția fisurilor la $\sigma = 110 \frac{kgf}{cm^2}$	$d_f = 0,10 mm$			$d_f = 0,20 mm$			$d_f = 0,30 mm$									
	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ							
1	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
G1	439	117,6	0,10	44,5	119,55	0,16	50	132,6	0,24	55,35	145,85	0,33	50	132,6	1,15	
G2	46,6	129,75	0,05	58	159,96	0,25	60	165,22	0,30	—	—	—	58,5	161,28	1,24	
G3	690	111,55	0,11	80,4	128,45	0,16	82	139,85	0,22	91,6	145,10	0,27	89,5	142,10	1,27	
G4	405	110,19	0,06	41,5	112,68	0,15	42	113,93	0,20	43,7	118,18	0,25	60	146,43	1,33	
G5	24,5	68,50	0,10	24,5	73,45	0,19	26,8	74,20	0,26	32,7	88,95	0,35	40	107,2	1,56	
G6	22,9	63,25	0,02	24	67	0,11	25,7	71,25	0,18	26,6	73,50	0,21	31,8	82	1,296	
G7	29,5	110,50	0,02	34,6	128,1	0,14	36	133	0,21	37	136,50	0,27	39	143,5	1,28	
G8	39,5	105,70	0,07	40,5	108,25	0,15	45,5	120,75	0,30	48	127,0	0,35	52,5	138,25	1,19	
G9	42,0	111,34	0,09	45	118,84	0,13	48	126,34	0,17	56	146,34	0,25	57	148,84	1,31	
G10	42,5	112,37	0,065	43,8	115,62	0,12	48	126,18	0,20	49,1	128,87	0,26	53,8	140,52	1,567	
G11	40	122,40	0,05	46,6	123,90	0,16	48	127,40	0,17	54,6	142,4	0,23	59	157,9	1,63	
G12	36,5	99,08	0,02	47,25	125,20	0,13	53,5	140,83	0,20	58,5	153,33	0,27	59,8	156,68	1,55	
G13	33	122,42	0,035	40	146,92	0,13	41	150,42	0,25	42	153,92	0,30	45	164,42	1,580	
G14	76,5	121,89	0,15	80	127,14	0,20	86	136,14	0,21	92,5	146,89	0,33	95	149,62	1,227	
G15	14,75	73,56	0,04	13,9	85,26	0,12	14,55	89,5	0,15	15,3	92,56	0,22	—	—	—	
G16	15,45	51,670	0,02	16,25	53,25	0,10	17	54,666	0,19	17,67	59,80	0,25	18,6	376,86	0,41	—
G17	3,24	40,19	0,05	45,8	526,04	0,10	54,7	613,60	0,13	65,5	724,91	0,25	—	—	—	
G18	27,5	186,72	0,02	30,55	213,43	0,13	33	231,42	0,16	35,77	257	0,24	41	284,74	0,38	455,49

Observații: * unitățile pentru forțe și momente sînt aceleași ca în coloana 2 și 3



Valori experimentale pentru deschideri maxime de fisuri

Tabel 5.6.

Grupa	$\alpha_{f,1}^{max} = 0,10 \text{ mm}$				$\alpha_{f,1.5}^{max} = 0,15 \text{ mm}$				$\alpha_{f,2}^{max} = 0,2 \text{ mm}$				$\alpha_{f,0.5}^{max} = 0,5 \text{ mm}$				Nr. 10^3 de Meni
	$R_{t,1}^{max}$	$M_{0,1}^{max}$	$\alpha_{f,1}^{mediu}$	$R_{t,1.5}^{max}$	$M_{0,1.5}^{max}$	$\alpha_{f,1.5}^{mediu}$	$R_{t,2}^{max}$	$M_{0,2}^{max}$	$\alpha_{f,2}^{mediu}$	$R_{t,0.5}^{max}$	$M_{0,5}^{max}$	$\alpha_{f,0.5}^{mediu}$	$R_{t,0.5}^{max}$	$M_{0,5}^{max}$	$\alpha_{f,0.5}^{mediu}$	14	
1	2	5	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		180,1
G1	44	117,6	0,10	44,2	118,1	0,14	45,6	129,10	0,18	52	157,60	0,26	52	165,22	0,20	179,25	
G2	49,5	137,63	0,075	52,5	149,51	0,10	55,25	152,74	0,12	60	165,22	0,20	60	179,25	0,29	221,8	
G3	78	124,85	0,10	73	126,35	0,14	81	129,35	0,21	90	142,85	0,29	90	142,85	0,29	221,8	
G4	44	111,43	0,08	41,5	112,68	0,10	42	113,93	0,15	48,2	129,43	0,26	48,2	129,43	0,26	217	
G5	24,5	68,5	0,10	24,75	69,07	0,13	26,10	72,45	0,152	30,6	83,7	0,25	30,6	83,7	0,25	217	
G6	23	64,5	0,08	25,5	70,75	0,14	26	72	0,16	28,5	78,25	0,24	28,5	78,25	0,24	218,5	
G7	32,5	120,75	0,06	34,7	128,1	0,11	35,8	123,3	0,145	37,3	137,55	0,22	37,3	137,55	0,22	218	
G8	40	107	0,07	40,5	108,25	0,10	43,5	115,75	0,132	45,5	120,75	0,15	45,5	120,75	0,15	218	
G9	42,3	112,09	0,095	47,6	125,34	0,13	52	136,34	0,156	56,5	147,59	0,26	56,5	147,59	0,26	224	
G10	43,6	115,12	0,085	46,1	121,37	0,12	48	126,12	0,15	51,4	134,62	0,23	51,4	134,62	0,23	225	
G11	46,3	123,15	0,074	46,5	123,65	0,095	47,7	125,90	0,13	57,5	151,15	0,25	57,5	151,15	0,25	206	
G12	42,5	111,33	0,060	48	127,08	0,11	52,0	137,08	0,138	59	154,68	0,22	59	154,68	0,22	211	
G13	36,5	134,64	0,090	38	139,92	0,095	40,5	148,67	0,12	42	151,92	0,20	42	151,92	0,20	214	
G14	76,5	121,89	0,10	77	122,54	0,115	85	134,90	0,19	90,8	143,34	0,28	90,8	143,34	0,28	217	
G15	13,15	81,02	0,08	13,9	85,26	0,10	14,65	89,5	0,15	-	-	-	-	-	-	109,64	
G16	15,25	332,5	0,10	16,7	340,99	0,13	17,20	350,45	0,165	18,15	374,98	0,24	18,15	374,98	0,24	108,64	
G17	37,7-32	455,54	0,09	37,75	444,01	0,135	60,25	667,5	0,177	72,75	785,01	0,22	72,75	785,01	0,22	817	
G18	30,3	213,09	0,09	32	224,53	0,13	33,0	231,42	0,15	40,5	252,34	0,27	40,5	252,34	0,27	391,8	

OBSERVAȚII { $P \cdot 10^3$ [daN]
 $M \cdot 10^3$ [daN·cm]

parte dintre momentele corespunzătoare diferitelor deschideri de fisuri medii și maxime și momentul de rupere.

In tab.5.5 și 5.6 sînt prezentate, pentru programul experimental, valorile deschiderilor de fisuri de la apariție, pe trepte, și anume : pentru deschiderile medii -tab.5.5, pentru deschiderile maxime-tab.5.6, valorile caracteristice considerate fiind 0,1 mm, 0,15 mm, 0,2 mm, 0,3 mm.

In fig. 5.6-este prezentat grafic raportul dintre momentele de fisurare corespunzătoare deschiderilor medii de fisuri de 0,1 mm și momentele de rupere, cu gradul de precomprimare.

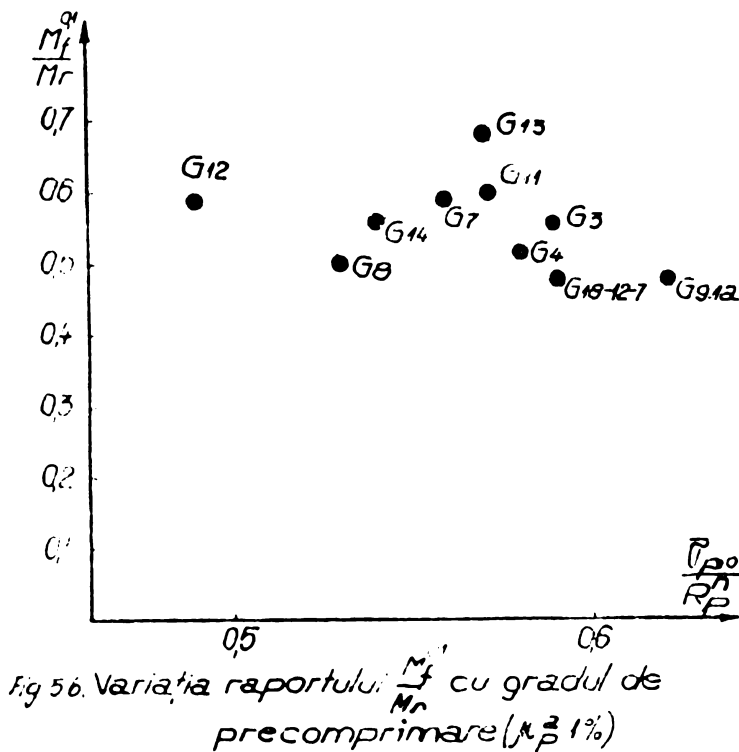


Fig 5.6. Variația raportului $\frac{M_f^{0.1}}{M_r}$ cu gradul de precomprimare ($\mu_p \approx 1\%$)

Pentru același procent de armare longitudinală nu se observă vreo influență a gradului de precomprimare asupra raportului de fisurare corespunzător unei deschideri medii de fisuri de 0,1 mm (Deschidere de cea mai mare semnificație la climentare în clasa II-a de fisurabilitate)

Crește și de moment ΔM_p și de efort $\Delta \sigma_p$

Tabel 5.7.

Grinda	Deschideri medii de fisuri						Deschideri maxime de fisuri											
	$\alpha_f = 0,10 \text{ mm}$		$\alpha_f = 0,15 \text{ mm}$		$\alpha_f = 0,2 \text{ mm}$		$\alpha_f = 0,3 \text{ mm}$		$\alpha_f = 0,10 \text{ mm}$		$\alpha_f = 0,15 \text{ mm}$		$\alpha_f = 0,20 \text{ mm}$		$\alpha_f = 0,30 \text{ mm}$			
	ΔM_p	$\Delta \sigma_p$	ΔM_p	$\Delta \sigma_p$	ΔM_p	$\Delta \sigma_p$	ΔM_p	$\Delta \sigma_p$	ΔM_p	$\Delta \sigma_p$	ΔM_p	$\Delta \sigma_p$	ΔM_p	$\Delta \sigma_p$	ΔM_p	$\Delta \sigma_p$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		
G1	1,0	107	1,75	1,87	1,60	1,709	2,925	3,125	1,0	107	1,5	1,87	1,25	1,335	2,10	2,243		
G2	3,11	3290	4,556	4,818	5,092	5,374	-	-	23,23	2457	3,11	3,290	38,34	4054	50,82	53,74		
G3	-	-	1,05	83	3,45	2,72	17,70	1396	-	-	-	-	1,95	154	15,45	12,18		
G4	-	-	-	-	-	-	10,43	827	-	-	-	-	-	-	5,93	4,70		
G5	2,1,20	1649	26,16	2034	26,9	2092	4,165	3240	2,12	1649	21,77	1693	25,15	1956	36,40	28,31		
G6	2,1,10	1649	25,35	1982	27,6	2157	40,60	3174	18,6	1454	24,85	1942	26,10	2040	32,35	25,29		
G7	14,0	1111	18,90	1500	22,4	1778	29,4	2333	6,65	528	14,0	1111	18,20	1445	2,45	18,61		
G8	-	-	6,35	496	12,6	984	23,85	1862	-	-	-	-	1,35	105	6,35	4,96		
G9	9,44	732	16,94	1314	36,94	2866	39,44	3060	2,69	209	15,94	1237	25,94	2090	38,18	29,63		
G10	8,62	669	19,12	1490	21,87	1697	33,62	2609	8,12	633	14,37	1115	19,12	1484	27,62	21,43		
G11	24,50	836	28,0	956	43,0	1468	55,5	1894	23,75	811	24,25	828	26,60	904	51,75	17,66		
G12	22,90	761	38,55	1281	51,03	1696	54,28	1804	11,03	367	24,78	824	34,78	1156	52,28	17,33		
G13	22,42	1750	25,93	2024	29,42	2297	39,92	3117	10,14	792	15,42	1204	24,17	1887	27,42	21,41		
G14	5,09	397	10,34	806	19,34	1508	29,09	2268	5,09	397	5,84	455	18,10	141	25,54	20,70		
G12-6	4,06	238	8,3	486	11,36	665	-	-	-	-	4,06	238	8,3	486	-	-		
G16-12	57,20	935	71,36	1166	84,0	1373	101,56	1660	57,2	935	65,63	1072	75,15	1228	99,69	1629		
G19-12	120,04	2988	20760	5167	31591	7863	-	-	49,54	1233	238,01	5924	261,51	6509	379,01	9434		
G9-12	27,43	1550	45,42	2567	71	4013	98,74	5581	27,09	1531	38,63	2183	45,42	2567	96,34	5445		

OBSERVAȚII $\Delta M_p \cdot 10^3$ [da.Ncm]
 $\Delta \sigma_p$ [da.N/cm²]

Deschiderea medie a fisurilor se calculează funcție de distanța dintre fisuri, de creșterea de efort din armătura pretensionată în dreptul secțiunii fisurate și de luarea în considerare sau nu a lucrului betonului întins pe distanța dintre fisuri (prin coeficientul de conlucrare).

În tab.5.7 s-au calculat creșterile de moment ΔM_p și de efort $\Delta \sigma_p$ pentru grinzile încercate.

Nu s-a sesizat vreo diferență între diferitele elemente experimentale în legătură cu aceste creșteri, vreo diferență din acest punct de vedere, dintre comportarea grinzilor armate cu toroane și cu bare groase; se menționează că elementele armate cu bare groase au folosit diametrul $\varnothing 25$ mm, care, așa cum este cunoscut nu prezintă performanțe deosebite de aderență

Luarea în considerare a lucrului betonului întins
dintre fisuri

Deschiderea fisurilor la nivelul armăturilor întinse se determină, așa cum s-a arătat în cap.2.3.3 din condiția ca suma alungirilor betonului întins pe porțiunea dintre două fisuri, plus deschiderea fisurii, să fie egală cu alungirea armăturii pe distanța dintre două fisuri :

$$\varepsilon_{tm} \lambda_f + \alpha_f = \varepsilon_{pm} \lambda_f \quad (5.2)$$

Prin neglijarea alungirilor betonului, deci a termenului $\varepsilon_{tm} \lambda_f$ se ajunge la relația :

$$\alpha_f = \varepsilon_{pm} \lambda_f \quad (2.3.16)$$

Dacă se notează cu σ_{p2} efortul în armătura pretensionată în secțiunea fisurată și cu σ_{p1} acelaș efort între fisuri, se poate scrie că momentul încovoietor capabil între fisuri este :

$$M = \sigma_{p2} A_p z \quad (5.3)$$

Momentul care provoacă apariția fisurii M_f este dat de expresia :

$$M_f = \bar{\sigma}_{pl} A_p z + M_b \quad (5.4)$$

în care M_b este momentul capabil al secțiunii de beton

Considerînd că raportul între deformația specifică a armăturii pretensionate între fisuri (deformație specifică medie) și deformația specifică a armăturii pretensionate în fisură se notează cu $\psi = \frac{\epsilon_{pm}}{\epsilon_{p2}}$, se poate scrie :

$$\psi = \frac{\bar{\sigma}_{p2} \lambda_f - \omega(\bar{\sigma}_{p2} - \bar{\sigma}_{p1}) \lambda_f}{\bar{\sigma}_{p2} \lambda_f} \quad (5.5)$$

unde ω este un coeficient de epură.

Relația 5.5 se mai poate scrie și sub forma :

$$\psi = 1 - \omega \frac{\bar{\sigma}_{p2} - \bar{\sigma}_{p1}}{\bar{\sigma}_{p2}} \quad (5.6)$$

și deci dacă :

$$\bar{\sigma}_{p2} - \bar{\sigma}_{p1} = \frac{M}{A_p z} - \frac{M_{pl}}{A_p z} = \frac{M_b}{A_p z} \quad (5.7)$$

se poate introduce acest rezultat în relația 5.6 și se obține pentru ψ expresia :

$$\psi = 1 - \omega \frac{M_b}{M} \quad (5.8)$$

Dar momentul capabil al secțiunii de beton este o fracțiune din momentul limită-momentul de fisurare, adică :

$$\frac{M_b}{M_f} = \chi \quad \text{și expresia 5.8 devine:}$$

$$\psi = 1 - \omega \chi \frac{M_f}{M} \quad (5.9)$$

Din rezultatele experimentale obținute în lucrarea /7/ și /116/ s-a propus pentru ψ o relație de forma :

$$\psi = 1 - 0.9 \frac{\bar{\sigma}_{p0}}{R_p^2} \frac{M_f}{M} \quad (2.3.70)$$

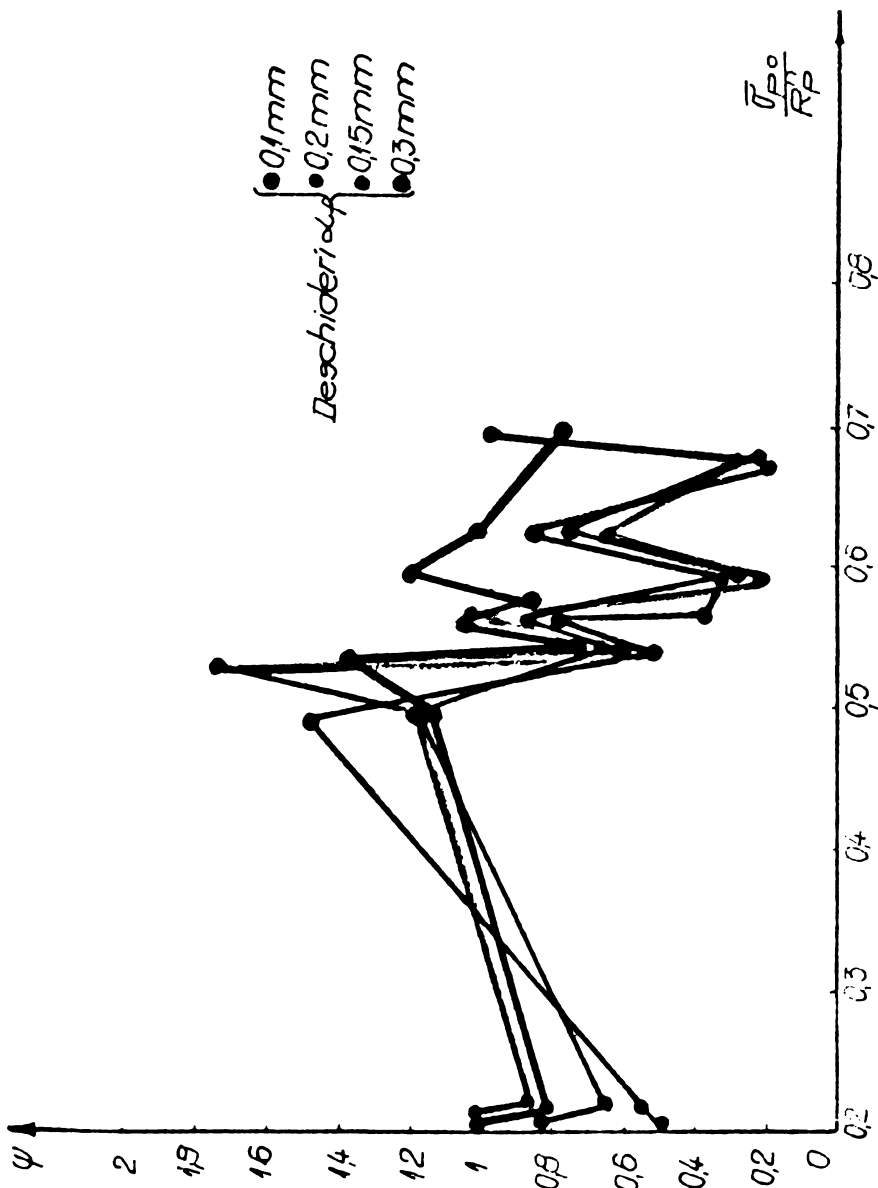
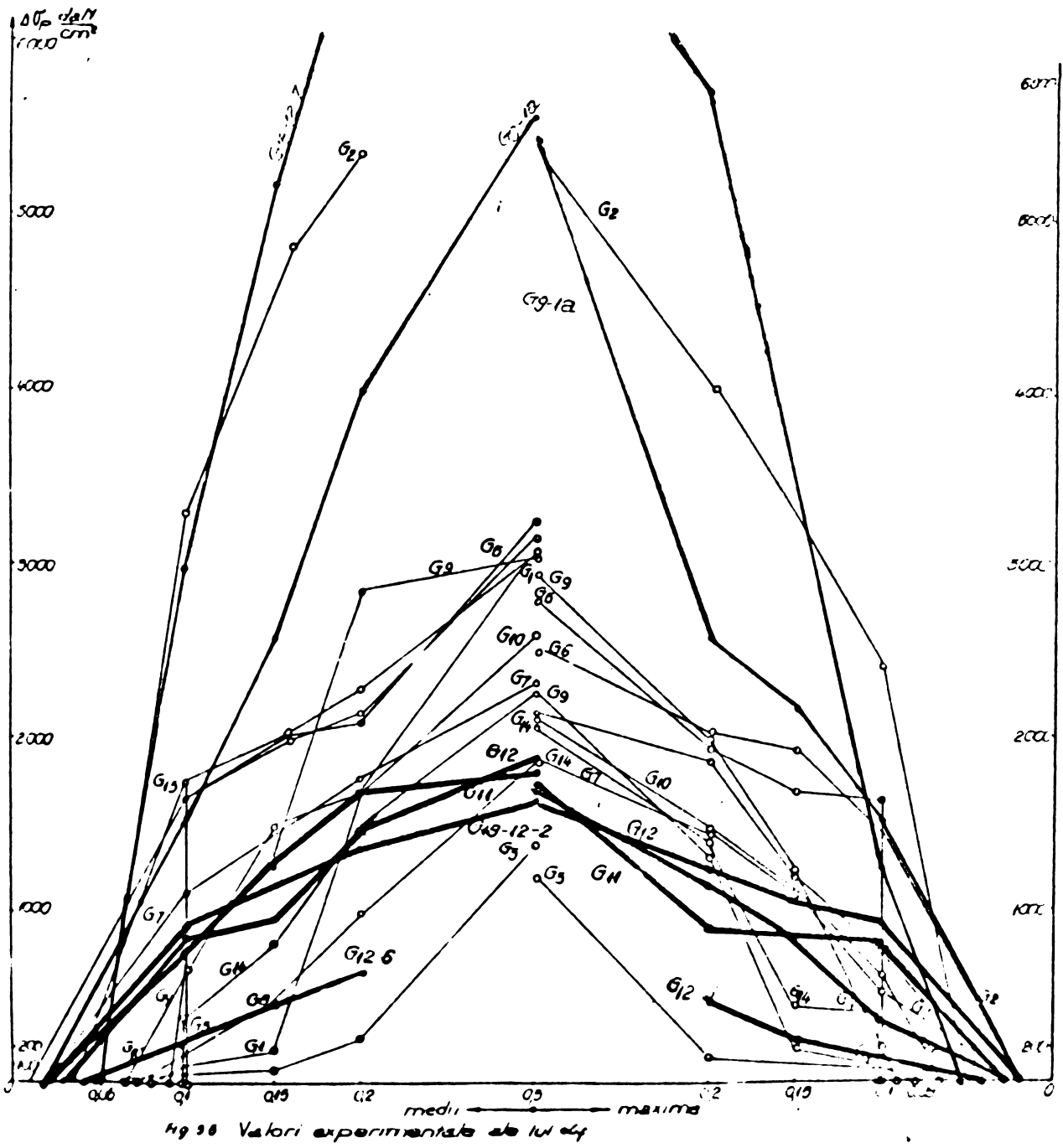


Fig. 5.7. Variația coeficientului ψ cu gradul de precomprimare (valori experimentale pentru diferite deschideri de fisuri).

Determinarea coeficientului ψ

Tabel 5.8.

Grinda	$\frac{R_{po}}{R_p}$	λ_f exp	ψ experimental							$\psi = 1 - 0,9 \frac{M_f}{M} \cdot \frac{Q_{exp}}{R_p}$ (ca/culat)		
			$\lambda_f = 0,1mm$	$\lambda_f = 0,5mm$	$\lambda_f = 0,20mm$	$\lambda_f = 0,3mm$	$\lambda_f = 0,1mm$	$\lambda_f = 0,5mm$	$\lambda_f = 0,2mm$	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
G1	0,69	2185	9,63	7,46	0,926	0,796	0,38	0,2	0,45	0,5		
G2	0,67	2787	0,196	0,201	0,240	—	0,462	0,51	0,526	—		
G3	0,59	2405	—	1,138	5,197	1,185	—	0,526	0,54	0,548	0,593	
G4	0,58	1955	—	—	—	—	0,49	0,495	0,514	0,572		
G5	0,21	2005	0,544	0,662	0,842	0,851	0,802	0,815	0,817	0,848		
G6	0,21	1665	0,486	0,815	0,998	1,02	0,821	0,832	0,837	0,852		
G7	0,56	2027	0,793	0,883	0,994	1,137	0,565	0,582	0,592	0,612		
G8	0,53	2066	—	2,555	1,743	1,592	0,534	0,582	0,602	0,636		
G9	0,54	2428	1,006	0,846	0,517	0,727	0,543	0,572	0,63	0,636		
G10	0,49	1809	1,487	1,19	1,17	1,144	0,571	0,607	0,615	0,647		
G11	0,57	2068	—	1,487	3,30	2,925	0,493	0,508	0,559	0,595		
G2	0,49	2337	3,22	1,587	1,48	2,038	0,652	0,69	0,715	0,721		
G13	0,57	12,64	0,385	0,537	0,67	0,843	0,572	0,583	0,592	0,617		
G14	0,54	22,55	0,520	0,616	0,603	0,703	0,514	0,535	0,566	0,594		
G12-6	0,79	1174	0,716	5,52	5,38	—	0,388	0,417	0,436	—		
G18-12-2	0,75	12,55	1,766	2,126	2,41	2,992	0,554	0,58	0,402	0,432		
G18-12-7	0,59	19,25	0,313	0,271	0,238	—	0,595	0,653	0,704	—		
G9 12	0,62	13,07	0,857	0,787	0,677	1,015	0,511	0,55	0,595	0,635		



Valori calculate și valori experimentale pentru momentele de fisurare corespunzătoare diferitelor deschideri medii de fisuri

Tabel 5.9.

Grupa	Rp	Rp%	λ ₄ *	Z	N ₀ · 10 ⁵ [daN]	N ₀ Z · [daN]	Valori calculate		M _f · 10 ⁹ [daNm]		M _f · 10 ⁹ [daNm]		M _f · 10 ⁹ [daNm]		M _f · 10 ⁹ [daNm]					
							ΔM _p ⁰¹	ΔM _p ⁰²	calcu- lat	experi- mental	calcu- lat	experi- mental	calcu- lat	experi- mental	calcu- lat	experi- mental				
G1	0,69	0,82	20,3	78,0	149,5	116,6	8,33	890	124,93	118,35	0,94	12,91	133,26	132,6	0,995	141,59	145,85	1,05		
G2	0,7	0,84	20,5	78,9	145,2	114,4	8,32	880	122,72	145,51	0,18	12,688	159,96	126						
G3	0,59	1,15	21,2	78,7	161,90	127,4	10,77	850	138,17	124,85	0,90	14,355	128,45	0,88	14,894	130,85	0,88	15,971	145,10	0,91
G4	0,53	1,11	20,33	79,5	157,70	123,5	11,23	890	134,73	112,68	0,84	14,034	113,93	0,81	14,596	118,18	0,81	11,57,19	133,93	0,85
G5	0,22	1,07	21,20	79,8	59,25	47,3	10,93	850	58,23	68,60	1,17	63,69	73,45	1,15	69,16	74,20	1,07	80,09	88,95	1,11
G6	0,21	1,12	20,6	79,4	57,80	45,9	11,19	875	57,09	67,00	1,17	62,68	71,25	1,14	68,28	73,50	1,08	79,47	86,50	1,09
G7	0,56	1,11	20,7	78,2	145,90	111,1	10,96	870	125,06	128,10	1,02	13,104	133,00	1,01	13,602	136,50	1,00	14,698	143,50	0,98
G8	0,53	1,08	20,4	79,5	143,9	114,4	11,27	880	125,67	108,25	0,86	15,130	120,75	0,92	13,694	127,0	0,93	14,821	138,25	0,93
G9	0,54	1,53	20,7	80,0	136,7	109,4	11,21	870	120,61	118,84	0,99	12,521	126,34	1,00	13,182	146,34	1,11	143,03	148,84	1,04
G10	0,49	1,71	20,2	80,0	133,7	107	10,95	850	117,95	115,62	0,98	12,342	126,12	1,02	12,89	128,87	1,00	139,85	140,52	1,00
G11	0,57	2,55	20,8	74,6	133,3	99,4	28,12	960	127,52	123,90	0,97	14,158	127,40	0,90	15,564	142,40	0,91	183,76	154,90	0,85
G12	0,49	2,61	19,75	74,6	133,6	102,3	30,53	1015	132,83	125,20	0,94	14,809	140,83	0,95	16,336	153,33	0,94	193,89	156,58	0,87
G13	0,57	1,08	20,3	79,5	155,6	124,5	11,4	890	150,90	146,92	1,08	14,16	150,42	1,06	14,73	153,92	1,04	158,7	164,42	1,04
G14	0,54	1,05	20,6	79,6	146,7	116,8	11,2	875	128,00	121,89	0,95	13,36	127,14	0,95	13,92	136,14	0,98	154,4	145,89	0,97
G15	0,19	1,66	16,88	87,0	93,4	81,2	20,25	1185	101,45	85,26	0,84	11,157	89,5	0,80	12,170	92,56	0,76	-	-	-
G16	0,75	2,94	14,10	135,5	198,8	275,3	86,9	1420	362,2	332,50	0,92	40,56	346,66	0,85	44,91	359,30	0,80	53,6	376,86	0,70
G17	0,59	0,93	17,75	186,0	218,3	406	40,8	1015	446,8	525,04	1,17	46,720	613,60	1,31	48,76	721,91	1,48	-	-	-
G18	0,52	1,97	16,60	70,6	263,4	156	19,2	1085	200,2	213,43	1,04	24,118	231,42	1,07	22,44	257	1,14	243,6	284,74	1,17

REZERVATII: * valori calculate ținând cont de efectul forței de precompunere; ψ = 1

1,050

1,036

1,02

1,036

1,02

1,036

1,050

1,036

Pentru cele 18 grinzi experimentale dintre care 4 prototipuri de mare deschidere (de la 9 m la 18 m), s-a calculat în tab 5.8 coeficientul ψ cu formula propusă 2.3.7o, pentru deschideri medii de fisuri de 0,1 mm, 0,15 mm, 0,2 mm și 0,3 mm și s-a comparat cu valoarea experimentală a lui ψ .

În graficul din fig.5.7 este prezentată variația coeficientului ψ cu gradul de precomprimare. Se remarcă o mare împrăștiere a rezultatelor experimentale comparativ cu cele rezultate din calculul după formula propusă (2.3.7o)

În fig. 5.8 sînt prezentate valorile experimentale ale deschiderii fisurilor, funcție de creșterea de efort din armătura pretensionată ; în stînga reprezentării grafice s-au trasat curbe corespunzătoare deschiderii medii de fisuri, iar în partea dreaptă deschiderii maxime.

Se observă o mare dispersie a rezultatelor pentru elementele armate cu toroane TBP 9 și TBP 12 comparativ cu cele armate cu bare groase PC 90. (pentru deschiderile de fisuri experimentale, la elementele armate cu PC 90, semnul convențional este linia roșie).

Datorită împrăștierii considerabile a valorilor experimentale ale deschiderilor de fisuri, s-a considerat necesar să se compare în primul rînd, valorile experimentale ale momentelor de fisurare corespunzătoare diferitelor deschideri medii de fisuri, cu valorile calculate.

Se observă că valoarea medie a rapoartelor dintre momentele experimentale și cele teoretice, pentru deschideri semnificative de fisuri : 0,1mm, 0,15mm, 0,2mm și 0,3mm este foarte apropiat de 1 (tab 5.9)

În calculul acestor valori s-a considerat coeficientul $\psi = 1$ și λ_f , valoarea calculată a distanței dintre fisuri luînd în considerare efectul forței de precomprimare.

Din aceste considerente se poate observa că momentul încovoietor, ca mărime caracteristică prezintă un grad mai scăzut de variabilitate ; aceasta pledează în favoarea introducerii unor condiții limitative privind tocmai aceste valori.

Deschiderea fisurilor normale s-a calculat cu formulele: 2.3.61 (pentru cazul armării cu bare groase PC 90), 2.3.62 (pentru elementele armate cu TBP), 2.3.17, 2.3.72 respectiv 2.3.73. pentru valori experimentale de 0,1 mm (mediu și maxim) -tab.5.10 0,15 mm (mediu și maxim)-tab.5.11; 0,2 mm (mediu și maxim)-tab. 5.12 și 0,3 mm (mediu și maxim) - tab.5.13.

În legătură cu formulele citate se poate observa că media deschiderilor de fisuri calculate este un indicativ statistic ce nu prinde, ca orice medie de altfel, variabilitatea rezultatelor și că media rapoartelor $\alpha_f^{exp} / \alpha_f^{calc}$ este mai semnificativă.

Pentru deschiderea medie de 0,1 mm, valoarea medie a deschiderilor calculate după STAS 10107/0-1976 considerând $\psi = 1$ (col.3) dă valoarea cea mai acoperitoare (0,171), în timp ce indicele $\alpha_f^{exp} / \alpha_f^{calc}$ este 1,55 (col 4), indicând o omogenitate satisfăcătoare a rezultatelor.

Valori apropiate de valoarea medie experimentală se obțin prin aplicarea metodei propuse de Catedra de beton armat și clădiri Timișoara în /116/ prin considerarea lui $\psi \neq 1$, în care caz media deschiderilor calculate este 0,099, prin aplicarea formulei 2.3.72 (o medie calculată de 0,100) și prin aplicarea formulei CEB-FIP (obținându-se o medie a deschiderilor calculate de 0,099).

Dar, comparând media indicilor $\alpha_f^{exp} / \alpha_f^{calc}$, care, așa cum s-a mai arătat prinde împrăștierea rezultatelor, se observă că cea mai bună omogenitate o are formula 2.3.72, valoarea raportului fiind 1,362 față de 1,55 (STAS) și 3,4 /116/.

Deschideri calculate ale fiurilor pentru o valoare experimentala $\alpha_f = 0,111111$

Tabel 5.10.

Grupa	$\alpha_f = 0,111111$				$\alpha_f = 0,111111$				$\alpha_f = 0,111111$				$\alpha_f = 0,111111$				Recomandari	$\sum f$	$\sum f^2$
	α_f	α_f^2	α_f^3	α_f^4	α_f	α_f^2	α_f^3	α_f^4	α_f	α_f^2	α_f^3	α_f^4	α_f	α_f^2	α_f^3	α_f^4			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
G1	20	0,02	0,35	0,0455	2,9	0,069	1,85	4,24	98	0,065	1,38	20,5	0,012	8,55	0,0182	7,04	0,014	1,14	
G2	30	0,548	0,188	0,265	0,395	0,237	0,485	1,184	3,281	0,26	0,465	2,25	0,28	0,357	0,353	0,289	0,318	0,297	
G3	22	-	-	-	-	-	-	0,92	-	-	2,42	-	-	-	-	-	-	-	
G4	18	-	-	-	-	-	-	0,79	-	-	2,55	-	-	-	-	-	-	-	
G5	22	0,209	1,75	0,463	0,645	0,415	0,87	10,96	1,642	0,10	1	2,20	0,194	0,515	0,236	0,424	0,216	0,463	
G6	18	0,167	0,59	0,137	0,73	0,115	0,81	0,96	1,642	0,10	1	2,60	0,166	0,602	0,208	0,481	0,194	0,515	
G7	22	0,192	0,730	0,28	1,39	0,277	1,29	0,76	1,104	0,066	1,515	20,70	0,061	1,639	0,048	1,337	0,067	1,432	
G8	22	-	-	-	-	-	-	0,87	-	-	2,94	-	-	-	-	-	-	-	
G9	22	0,09	1,11	0,099	2,04	0,051	1,36	6,95	7,27	0,066	1,515	20,7	0,024	4,17	0,0289	5,46	0,040	2,50	
G10	18	0,068	1,47	0,089	2,56	0,046	2,17	4,59	6,65	0,054	1,85	20,2	0,07	1,408	0,0899	1,112	0,110	0,909	
G11	22	0,085	1,20	0,041	2,44	0,058	1,72	2,33	8,32	0,065	1,24	20,8	0,080	1,25	0,1156	0,109	0,592	0,592	
G12	19	0,072	1,54	0,047	2,3	0,055	1,99	4,84	7,58	0,07	1,39	19,75	0,045	2,898	0,096	1,238	0,074	1,351	
G15	18	0,077	0,583	0,41	0,99	0,02	0,89	1,67	1,745	0,162	0,617	20,50	0,089	1,12	0,113	0,885	0,159	0,533	
G1	18	0,046	2,50	0,020	6,0	0,027	3,70	1,5	3,90	0,088	2,63	20,60	0,045	2,22	0,056	1,286	0,032	1,219	
G20	18	0,019	5,35	0,007	4,28	0,046	6,25	1,62	2,33	0,044	7,14	16,88	-	-	-	-	-	-	
G12	14	0,045	1,99	0,0022	4,55	0,065	1,539	1,08	9,32	0,049	2,04	14,40	0,075	1,33	0,133	0,752	0,106	0,945	
G20	17	0,005	0,309	0,175	0,57	0,208	0,48	0,29	7,80	0,203	0,59	1,79	0,121	0,605	0,126	0,568	0,181	0,962	
G20	18	0,011	0,633	0,023	1,57	0,108	0,26	8,6	1,45	0,074	1,35	16,50	0,141	0,709	0,129	0,457	0,197	0,637	
G20	20	0,11	1,55	0,022	3,40	0,60	4,50	1,50	1,45	0,074	1,35	16,50	0,141	0,709	0,129	0,457	0,197	0,637	

* valori calculate
 & distanta dintre elemente
 = 3000 pentru R=30

Deschideri calculate ale fisurilor pentru ovazcare experimentala $\alpha_f = 0,15 \text{ mm}$

Tab. 5.11

GRUP	Cămin = 0,15 mm										Cămin = 0,20 mm			FISES α _f	FISES α _f															
	α _f = α _{max} ψ = 1/FF	α _f / α _{f1}	α _f / α _{f1}	α _f / α _{f1}	α _f / α _{f1}	α _f / α _{f1}	α _f / α _{f1}	α _f / α _{f1}	α _f / α _{f1}	α _f / α _{f1}	α _f / α _{f1}	α _f / α _{f1}	α _f / α _{f1}			α _f / α _{f1}	α _f / α _{f1}													
G1	20	0,021	7,14	0,0081	18,52	0,0125	7	6	5	4	3	0,021	0,003	0,187	0,409	0,367	0,3367	0,446	1,810	178	0,012	12,5	20,3	0,021	7,14	0,257	5,836	0,2255	5,88	
G2	30	0,003	0,187	0,409	0,367	0,3367	0,446	1,810	178	0,012	12,5	20,3	0,021	7,14	0,257	5,836	0,2255	5,88	0,15	16	17	18	19	20	0,021	7,14	0,257	5,836	0,2255	5,88
G3	22,2	0,010	1,50	0,005	3,00	0,0052	2,884	10,52	77	0,0045	33,33	21,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
G4	18,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
G5	22,2	0,251	0,998	0,124	1,21	0,1418	10,58	10,96	2027	0,123	12,19	21,2	0,199	0,754	0,242	0,620	0,222	0,559	0,222	0,559	0,222	0,559	0,222	0,559	0,222	0,559	0,222	0,559	0,222	0,559
G6	18,2	0,200	0,75	0,163	0,920	0,1381	10,86	10,96	1975	0,120	1,25	20,6	0,222	0,676	0,222	0,559	0,222	0,559	0,222	0,559	0,222	0,559	0,222	0,559	0,222	0,559	0,222	0,559	0,222	0,559
G7	22,2	0,185	0,811	0,154	0,974	0,1044	14,37	10,76	1493	0,089	1,685	20,7	0,128	1,17	0,159	0,943	0,143	1,05	0,128	1,17	0,159	0,943	0,143	1,05	0,128	1,17	0,159	0,943	0,143	1,05
G8	22,2	0,061	2,46	0,035	4,286	0,034	4,41	10,87	489	0,029	5,17	20,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
G9	22,2	0,162	0,926	0,093	1,613	0,0914	16,41	16,45	1309	0,120	1,25	20,7	0,140	1,07	0,177	0,847	0,243	0,51	0,140	1,07	0,177	0,847	0,243	0,51	0,140	1,07	0,177	0,847	0,243	0,51
G10	18,2	0,151	0,993	0,092	1,63	0,104	14,42	14,59	1456	0,120	1,25	20,2	0,125	1,20	0,159	0,943	0,194	0,773	0,125	1,20	0,159	0,943	0,194	0,773	0,125	1,20	0,159	0,943	0,194	0,773
G11	20,8*	0,095	1,579	0,048	3,126	0,066	2,272	20,33	953	0,092	1,63	20,8	0,082	1,829	0,118	1,271	0,172	0,872	0,082	1,829	0,118	1,271	0,172	0,872	0,082	1,829	0,118	1,271	0,172	0,872
G12	19,75*	0,120	1,25	0,093	1,907	0,089	16,86	19,84	1278	0,121	1,24	19,75	0,077	1,948	0,117	1,282	0,167	0,808	0,077	1,948	0,117	1,282	0,167	0,808	0,077	1,948	0,117	1,282	0,167	0,808
G13	18,2	0,205	0,732	0,119	1,26	0,141	10,64	16,74	2017	0,188	0,798	20,3	0,136	1,10	0,172	0,872	0,111	1,351	0,136	1,10	0,172	0,872	0,111	1,351	0,136	1,10	0,172	0,872	0,111	1,351
G14	18,2	0,081	1,852	0,043	3,488	0,0558	2,688	17,54	799	0,078	1,923	20,6	0,521	0,288	0,0643	1,555	0,094	1,596	0,521	0,288	0,0643	1,555	0,094	1,596	0,521	0,288	0,0643	1,555	0,094	1,596
G12.6	16,88*	0,039	3,61	0,016	9,376	0,0334	4,49	12,62	481	0,029	5,172	16,88	0,019	7,89	0,033	3,03	0,030	5,0	0,019	7,89	0,033	3,03	0,030	5,0	0,019	7,89	0,033	3,03	0,030	5,0
G12.2	14,10*	0,078	1,923	0,030	5,0	0,081	1,852	11,08	11,63	0,061	2,459	14,10	0,072	2,08	0,153	0,98	0,122	1,229	0,072	2,08	0,153	0,98	0,122	1,229	0,072	2,08	0,153	0,98	0,122	1,229
G12.1	17,75*	0,509	0,295	0,332	0,452	0,361	0,415	12,35	5160	0,354	0,424	17,75	0,584	0,257	0,841	0,178	0,871	0,171	0,584	0,257	0,841	0,178	0,871	0,171	0,584	0,257	0,841	0,178	0,871	0,171
G12.13	16,60*	0,237	0,633	0,130	1,154	0,179	0,838	8,6	2562	0,122	1,229	16,60	0,201	0,746	0,315	0,479	0,225	0,265	0,201	0,746	0,315	0,479	0,225	0,265	0,201	0,746	0,315	0,479	0,225	0,265

* - valori calculate • 5000 pentru PC 90

1 - valoarea distanta dintre etrișii

0,129 4,71 0,241 1345 0,284 119 0,259 12-5

Deschideri calculate ale fisurilor pentru o valoare experimentală

Tabel 512

Grinde	σ_f mediu = 0,2 mm										σ_f max = 0,2 mm							
	$\lambda_f = a$ [cm]	$\frac{\sigma_f}{\psi \cdot \lambda_f}$	$\frac{\sigma_f}{\psi \cdot \lambda_f}$	$\frac{\sigma_f}{\psi \cdot \lambda_f}$	$\frac{\sigma_f}{\psi \cdot \lambda_f}$	$\frac{\sigma_f}{\psi \cdot \lambda_f}$	$\frac{\sigma_f}{\psi \cdot \lambda_f}$	$\frac{\sigma_f}{\psi \cdot \lambda_f}$	$\frac{\sigma_f}{\psi \cdot \lambda_f}$	$\frac{\sigma_f}{\psi \cdot \lambda_f}$	STAS 10107/76	$\frac{\sigma_f}{\psi \cdot \lambda_f}$	$\frac{\sigma_f}{\psi \cdot \lambda_f}$	$\frac{\sigma_f}{\psi \cdot \lambda_f}$	$\frac{\sigma_f}{\psi \cdot \lambda_f}$	$\frac{\sigma_f}{\psi \cdot \lambda_f}$		
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
G1	20	019	1053	0085	235	0119	168	1194	1700	0,113	1,77	203	01515	1325	0,191	1047	0,1899	1,053
G2	30	0896	0223	0471	0425	0375	0533	1184	5366	0,353	0566	205	0462	0433	0,5825	0343	0,575	0,348
G3	22,2	033	606	0048	11,11	0,048	11,1	10,52	260	0,0155	12,9	21,2	0,0181	11,05	0,021	9,523	0,036	10,753
G4	18,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G5	22,2	0258	0775	0211	0948	0146	137	1096	2085	0,127	1575	212	0240	0833	0,280	0714	0,256	0,781
G6	18,2	0219	0917	0767	0261	0150	133	1096	2150	0,131	1527	206	0234	0855	0,2925	0,684	0,267	0,749
G7	22,2	0219	0913	0130	1538	0124	1513	1076	1771	0,106	1887	207	0166	1205	0,2064	0,969	0,186	10,75
G8	22,2	0121	1653	0073	274	0,068	2941	1087	977	0,059	339	204	0,0119	1680	0,014	14,285	0,013	15,38
G9	22,2	0353	0566	0222	0901	020	10	1645	2861	0,261	0766	207	0240	0833	0,2997	0,667	0,412	0,485
G10	18,2	0171	1169	0105	1905	0118	1695	1549	1693	0,146	137	202	0167	1195	0,2125	0,941	0,275	0,727
G11	20,2	0145	1379	0081	2469	0102	1961	2033	1466	0,142	1408	208	0,0895	2335	0,129	1,55	0,188	1,064
G12	19,75	0159	1258	0114	1764	0118	1696	1984	1693	0,160	1,25	19,75	0,109	1835	0,165	1,212	0,235	0,851
G13	18,20	0232	0862	0137	146	0160	1,25	1674	2290	0,213	0,939	203	0213	0,940	0,270	0,74	0,378	0,529
G14	18,20	0152	1316	0006	2325	0105	1905	1754	1501	0,146	137	206	0161	1243	0,202	0,99	0,295	0,678
G12-6	16,88	0053	3773	0023	6695	0046	4348	1262	660	0,040	50	16,88	0,039	513	0,069	2848	0,062	3226
G12-7	14,10	0092	2174	0037	5405	00356	2092	1108	1370	0,072	278	14,10	0,0824	243	0,176	1,136	0,140	1,428
G12-7	17,75	0775	0258	0546	0366	0550	0364	1235	7855	0,539	0371	17,75	0642	0312	0,936	0,214	0,963	0,208
G9-16	16,60	0370	054	0230	0908	0280	2714	86	4008	0,191	1047	16,60	0237	0845	0,368	0,543	0,264	0,758

TBP 0,306 1,254 2,09 0,186 2,15
 OBSEPVATI * = VALORI CALCULATE . 5000*

Deschideri calculate ale fisurilor pentru o valoare experimentală $\alpha_f = 0,3 \text{ mm}$

Tabel 5.13

Gr	$\alpha_{f \text{ mediu}} = 0,3 \text{ mm}$										$\alpha_{f \text{ max}} < 0,3 \text{ mm}$							
	$\lambda_f = 2$	$\lambda_f = 3$	$\lambda_f = 4$	$\lambda_f = 5$	$\lambda_f = 6$	$\lambda_f = 7$	$\lambda_f = 8$	$\lambda_f = 9$	$\lambda_f = 10$	$\lambda_f = 11$	$\lambda_f = 12$	$\lambda_f = 13$	$\lambda_f = 14$	$\lambda_f = 15$	$\lambda_f = 16$	$\lambda_f = 17$	$\lambda_f = 18$	α_f / σ_{yk}
	$\lambda_f = 2$	$\lambda_f = 3$	$\lambda_f = 4$	$\lambda_f = 5$	$\lambda_f = 6$	$\lambda_f = 7$	$\lambda_f = 8$	$\lambda_f = 9$	$\lambda_f = 10$	$\lambda_f = 11$	$\lambda_f = 12$	$\lambda_f = 13$	$\lambda_f = 14$	$\lambda_f = 15$	$\lambda_f = 16$	$\lambda_f = 17$	$\lambda_f = 18$	
G1	0,347	0,864	0,1735	1,73	0,218	1,376	3,124	0,207	1,45	2,03	0,253	0,185	0,322	0,932	0,32	0,937		
G2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
G3	0,172	1,744	0,1020	2,94	0,097	3,093	1,390	0,081	3,605	2,12	0,143	2,10	0,175	1,715	0,153	1,96		
G4	0,084	3,571	0,047	6,38	0,057	5,263	820	0,0492	6,110	2,033	0,0532	5,54	0,066	4,55	0,0599	5,01		
G5	0,3996	0,751	0,339	0,885	0,226	1,327	3,235	0,196	1,53	2,120	0,334	0,897	0,406	0,733	0,371	0,808		
G6	0,321	0,935	0,277	1,083	0,222	1,351	3,167	0,193	1,552	2,060	0,290	1,034	0,363	0,826	0,352	0,904		
G7	0,288	1,042	0,176	1,704	0,163	1,840	2,326	0,139	2,155	2,070	0,214	1,40	0,263	1,140	0,234	1,282		
G8	0,2296	1,307	0,146	2,05	0,130	2,30	1,855	0,112	2,68	2,04	0,0563	5,32	0,0708	4,27	0,0638	4,7		
G9	0,377	0,796	0,24	1,25	0,214	1,402	3,055	0,279	1,075	2,07	0,341	0,88	0,425	0,706	0,584	0,514		
G10	0,264	1,136	0,171	1,754	0,182	1,648	2,605	0,203	1,477	2,02	0,241	1,244	0,307	0,976	0,374	0,802		
G11	0,188	1,596	0,125	2,665	0,132	2,273	1,890	0,185	1,64	2,08	0,175	1,713	0,253	1,186	0,369	0,8		
G12	0,1696	1,769	0,1224	2,45	0,126	2,381	1,801	0,170	1,765	1,975	0,186	1,612	0,249	1,205	0,354	0,8		
G13	0,315	0,952	0,1945	1,544	0,218	1,376	3,110	0,289	1,039	2,03	0,241	1,244	0,307	0,977	0,428	0,701		
G14	0,229	1,310	0,136	2,21	0,158	1,899	2,261	0,22	1,362	2,06	0,237	1,266	0,297	1,010	0,435	0,69		
G12-6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	16,88	—	—	—	—	—	—	—	—
G12-2	0,114	2,693	0,0482	6,23	0,116	2,586	1,657	0,0875	3,43	14,10	0,194	2,51	0,234	1,282	0,655	1,618		
G12-7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	17,75	0,93	0,322	1,358	0,225	1,396	0,205		
G9-4	0,515	0,582	0,369	0,814	0,39	0,769	5,576	0,266	1,128	16,60	0,502	0,507	0,784	0,393	0,562	0,534		

TBP 0,276 1,249 0,198 2,029 0,190 0,971 0,186 2,097 0,318 1,611 0,4225 1,345 0,434 1,388
 OBSERVAȚII: * VALORI CALCULATE; • 3000 pt PC90

Aceste valori sînt trecute sub fiecare coloană, la partea inferioară a tab.5.10 (col.4, 6 și 8).

În ce privește valoarea maximă $\alpha_f = 0,1$ mm, calculele efectuate în acelaș tabel (5.10) permit următoarele comentarii:

- dacă se consideră distanța dintre fisuri cu valoarea calculată d_f^x , ținînd cont de efectul forței de precomprimare se observă că media valorilor deschiderilor experimentale de fisuri este de 0,10945 și raportul $d_f^{exp} / d_f^{calc} = 1,99$. (col.14,15).

Formula 2.3.73 dă o deschidere medie calculată de 0,1426 (col.16) și o medie a raportului $d_f^{exp} / d_f^{calc} = 1,621$ (col.17).

Formula FIP-CEB dă o medie a deschiderilor calculate de 0,142 și o medie a rapoartelor $d_f^{exp} / d_f^{calc} = 1,486$.

Deci aceste două formule citate sînt mai acoperitoare.

Formula 14 este cea mai apropiată ca medie de valoarea experimentală, dar nu reprezintă o deschidere maximă probabilă în ipoteza unui anumit nivel de încredere (îi lipsește factorul de probabilitate).

Deschiderea de 0,1 mm este deschiderea permisă la elementele din clasa aII-a de fisurabilitate, sub solicitările date de încărcările de exploatare.

După analiza atentă a rezultatelor obținute se propune luarea în considerație, la calculul deschiderii fisurilor formula prevăzută în STAS 10107/0-1976, dar cu condiția ca ea să se refere la o valoare maximă a deschiderii fisurii și nu la o valoare medie (căci $\psi = 1$).

În legătură cu condiția de la punctul 5.5.4.2 din standardul românesc și anume " se permite ca verificarea la deschiderea fisurii de 0,1 mm să se efectueze numai prin limitarea efortului $\Delta \sigma_p = 1000$ daN/cm²" pentru grinzile experimentale studiate ea nu este acoperitoare, dar pe elementele prototip analizate în lucrare condiția este acoperitoare; în schimb,

condiția $\Delta \hat{b}_p \leq \Delta \hat{b}_e + (\Delta \hat{b}_n - \Delta \hat{b}_{ni})$ este acoperitoare pentru toate cazurile.

Pentru o valoare experimentală de 0,15 mm (tab.5.11) media deschiderilor calculate după STAS 10107/01976 este 0,213 cu o valoare medie a raportului $\alpha_f^{exp} / \alpha_f^{calc} = 2,49$; dacă se consideră $\psi \neq 1$, media deschiderilor calculate este 0,131 (deci neacoperitor), iar raportul $\alpha_f^{exp} / \alpha_f^{calc}$ are o valoare medie de 5,067.

Formula 2.3.72 dă o medie de 0,131 și o medie a raportului experimental $\alpha_f^{exp} / \alpha_f^{calc} = 4,41$.

Formula FIP-CEB dă pentru media valorilor deschiderilor calculate de fisuri 0,129 (neacoperitor) și un raport mediu $\alpha_f^{exp} / \alpha_f^{calc} = 4,71$.

Dintre toate formulele analizate, aceea recomandată de STAS 10107/0 1976 dă rezultatele cele mai acoperitoare și împrăștierea cea mai mică.

Din analiza celor expuse pînă acum se vede limpede că la treapta de deschidere medie a fisurilor experimentale 0,15 mm împrăștierea este mai mare.

Dacă se consideră valoarea experimentală maximă $\alpha_f = 0,15$ mm, media valorilor calculate cu relația STAS este 0,241 iar indicele mediu $\alpha_f^{exp} / \alpha_f^{calc} = 1,345$. Această valoare este comparabilă cu cele ce rezultă din aplicarea formulelor 2.3.73

$\bar{\alpha}_f = 0,264$ și $\alpha_f^{exp} / \alpha_f^{calc} = 1,19$ și prevederea din Recomandările CEB-FIP $\bar{\alpha}_f = 0,259$ iar $\alpha_f^{exp} / \alpha_f^{calc} = 1,245$.

În acest caz omogenitatea crește, dar toate formulele sînt prea acoperitoare.

Pentru o valoare medie a deschiderii fisurilor experimentale de 0,2 mm, considerarea lui $\psi = 1$ este prea acoperitoare ($\bar{\alpha}_f = 0,306$ și $\alpha_f^{exp} / \alpha_f^{calc} = 1,254$); formula experimentală propusă în /116/ cu $\psi \neq 1$ dă $\bar{\alpha}_f = 0,236$ și $\alpha_f^{exp} / \alpha_f^{calc} =$

= 2,09. Formula 2.3.72 dă $\bar{\alpha}_f = 0,186$ și $d_f^{exp} / d_f^{calc} = 2,115$.

Dacă se face calculul după prevederile Recomandărilor CEB-FIP se obține, pentru o deschidere medie experimentală de 0,2 mm o valoare $\bar{\alpha}_f = 0,185$ (neacoperitor) și un raport

$$d_f^{exp} / d_f^{calc} = 2,19$$

Pentru valoarea maximă a deschiderilor experimentale de 0,2 mm rezultatele cele mai apropiate de fenomenul real sînt date de STAS 10107/0-1976, considerînd conform propunerii făcute în cap.2.3. că pentru $\psi = 1$, deschiderea de fisură calculată să fie socotită o deschidere maximă; dacă comparăm rezultatele obținute prin această metodă simplă $\bar{\alpha}_f = 0,226$ mm, raportul $d_f^{exp} / d_f^{calc} = 2,913$, cu $\bar{\alpha}_f = 0,298$ și raportul $d_f^{exp} / d_f^{calc} = 2,259$ și rezultatele obținute prin aplicare formulei din Recomandările CEB-FIP $\bar{\alpha}_f = 0,315$ și $d_f^{exp} / d_f^{calc} = 2,579$ se vede ușurința aplicării formei propuse pentru interpretarea prevederii STAS în legătură cu calculul deschiderilor de fisuri la elementele armate cu TBP.

Pentru deschiderea de 0,3 mm calculele s-au făcut în tab.5.13, iar această deschidere nu prezintă importanță nici pentru elementele din clasa a II-a de fisurabilitate, prin urmare nu se va mai comenta în cele ce urmează.

În ce privește valorile calculate ale deschiderilor de fisuri pentru elementele din clasa a III-a de fisurabilitate (armate cu bare groase cu profil periodic de tipul PC 90) se constată că formulele de calcul sînt neacoperitoare, în sensul că se obțin valori de calcul mult mai reduse decît cele experimentale, cu atît mai mult cînd se ia în considerare lucrul betonului dintre fisuri minorînd valoarea deschiderii calculate prin înmulțirea cu o valoare subunitară ($\psi < 1$).

Explicația acestui fenomen constă în aceea că, în metodele de calcul se acceptă o situație stabilizată a fisurării

care survine la elementele armate cu bare groase, lucrînd în clasa a III-a de fisurabilitate tîrziu, în preajma ruperii, cînd distanțele dintre fisuri sînt de 2-3 ori mai mici decît cele corespunzătoare treptelor de deschidere a fisurilor 0,1mm, 0,15mm, 0,2mm.

Se propune, pentru calculul deschiderii fisurilor la elementele armate cu bare groase o formulă experimentală obținută la încercarea a 12 elemente de suprafață de mare deschidere din beton precomprimat cu armături din bare groase, formulă care are forma :

$$\alpha_f^{\max} = 2,16 (\Delta\sigma_p - 8,3) 10^{-4} \text{ (mm)} \quad (2.3.74)$$

Pentru grinzile experimentale la care se referă lucrarea, această formulă dă rezultate satisfăcătoare :

Tab.5.14

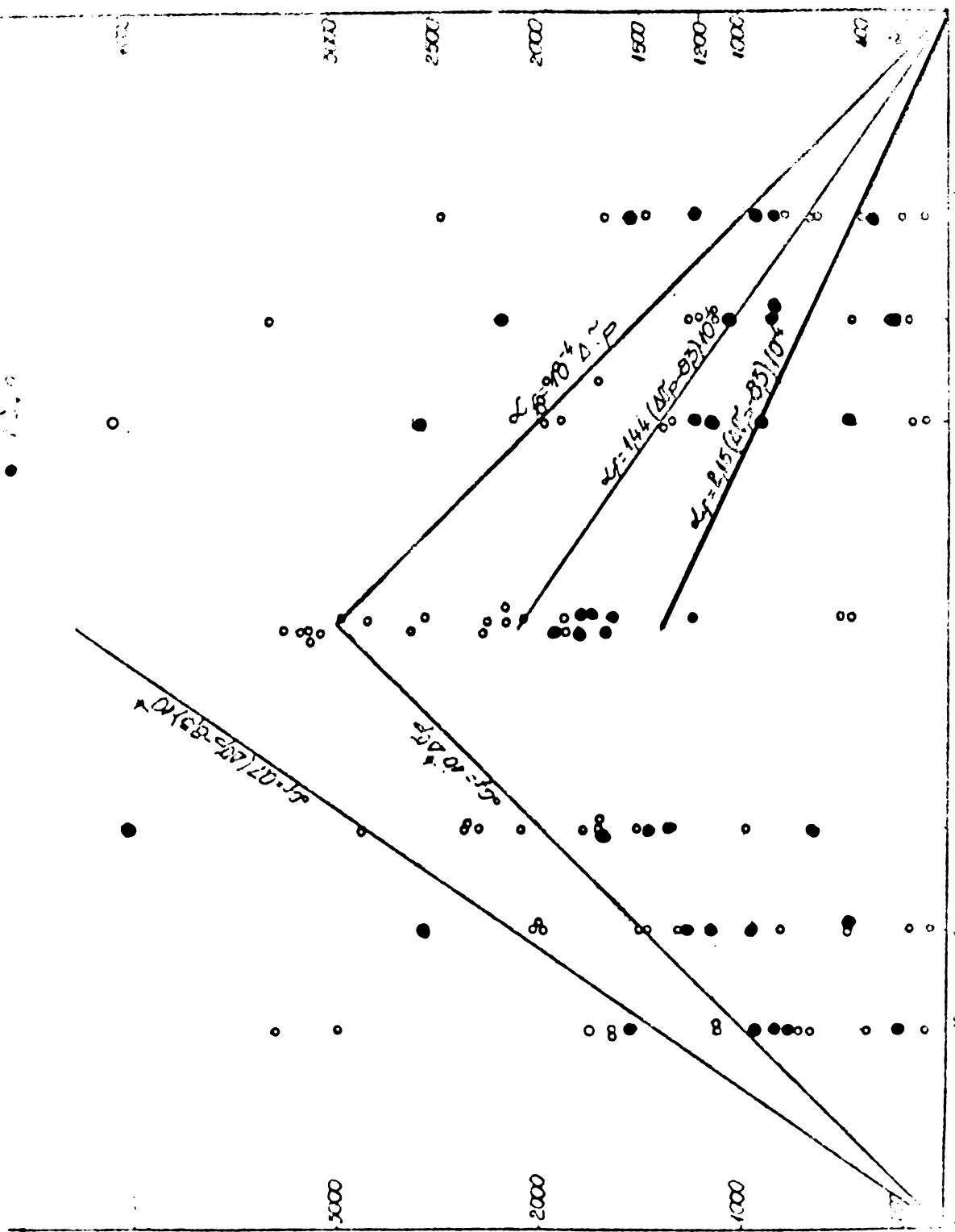
Grinda	$\alpha_f^{\text{exp}} = 0,1\text{mm}$	$\frac{\alpha_f^{\text{exp}}}{\alpha_f^{\text{calc}}}$	$\alpha_f^{\text{exp}} = 0,15\text{mm}$	$\frac{\alpha_f^{\text{exp}}}{\alpha_f^{\text{calc}}}$	$\alpha_f^{\text{exp}} = 0,2\text{mm}$	$\frac{\alpha_f^{\text{exp}}}{\alpha_f^{\text{calc}}}$
G ₁₁	0,0725	1,38	0,1775	0,845	0,248	0,805
G ₁₂	0,173	0,578	0,176	0,852	0,194	1,03
G 12-6	-	-	0,0496	3,02	0,103	1,94
G 18-12-2	0,2	0,5	0,23	0,652	0,264	0,756
Media	0,148	0,82	0,1582	1,34	0,202	1,13

Obs. Elementele sînt armate cu bare groase PC 90 de diametru 25 mm.

În fig 5.9 sînt prezentate valorile medii și maxime experimentale precum și cele calculate cu formule simplificăte ale unora din formulele citate.

1000

2000
3000



1000
2000
3000
 1000
2000
3000

5.3 Starea limită de rezistență

Tinând seama de ipotezele și relațiile de calcul expuse în capitolul 2.4 s-au calculat valorile momentelor de rupere și s-au comparat cu cele experimentale, obținând o bună concordanță pentru elementele analizate în lucrare.

În fig.5.10 se prezintă grafic variația raportului M / M_r funcție de gradul de precomprimare.

Se constată că repartiția momentului de serviciu este plasată în preajma valorii de $0,6 M_r$ (linie punctată).

Raportînd la momentele de rupere calculate, momentele experimentale semnificative și anume : M_f , $M_{0,1}$, $M_{0,15}$, $M_{0,2}$ și $M_{0,3}$ se constată o tendință de creștere a valorii raportului menționat cu creșterea gradului de precomprimare.

Deasemeni se mai observă că curbele experimentale au o anumită tendință de paralelism, explicabilă prin aceea că după fisurare, elementele din beton precomprimat, în zona de moment încovoietor preponderent, se comportă ca niște elemente de beton armat obișnuit, deci se confirmă justetea folosirii ca stare de referință a stării de decompresiune.

Analiza acestor curbe experimentale permite să se sesizeze o influență a gradului de precomprimare asupra deschiderii fisurilor; s-a arătat că distanța dintre fisuri la elementele analizate nu depinde de gradul de precomprimare; dar acest factor influențează asupra deschiderii fisurilor, la diferite trepte de încărcare. Creșterea valorii momentelor semnificative (pentru deschiderile de fisuri analizate) înseamnă o micșorare a deschiderii fisurilor cu creșterea gradului de precomprimare.

Această dependență se explică prin capacitatea armă-

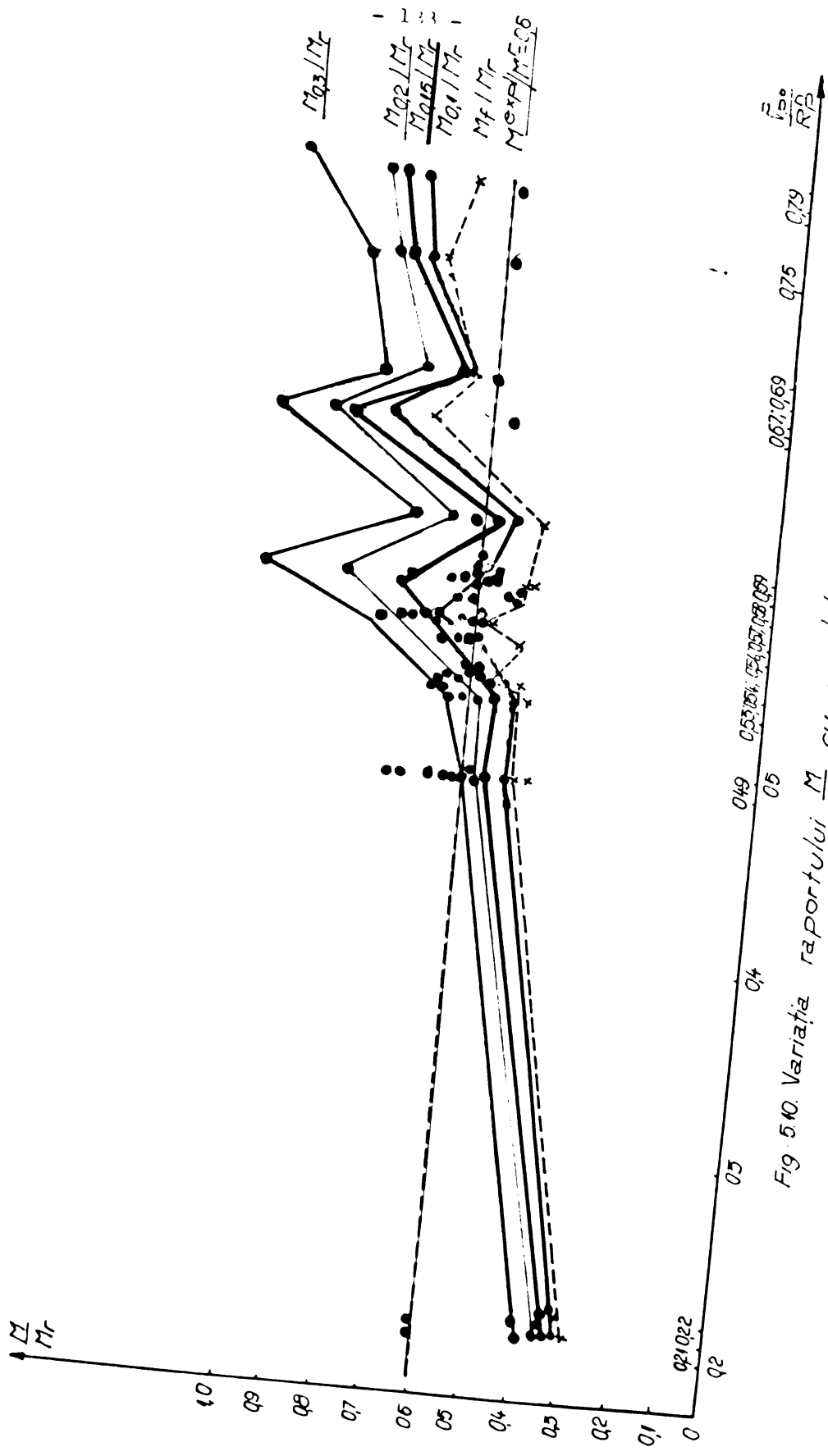


Fig. 5.10. Variația raportului $\frac{M}{M_r}$ cu gradul de precomprimare

turii de a transfera efort betonului prin mecanismul de aderență:, la grade de precomprimare înalte, saltul de efort din fisură nu este suficient pentru formarea de noi fisuri (tradus în limbajul elementelor care variază în graficul citat, creșteri de moment corespunzătoare aceluiași deschideri de fisuri experimentale, trebuie să fie mai mari, cu creșterea gradului de precomprimare).

Reprezentarea grafică din fig.5.10 demonstrează totodată că mecanismul aderenței funcționează la elementele la care se referă această lucrare pînă la deschideri de fisuri de ordinul 0,3 mm, deschidere care nu mai este semnificativă la betonul precomprimat.

S-a studiat și variația momentului de rupere experimental cu procentul de armare (fig.5.11)

Se observă că pentru o creștere a procentului de armare de 2,1 ori, momentul de rupere crește de 1,4 ori, cu o tendință de stabilizare între valorile procentului de armare $\mu_p = 1,1\%$ și $\mu_p = 1,7\%$.

De fapt, această dependență se obține din formula de calcul a momentului de rupere:

$$M_r = A_p \sigma_1 (h_0 - 0,5 x) \quad (5.10)$$

Ținînd cont de expresia simplificată a efortului limită din armătura pretensionată :

$$\sigma_1 = m_p R_p \quad (5.11)$$

și înlocuind pe m_p obținem :

$$M_r = \left(\mu_p - K \mu_p^2 \frac{R_p}{R_c} \right) R_p \gamma b h_0^2 \quad (5.12)$$

relație confirmată de experimentări.

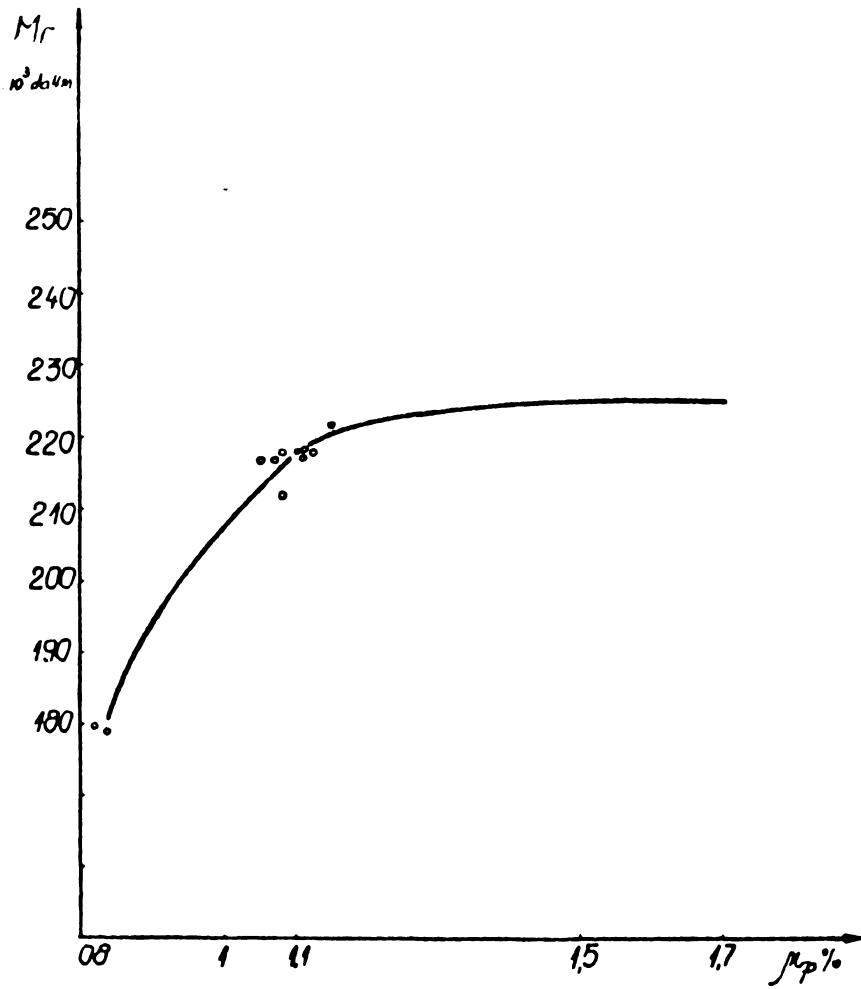


Fig. 5.11. Variația momentului de rupere experimental cu procentul de armare

Cap.6 Concluzii. Propuneri de valorificare.

6.1 Rezultatele finale ale studiului întreprins

În țara noastră, în ultimii ani, s-au desfășurat în cadrul unor programe ample de cercetare științifică /75/,/76/, /77/,/87/,/91/,/92/,/93/,/94/,/95/, cercetări sistematice în domeniul betonului armat și precomprimat.

Cercetările efectuate de autor între anii 1970-1976 pe elemente precomprimate solicitate la încovoiere sau încovoiere cu forță tăietoare, în colaborare cu INCERC București au avut drept scop determinarea influenței diferiților parametri asupra apariției, formării și dezvoltării fisurilor și studierea stării limită de rezistență pentru elemente precomprimate cu armătură preîntinsă sub formă de toroane TBP și bare groase PC 90, precum și stabilirea unor relații de calcul ori limitări constructive, care să permită o mai bună apreciere a siguranței construcțiilor în condiții economice avantajoase.

Dintre principalii parametri care influențează comportarea la moment încovoiator s-au analizat :

- structura intimă a betonului,
- caracteristicile sale mecanice, în special rezistența la întindere,
- calitatea, cantitatea și modul de distribuție a armăturii longitudinale pretensionate în secțiune,
- armarea transversală,
- gradul de precomprimare,
- forma și dimensiunile secțiunii.

Pornind de la ideea că betonul este un material eterogen, prezentînd o serie de discontinuități "defecte de struc-

tură " s-a căutat să se dea o explicație generală fenomenelor de microfisurare și fisurare, pentru elementele din clasa a II-a și a III-a de fisurabilitate și să se verifice premisele calculului în stadiul III (precizia de evaluare, cu formulele din normativul românesc fiind din acest punct de vedere deosebită, 1 - 2%, dacă se iau în considerare caracteristicile fizico-mecanice ultime efective ale betonului și oțelului, determinate experimental).

Microfisurarea gradată a structurii în zonele de defecte datorită concentrărilor de tensiuni ce apar la marginile golurilor, conduce treptat la fisurarea vizibilă; betonul are memorie; chiar precomprimarea, care introduce o stare de eforturi favorabilă în beton perturbă la transfer zona de contact dintre armătură și beton, compactînd structura și influențînd ulterior, funcție de gradul de precomprimare, fisurarea pe direcția eforturilor preponderente din încărcare.

Avînd în vedere că în prezent marea majoritate a elementelor precomprimate se execută cu armătură preîntînsă din toroane TBP sau bare groase PC 90 și că o serie de aspecte ale comportării acestora la fisurare nu-și găsesc reflectarea cea mai corectă în formulele existente de calcul, studiul efectuat în cadrul acestei lucrări apare necesar în vederea obținerii unui grad de siguranță suficient în exploatare a elementelor cărora li se permite să lucreze cu fisuri de deschideri limitate, în serviciu (clasa a II-a și a III-a de fisurabilitate).

Importanța problematicii abordate se reflectă și în existența a numeroase studii care analizează o serie de aspecte legate de comportarea elementelor de acest tip la acțiunea momentelor încovoietoare, ori a momentelor încovoietoare și forțelor tăietoare /91/, /109', /67/.

Obiectivele cercetării. Elemente experimentale
analizate

După studierea unei bibliografii cuprinsa în cele 116 titluri citate s-au stabilit principalii parametri care influențează în mod deosebit fisurarea și capacitatea de rezistență a elementelor de beton precomprimat cu armătură preîntinsă.

Observațiile culese din încercările proprii au fost comparate cu cele obținute de alți autori putînd realiza astfel, în condiții economicoase, influența unui număr cît mai mare de parametri.

Studiul întreprins a permis acumularea unor date experimentale și teoretice importante în vederea îmbunătățirii calculului la fisurare și la capacitatea de rezistență a elementelor precomprimate cu bare groase și toroane.

Obiectivele cercetării au fost : studierea dinamicii fisurării la betonul precomprimat, a apariției, formării și dezvoltării fisurilor normale, a deschiderii acestora, a capacității de rezistență și gradului de siguranță real al elementelor de construcții de acest tip.

Programul experimental a cuprins 18 grinzi de mare deschidere cu secțiune T sau I și anume :

14 elemente armate cu toroane TBP 9 și TBP 12,

4 elemente armate cu bare groase PC 90.

Deasemeni, în lucrare se analizează o serie de rezultate obținute pe grinzi de 4,2 m deschidere (32 elemente) cu secțiune I și înălțime 40 cm.

În cap. 3 și 4 se descriu în detaliu elementele experimentale, parametri variabili, execuția grinzilor, experimentarea lor, iar în Anexă sînt prezentate aspecte de la execuție și încercare.

a. Apariția fisurilor normale

Apariția fisurilor normale nu este considerată o stare limită pentru normativul românesc de calcul, totuși, acest fenomen reprezintă un moment important pentru elementele de beton, beton armat și meton precomprimat s-a analizat în primul rând.

Fisurarea provocată de ruperea betonului la întindere nu se produce brusc ci se dezvoltă în timp, prin formarea de microfisuri în masa de beton,

Apariția acestora, în zonele de concentrări de tensiuni din preajma golurilor modifică forma inițială a cauzei care le-a generat, alungindu-le, sporind în acest mod concentrările de tensiuni inițiale.

Ruperea vizibilă este exteriorizare unor ruperi interne fiind pregătită și condiționată de dezvoltarea microfisurilor din structură.

Pentru a întârzia apariția fisurilor, deci pentru a spori durabilitatea unui element, constructorul poate să îmbunătățească structura materialului, prin dispunerea în masa de beton a unor punți capabile să preia întinderile maxime și să frneze dezvoltarea accelerată a propagării lor; este cazul betoanelor microarmate, sau poate să optimizeze modul de dispersare a armăturilor pe secțiune și în lungul elementului (la betonul precomprimat acest deziderat se obține prin folosirea armăturii pasive care controlează fisurarea).

În cap. 2.2 se dezvoltă influența diversilor factori asupra apariției fisurilor : performanțele betonului la întindere, natura și forma agregatului, dispersarea armăturii în beton, calitatea, cantitatea și caracteristicile de

aderență a barelor și implicit, capacitatea lor de a transfera prin aderență eforturi betonului.

În ceea ce privește calculul la apariția fisurilor se adoptă în general, pentru elementele din clasa I-a, concepția evitării fisurilor, respectiv o probabilitate redusă de apariția a lor.

Prescripțiile de calcul din unele țări prevăd modalități de asigurare a probabilității reduse de apariție a fisurilor: astfel, proiectul de Recomandări CAER RS 119-74 (pct. 2.5.1) /102/ prevede verificarea la apariția fisurilor normale sub încărcări de calcul.

În Recomandările CEB-FIP 1972 /31/ și în normativele CP 110-72 /34/ și DIN 1045-72 /18/ se prevede verificarea la decompresiune sub încărcările de exploatare.

În normativul românesc STAS 10107/0 1976 /104/ este prevăzut pentru elementele precomprimate din clasa I-a, un calcul la închiderea fisurilor normale, punând condiția ca eforturile unitare să fie numai de compresiune /108/.

Dacă se consideră că fisurile provocate de diverse cauze cum ar fi: contracția, temperatura, eforturile accidentale etc nu pot fi evitate și dacă avem în vedere caracterul aleator al alungirilor limită a betonului la întindere, rezultă că închiderea fisurilor normale sub sarcini de exploatare nu este suficientă, nu prezintă garanția certă că, între limitele probabilității admise fisurile se vor închide sub sarcinile de exploatare /87/.

Încercările efectuate pe grinzi precomprimate de mare deschidere 9...18 m armate cu bare groase PC 90 și toroane TBP la care se referă această teză de doctorat, au arătat că închiderea fisurilor se produce complet pentru încărcări mai mici decât cele de exploatare.

Nu trebuie neglijat faptul că existența fisurilor în timp periclitează siguranța elementelor, avînd consecințe nefavorabile asupra conservării armăturii tensionate și că dezvoltarea fisurilor se accentuează la încărcări de lungă durată sau repetate.

Plecînd de la analiza teoretică și verificarea experimentală a formulelor 2.24, 2.26, 2.27 în care fenomenele de "pseudoplasticizare" ale betonului în stadiul I limită sînt prinse prin coeficientul δ care multiplică pe W_0 dînd modulul de rezistență al secțiunii fisurate, coeficientul δ depinzînd în exclusivitate de forma secțiunii, în lucrare s-a propus o expresie originală pentru calculul momentului de fisurare, considerîndu-se că verificarea la apariția fisurilor reprezintă o condiție esențială în vederea asigurării unei bune exploatare, mai ales cînd se impun condiții de impermeabilitate, sau cînd elementele lucrează în medii puternic corosive.

Expresia propusă este de forma :

$$M_f^x = W_0 R_t^x + M_0^B \quad (2.2.9)$$

pentru care s-a dedus valoarea lui R_t^x , rezistența la întindere aparentă a betonului, pe baza aceluiași încercări :

$$R_t^x = (K + 10 \mu_{ap}) R_t + 0,1 \sigma_{bp} \quad (2.2.10)$$

în care se include influența calității armăturii tensionate (prin coeficientul K), a cantității armăturii longitudinale prin procentul de armare total $\mu_{ap} = \frac{A_p + A_a}{b h_0}$, A_a fiind armătura pasivă și intensitatea precomprimării prin valoarea σ_{bp} .

Pentru rezistența la întindere a betonului s-a considerat valoarea calculată din rezistența la compresiune, conform prevederilor STAS 10107/0 -1976.

Dinamica fisurării la betonul precomprimat

În cap.2.2 s-a prezentat mecanismul apariției microfisurilor și variația intensității lor, iar în cap. 2.3 s-a studiat dinamica fisurării la betonul precomprimat.

La elementele de beton precomprimat cu armătură preîntinsă efortul introdus artificial, devenit activ prin transfer modifică starea intimă de tensiuni și deformații din preajma armăturii tensionate (aceste modificări fiind mai importante la barele cu profil periodic comparativ cu toronele).

Pentru zona centrală a grinzilor încovoiate, apariția primelor fisuri este întâmplătoare (cap.2.3) poziția lor fiind condiționată de ieșirea din lucru a secțiunilor celor mai slăbite (cu $\bar{\epsilon}_{bt}$ minime și R_t minime).

Momentul acesta este plasat mai devreme sau mai târziu funcție de gradul de precomprimare al elementului, când în fibra întinsă de beton s-a atins efortul zero se mai dispune de o rezervă de rezistență condiționată de capacitatea de alungire a betonului întins; factorii de influență sînt: modul de dispersare al armăturilor, calitatea, cantitatea și diametrul lor, capacitatea armăturii de a transfera betonului eforturi și bineînțeles, rezistența, deformabilitatea betonului la întindere și volumul de beton cuprins în zona de influență a armăturilor.

În armătură, în dreptul fisurii se produce un salt, care depinde de nivelul efortului efectiv din armătura pre-tensionată σ_p , și de aderență: slabă ori puternică (fig. 2.11).

Eliberarea instantanee de energie datorită ruperii betonului produce un șoc, care conduce la distrugerea legăturii beton armătură pe o lungime δ , zonă care variază invers

proporțional cu aderența.

La o anumită distanță λ de zona cu aderență distrusă, oricare ar fi legea de distribuție a eforturilor de aderență în lungul barei, se regăsește situația inițială a betonului nefisurat. Mărimea λ variază invers proporțional cu aderența).

Prin urmare, fisurarea perturbă o zonă de lungime $X = \lambda + \delta$, de o parte și de alta a unei fisuri. Pe distanța de transmitere a eforturilor de la armătură la beton, eforturile din beton sînt mai mici decît rezistența la întindere a acestuia și posibilitatea apariției unei noi fisuri, în acest interval este mai scăzută.

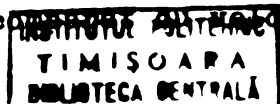
Fisuri noi se vor produce la o distanță mai mare decît X , deci posibilitatea apariției unei noi fisuri între două existente devine realitate numai dacă distanța care le separă este mai mare decît $2x$.

Inceputul fisurării antrenează o distanță minimă dintre fisuri, creșterea rezistenței la întindere a betonului prin omogenizarea lui face ca în situația stabilizată a fisurării forțele transmise de armătură betonului să nu fie suficiente pentru a atinge rezistența la întindere a acestuia.

Deschiderea fisurilor

Teoriile fisurării se referă la situația stabilizată cînd principalele caracteristici: tensiuni și deformații în armătură și beton au valori medii (fig.2.11).

Pentru elementele din categoria a II-a și a III-a de fisurabilitate (cărora li se permite să funcționeze cu fisuri de deschideri limitate în serviciu) s-au calculat deschiderile de fisuri, considerînd forța de precomprimare N_0 aplicată cu excentricitatea e_0 ca o acțiune și s-au



deschiderilor experimentale.

În cap.2.3 s-a admis că valorile deschiderilor fisurilor admit o distribuție normală, Gaussiană, definindu-se în acest fel valoarea caracteristică a deschiderii fisurilor valoare ce prezintă o anumită probabilitate de a nu fi depășită (α_f^k este o valoare maximă probabilă, cu o probabilitate de 5%).

$$\alpha_f^k = 1,3 \alpha_f (1 + t c_v) \quad (2.3.1)$$

Admițând pentru $t = 1,64$ și $c_v = 0,4$, conform prevederilor din Recomandările CEB-FIP, rezultă :

$$\alpha_f^{\max} = 2,16 \alpha_f \quad (2.3.2)$$

unde α_f este valoarea medie.

Considerarea acestei valori caracteristice prezintă un grad de siguranță sporit comparativ cu valoarea medie preconizată de STAS 10107/0-76, mai ales că elementele din clasa aII-a de fisurabilitate, care lucrează cu fisuri permise în exploatare, fiind de diametre mici prezintă o deosebită susceptibilitate la acțiunea agenților agresivi.

Deschiderea fisurilor depinde de distanța dintre fisuri, de saltul de efort din armătura pretensionată și de luarea în considerare a lucrului betonului pe distanța dintre fisuri.

Distanța dintre fisuri

Incercările proprii pe elemente la care gradul de precomprimare a variat de la 0,2 la 0,8 (s-a considerat această mărime ca raportul dintre $\bar{\sigma}_{p0} / R_p^n$) au permis să se stabilească că gradul de precomprimare nu influențează distanța dintre fisuri la elementele cu armătură preîntinsă în zona de moment încovoietor preponderent.

Aceste rezultate (fig.5.3) comparate cu cele ale altor autori au permis să se sesizeze o deosebire între modul de

comportare a elementelor din beton greu cu armătură prefintinsă și cele de beton ușor /109/.

S-a ajuns la concluzia că mecanismul de aderență, cu toate componentele sale funcționează pînă la pierderea capacității de rezistență la elementele cu armătură prefintinsă din beton greu, cu perturbări mai mari sau mai mici în dreptul fisurilor ; acest mecanism face ca fisurarea să fie constrînsă, stabilizarea fisurilor realizîndu-se independent de gradul de precomprimare.

Cele prezentate în /102/ demonstrează că, pe măsura creșterii gradului de precomprimare la elementele studiate în lucrarea citată se produc, la transfer în zona de contact armătură - beton distrugerii locale care conduc la discontinuități în funcția de legătură oțel-beton.

Aceasta face ca rezultatele obținute privind dependența dintre λ_f și $\frac{\bar{\sigma}_a}{\sigma_a}$ (în sensul unei ușoare creșteri a distanțelor dintre fisuri cu gradul de precomprimare) să fie comparabile cu acelea raportate de Pons și Pinglot /96/ pe elemente cu armătură postintinsă.

Avînd la dispoziție un amplu material privind distanțele experimentale dintre fisuri (71 grinzi) a fost posibil să se facă, în cadrul acestei lucrări, o prelucrare statistică a valorilor experimentale λ_f , constatîndu-se un coeficient de variație cuprins între 15-45%, mai mare la elementele de mare deschidere și mai redus la grinzile de înălțime mică (h= 40 cm)

La calculul deschiderilor de fisuri s-au folosit formulele 2.3.61, 2.3.62, 2.3.67, 2.3.72, 2.3.73.

Aceste formule s-au confruntat cu datele experimentale valori ale deschiderilor medii și maxime de fisuri (tab.55 și tab.5.6).

Pentru deschiderea experimentală de 0,1 mm, cea mai semnificativă deschidere pentru elementele din clasa a II-a armate cu toroane TBP, din tab.5.10 rezultă că considerarea valorii medii a deschiderilor calculate drept criteriu de valabilitate a unei formule nu este suficient și că media rapoartelor $\frac{\alpha_f^{exp}}{\alpha_f^{calc}}$ este mai semnificativă din punct de vedere statistic.

Pe baza acestor considerente formula 2.3.73 este cea mai simplă și prezintă cea mai mare omogenitate :

$$\alpha_f = 0,7 (\Delta\sigma_p - 8,3) 10^{-4} [mm] \quad (2.3.73)$$

Pentru deschiderea maximă de fisură α_f^{max} , analiza rezultatelor din tab.5.10 a permis formularea propunerii ca prevederea STAS 10107/0-1976 cu privire la calculul deschiderii fisurilor normale (formula 2.3.17) considerînd $\psi = 1$ și $\lambda_f = a$ (a = distanța dintre etrieri) să fie completată astfel:

Deschiderea fisurii care se obține cu această formulă:

$$\alpha_f = \lambda_f \cdot \frac{\Delta\sigma_p}{E_p} \quad (2.3.17)$$

este o deschidere maximă, deoarece nu se ia în considerare lucrul betonului întins pe distanța dintre fisuri. Această interpretare permite, pentru elementele experimentate de autor, stabilirea deschiderii calculate pentru o deschidere experimentală maximă de 0,1 mm cu o precizie satisfăcătoare ($\alpha_f^{calculat} = 0,10945$)

Toate formulele prezentate dau valori de calcul mult mai mici decât cele experimentale pentru grinzile de beton pre-comprimat armate cu bare groase PC 90., deci calculul nu este acoperitor.

Luarea în considerație a coeficientului de conlucrare $\psi \leq 1$, calculat după prevederile STAS 10107/0-76 nu face decât să reducă și mai mult deschiderile calculate ale fisurilor.

Aceasta se explică prin luarea în considerare, de către

toate formulele citate a unei stări stabilizate de fisuri în timp ce experimentările au demonstrat că această situație apare la elementele precomprimate armate cu bare groase mult mai târziu, în preajma ruperii, distanța medie stabilizată dintre fisuri fiind de 2-3 ori mai mică decât distanța maximă.

Verificări experimentale pe elemente de suprafață încercate în cadrul catedrei de Beton armat de la Iași au permis autorului să propună în cadrul acestei lucrări următoarea formula pentru calculul deschiderii maxime a fisurilor la elemente precomprimate cu bare groase PC 90 :

$$\alpha_f^{\max} = 2,16 (4\sigma_p - 8,3) 10^{-4} \text{ (mm)} \quad (2.3.74)$$

Formula dă rezultate satisfăcătoare la elementele experimentale din prezenta lucrare (tab.5.14)

Analizînd dependența dintre momentele încovoietoare corespunzătoare diferitelor deschideri semnificative de fisuri (0,1mm, 0,15mm, 0,2mm, 0,3mm) cu gradul de precomprimare se constată că acesta are o influență asupra deschiderii fisurilor. Este confirmarea unor observații și concluzii anterioare /75/, în legătură cu problema saltului de efort din armătură în momentul fisurării.

Valoarea acestuia este condiționată de gradul de precomprimare ; saltul depinde de valoarea efortului efectiv din armătura pratensionată în momentul fisurării; pentru nivele de precomprimare înalte saltul de efort este mai redus decât rezistența betonului la întindere, armătura nu mai este capabilă să formeze noi fisuri.

Creșteri de moment corespunzătoare aceluiași deschideri experimentale, trebuie să fie mai mari, cu creșterea gradului de precomprimare.

Starea limită de rezistență

În cap.2.4 s-au analizat o serie de aspecte privind gradul de siguranță necesar pentru evitarea atingerii unei anumite stări limită.

Aspectele abordate se referă la : atingerea stării limită de rezistență prin deformații excesive, prin deschiderea exagerată a fisurilor normale, sau prin apariția fisurilor înclinate.

Deformații excesive ale unei grinzi însoțite de deschiderea exagerată a fisurilor normale apar ca urmare a depășirii nivelului de încredere prevăzut sau a nerealizării caracteristicilor efective ale elementelor experimentale (în special mărimea forței de precomprimare.

Deformațiile unei grinzi constituie semnalul, de avertizare a epuizării capacității de rezistență.

Apariția fisurilor normale nu constituie o avertizare a ruperii. Apariția lor la o solicitare mai mică decât cea calculată se datorează unei precomprimări mai reduse decât cea prescrisă, fie a unor rezistențe inferioare a betonului la întindere. Când armătura longitudinală este insuficientă, rezistența la întindere a betonului fiind mare, saltul de efort din armătură este atât de important încât apariția fisurilor normale poate constitui nu numai o avertizare a ruperii ci și cauza unei ruperi iminente.

Pentru evitarea acestei situații prescripțiile prevăd procente longitudinale minime de armare (prescripții mai vechi prevedeau raportul minim $M_f / M_r = 0,8$). La stabilirea acestor limitări trebuie să se ia în considerare în calcul rezistența maximă probabilă a betonului la întindere, ca cea mai defavorabilă.

Deschiderea exagerată a fisurilor normale însoțită de o dezvoltare a lor pe înălțimea grinzii este un semn de avertizare a ruperii.

La elementele de beton precomprimat cu armătură prefabricată realizată din toroane TBP, cu distanța relativ mică între reazemul grinzii și capătul elementului, apariția fisurilor înclinate este un semnal de avertizare a ruperii.

În lucrare s-au analizat aspecte privind comportarea grinzilor la fisurare și la capacitatea de rezistență. Această stare ultimă este prinsă corect în calcul de normele românești. Compararea valorilor experimentale cu cele teoretice, obținute luând în considerare caracteristicile reale ale oțelului și betonului (caracteristici determinate experimental) au confirmat cele afirmate mai sus.

Calculul s-a condus considerând diagrama uniformă de repartiție a eforturilor de compresiune în beton /97/, ipoteză care introduce față de situația reală o variație a momentului de rupere între 0,9 și 10,5%.

Propuneri de valorificare

Pe parcursul încercărilor au fost experimentate 18 grinzi de mare deschidere variind între 9 și 18 m de beton precomprimat armate cu bare groase PC 90 sau toroane TBP 9 și TBP 12.

Pentru susținerea propunerilor de calcul au mai fost prelucrate sau analizate rezultatele obținute pe 32 de elemente cu deschiderea de 4,9 m și înălțime 40 cm, precum și 24 elemente de beton de granolit armate cu toroane și armătură pasivă și 12 elemente sde suprafață din beton precomprimat armate cu bare groase.

Așa cum s-a prezentat în teza modul de calcul la

fisurare și la capacitatea de rezistență din prescripțiile oficiale românești STAS 10107/0-1976 sînt corespunzătoare, concordanța cu valorile experimentale fiind bună.

Autorul consideră totuși necesar să facă unele propuneri privind îmbunătățirea relațiilor de calcul, propuneri care se referă la elementele cu armătură preîntinsă:

1. Pentru elementele din clasa I-a de fisurabilitate, prevederea privind închiderea fisurilor normale sub solicitările date de încărcările de exploatare nu este suficientă, deoarece din încercări a rezultat că această închidere survine uneori la valori inferioare a încărcărilor de serviciu.

De aceea este necesar să se facă un calcul la apariția fisurilor normale, pentru care se propune în lucrare o relație originală :

$$M_f^x = W_o R_t^x + M_o^s \quad (2.2.9)$$

iar pentru rezistența "aparentă" la întindere a betonului R_t^x se propune relația:

$$R_t^x = (K + 10 \mu_{ap}) R_t + 0,1 \bar{\sigma}_{bp} \quad (2.2.10)$$

în care $\mu_{ap} = \frac{A_a + A_p}{bh_o}$, A_a fiind armătura pasivă din secțiune

$$K = 1,1 \text{ pentru TBP; } K = 1,3 \text{ pentru PC 90; } K = 0,8$$

pentru fascicule.

$\bar{\sigma}_{bp}$ este efortul în beton, în dreptul centrului de greutate al armăturii tensionate, în fața de încărcare considerată.

2. La starea limită de fisurare se precizează că este necesar introducerea valorii caracteristice pentru deschiderea fisurii, deschidere maximă probabilă pentru un nivel de încredere stabilit apriori (5%).

În legătură cu prevederea simplificatoare din STAS 10107 potrivit căreia distanța dintre fisuri la elementele din clasa a II-a de fisurabilitate poate fi considerată chiar distanța

dintre etrieri ($\lambda_f = a$), rezultatele obținute au confirmat-o deplin. Se precizează că distanța dintre etrieri trebuie să varieze între 15...25 cm (deci se propune restrângerea intervalului de variație pentru distanța uzuale dintre etrieri)

Pentru calculul deschiderii fisurilor la elementele din clasa a II-a de fisurabilitate armate cu toroane TBP se pune ca relația din STAS 10107/0 1976 cu simplificările $\psi=1$, $\lambda_f = a$ să fie completată cu precizarea că deschiderea fisurii astfel calculată reprezintă o deschidere maximă, relația interpretată în acest fel apropiindu-se de rezultatele experimentale și de fenomenul fizic, căoi neluarea în considerație a lucrului betonului întins pe distanța dintre fisuri conduce la situația cea mai defavorabilă, când întregul salt de deformație în armătură este consumat prin deschiderea fisurii.

Pentru calculul deschiderilor fisurilor la elementele din clasa a III-a de fisurabilitate, dat fiind că toate formulele de calcul dau rezultate neacoperitoare se propune o relație originală :

$$\alpha_f^{max} = 2,16 (\Delta \tilde{f}_p - 8,3) 10^{-4} [\text{mm}] \quad (2.3.74)$$

Bibliografie

- /1/ Avram C. - Calcul des structures en béton. Evolution des règlements. Paris. Travaux no.470, mai 1974
- /2/ Avram C. - Clase de verificare la fisurare pentru elementele de beton, beton armat și beton precomprimat. Comunicare la a V-a Conferință de betoane, Timișoara 1972
- /3/ Avram C., Făcăoaru I., Filimon I., Mârșu O., Tertia I. - Rezistențele și deformațiile betonului. Editura tehnică, București 1971
- /4/ Avram C., Filimon I., Capatu Ch., - Aspects concernant la fissuration des éléments en béton précontraint. Sixième Congrès de FIP, Praha, 6-13 Juin 1970
- /5/ Avram C. - Aplicarea principiilor de calcul probabilistic și semiprobabilistic la proiectarea elementelor de construcții din beton, beton armat și beton precomprimat. Elaborarea noilor prescripții în R.S. România și corelarea lor cu recomandările internaționale în acest domeniu. I.P.Timișoara, 1972, Curs postuniversitar
- /6/ Avram C. - Mathématiques et mécanique des constructions. Mécanique appliquée. Tome 19, no.3, 1974
- /7/ Avram C., Filimon I., Deutscha I., Clipii T. - Calculul la starea limită de deschidere a fisurilor la elementele de beton precomprimat de categoria a 2-a și a 3-a de fisurabilitate. Lucrare în manuscris. I.P. Timișoara 1976
- /8/ Abeles P.W. - Introduction to prestressed concrete, vol. I and II
- /9/ Abeles P.W. - Design of Partially Prestressed Concrete Beams, Journal of the A.C.I. October 1967
- /10/ A.C.I. - Standard Building code Requirements for Reinforced Concrete (A.C.I. 318-1971)

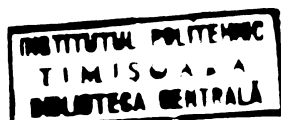
- /11/ Arga e Lima - Verification classes. Cracking in Reinforced and Prestressed Concrete. 1 Draft - May 1973 , .
Commission IV CEB
- /12/ Bauss R., Depauw V. - Précontrainte partielle. Annales des Travaux Publics des Belgique no.2,1966
- /13/ Bauss R., Brenneisen A. et Claude G. - Fissuration des Poutres Armées et Armées Précontraintes. Calcul de l'ouverture des fissures. Université de Liège, 1968.
Document Provisoire.
- /14/ Beeby A.W. - Cracking and Deformation of Partially Prestressed Concrete Beams. Cement and concrete Association, Technical Report 42465
- /15/ Beeby A.W. - Suggested modification to the crack prediction formula in the 1970 CEB Recommendations. Bul. d'inf. CEB no.89
- /16/ Beeby A.W., Taylor A.P., Mice B.S. - Cracking in partially prestressed members. Congres FIP, Praha, 1970
- /17/ Beeby A.W. - The prediction and control of flexural cracking in reinforced concrete members
- /18/ Beton-Kalender 1973 - Bemessung und Ausführung von Spannbetonteilen unter Berücksichtigung von DIN 1045 Ausgabe Januar 1972
- /19/ Benett E.W., Chandrasekhar C.S. - Calculation of the width of cracks in class 3 prestressed beams. Proceedings vol.49 July, 1971
- /20/ Bengt B. Broms - Stress distribution, Crack patterns and Failure Mechanismus of Reinforced concrete Members, Journal of the ACI dec.1964
- /21/ Bengt B. Broms - Stress distribution in Reinforced concrete Members with Tension Cracks. Journal of the ACI no.9 sept. 1965
- /22/ Beuran Marieta - Aderența și fisurarea betonului ușor de granukit. Teză de doctorat. I.P.Cluj - Facultatea de construcții 1974
- /23/ Bichara A. - Etude du problème de l'adhérence dans le béton armé. Cahier du Centre scientifique et technique du bâtiments, 1951

- /24/ Borges F.J. - Preliminary Report to CEB Commission IV Cracking. Commission meeting to be held on the 18 April 1968 in Lausanne
- /25/ Brenneisen A. - Comparison of the crack width giveb by the CEB Recommendations with those resulting from other standards and tests. Bul. d'Inf. CEB no.89
- /26/ Brenneisen A., Campus F., Dehousse N. - Recherche experimentale relative à la précontrainte partielle des poutres fléchis en béton précontraint. A.T.P.B. no.2, 1966
- /27/ Brice L.P. - Idées generales sur la fissuration du béton armé et du béton précontraint. Annales de l'Institut Technique du Bâatiment et de Travaux Publics Juin 1968
- /28/ Capatu Ch. - Cercetări privind fisurarea tiranților din beton precomprimat armați cu bare din oțel PC90. Teză de doctorat. I.P.Timișoara 1970.
- /29/ Cestelli Guidi, C., Radogna E.F. - Contributo Teorico Sperimentale allo Studio della Precompressione Parziale. L'Industria Italiana del Cemento, no.10, ottobre, 1964
- /30/ Cestelli Guidi C. - Recherches experimentales et applications de la précontrainte partielle effectuées en Italie, A.T.P.B. no.2, 1966
- /31/ CEB - Recommendations Internationales pour le calcul et l'execution des ouvrages en béton. Principes et Recommendations. Rédaction mai 1972, Leningrad
- /32/ CEB - Manuel des prinvipes
- /33/ Chaikes S. - Le béton partiellement précontraint. Etude théorique, essais et réalisations. Annales des Travaux Publics du Belgique, Avril 1966
- /34/ C.P.llo - Cod of Practice for the structural use of concrete British Standard Institution, Nov. 1972
- /35/ Deutsch I. - Contribuții la fisurarea elementelor de beton armat solicitate la incovoiere cu forță tăietoare. Teză de doctorat. I.P.Timișoara, 1970

- /36/ Deutsch I. - Unele aspecte ale conlucrării betonului cu armătura la elemente de beton armat. Bul.St.și Tehn. al IPT. Seria Constr., Tom 16, fasc.1, ian.-iunie 1971, Timișoara
- /37/ Deutsch I. - Determinarea variației eforturilor de-a lungul armăturii întinse la grinzile armate fisurate, folosind metoda fotoelastică pe modele armate. Bul.St. și Tehn. al I.P.T. Tom 17/31 Fasc.1-1972
- /38/ DIN 4227 - Spannbeton. Rechtlinien für Bemessung und Ausführung. Beton-Kalender 1968
- /39/ Dmitriev S., Birulin I.F. - Rascriție treščin v predvaritelno napreajennih jelezobetonnih elementah pri pov-tornom nagruženii. Beton i jelezobeton no.5, 1970
- /40/ Dumitrescu D., Savulian G. - Stadiul actual și perspectivele de dezvoltare a teoriei și practicii betonului precomprimat. Conferința de betoane, Constanța, 1973
- /41/ Dukov E. - Principiul matematic de calcul al grinzilor cu placă din beton armat. Stroitelstvo, R.P.Bulgaria nr.1, 1971
- /42/ Evans R., Marathe M. - Stress distribution around holes in concrete. Matériaux et constructions RILEM 1/1968
- /43/ Fauchart J. - Beton armat precomprimat (rezul III). Determinarea armăturii pasive minime de dispus pe o secțiune de cofraj și precomprimare dată. Annales de l'I.T.B.T.P. de Belgique no.5, 1974
- /44/ Fauchart J., Trinth J. - Comportarea sub sarcini repetate a unor grinzișoare din beton armat precomprimat. Annales de l'I.T.B.T.P. nr.5, 1974
- /45/ Filimon I., Deutsch I., Toma Al. - Studiu teoretic și experimental privind apariția și dezvoltarea fisurilor la elementele încovoiate din beton precomprimat, solicitate la încărcări statice și dinamice. Bul. St. și Tehn. I.P.T. Tom 19(33) fasc.1, 1974
- /46/ Filimon I., Deutsch I., Irășiu A. - Studiu experimental privind fisurarea elementelor de beton armat de secțiune T solicitate la încovoiere cu forța tăietoare. Bul.I.T.T., Tom 18(32) fasc.1, 1973

- /47/ Filimon I., Deutsch I. - Teoria apariției fisurilor înclinate la elementele de beton precomprimat cu armătura aderentă, solicitate la încovoiere cu forță tăietoare. Bul.St. și Tehn. I.P.T. tom 16(30) fasc.2, 1971
- /48/ Filimon I., Deutsch I., Paius S. - Calculul mărimii deschiderii fisurilor la elementele de beton precomprimat de categoria a 2-a și a 3-a de fisurabilitate cu considerarea lucrului zonei întinse a betonului de deasupra fisurilor. Lucrare în manuscris. I.P.T. 1976
- /49/ Freyssinet E. - Préface à "Béton armé" par E.Guyon 1963
- /50/ Găină N., Damian Fl. - Influența tipului și distribuției armăturii pretensionate asupra rezistenței la fisurare a elementelor de beton precomprimat. Studiu documentar INCERC - 1972
- /51/ Gergely P. and Lutz L.A. - Maximum crack width in reinforced concrete flexural members. Causes, mechanism and control of cracking in concrete. A.C.I. Publication S.P.-20-1968
- /52/ Guyon Y. - Construction en béton précontraint. Classes. Etats limites. Chap.XVIII. Ed.Eyrolles - Paris
- /53/ Gvozdev A.A., Dmitriev S.A. - Cu privire la calculul la fisurare a secțiunilor de beton armat și beton precomprimat. Beton i jelezobeton no.5 mai, 1957
- /54/ Hughes B.P. and Chapman G.P. - The complete stress-strain curve for concrete in direct tension RILEM Bulletin no.30, March 1966
- /55/ Holmberg A. - Minimum reinforcement for crack control. Draft proposal 1972
- /56/ Holmberg A. - Crack under imposed deformations. Bul. d'Inf.no.89
- /57/ Holmberg A., Lindgrin S. - Crack spacing and crack widths due to normal force or bending moment. Document D2, 1970. The National Swedish Institute for Building Research. Stockholm, 1970

- /58/ INCERC - Perfecționarea metodelor de calcul ale elementelor din beton, beton armat și beton precomprimat. Calculul elementelor la stări limită ale exploatării normale. Referat INCERC aprilie 1975
- /59/ INCERC - Indrumător pentru metodologia de încercare a prototipurilor și seriei zero la elemente prefabricate, din punct de vedere al comportării statice. Redactarea a II-a, octombrie, 1975 B.A.P.
- /60/ INCERC - Metodă perfecționată de calcul pentru elementele din beton, beton armat și beton precomprimat privind formarea și deschiderea fisurilor sub acțiunea momentelor încovoietoare, forțelor tăietoare și torsiunii, mai, 1974
- /61/ Instruction... - Instruction provisoire 1973 (République Française) Conception et calcul du béton précontraint.
- /62/ Krahl N.W., Khachaturian N., Siess Ch. - Stabilitatea fisurilor de întindere în grinzile de beton. Journal of the ASCE febr.1967
- /63/ Kuczyński W., Goszczyński S. - New cracking theory of reinforced concrete beams - Archiwum Inżynierii Lądowej- tom XIII-23, 1967
- /64/ Lambotte H., Thomas P. - Le béton partiellement précontrainte sous conditions d'utilisation. Resultats et recherches experimentales. A.T.P.B. 3 - 1973-1974
- /65/ Leonhardt F. - Effort tranchant et torsion en béton précontraint. VI-e Congrès de la FIP, Prague, 1970
- /66/ Lin T.Y. - Design of Prestressed Concrete Structures, Second Edition, 1967
- /67/ Löbel L. - Influența unor parametri asupra comportării sub încărcare și a capacității portante a grinzilor încovoiate din beton precomprimat. Teză de doctorat. I.C.București, 1973
- /68/ Löbel L. - Considerațiuni privind variația siguranței reale a grinzilor încovoiate de beton precomprimat. A doua conferință de betoane, Constanța, 1969



- /69/ Louis H., Bauss R., Brenneisen A. - Influence de la déformation et de la tension initiale des fils sur le comportement des poutres précontraintes. A.T.P.3. Avril, 1966
- /70/ Macchi G. - Fessurazione della Strutture Precomprese e Parzialmente Precomprese. L'Industria Italiana del Cemento, no.10, ottobre 1964
- /71/ Mianowski K. - Annulation d'adhérence comme base des fissures. Bul. d'Inf.CEB no.89, Mars 1973
- /72/ Mianowski K. - Fissures obliques dans la zone sollicitée par l'effort tranchant et moment flechissant. Bul. d'Inf. CEB no.89, Mars, 1973
- /73/ Mihăescu A. - Contribuții la calculul distanței și deschiderii fisurilor la elementele de beton armat solicitate la compresiune excentrică. Autoreferatul pentru obținerea titlului de doctor inginer. I.P.T., 1966
- /74/ Mihul A. - Procedee de dirijare a eforturilor inițiale introduse în elementele de beton precomprimat în vederea măririi capacității de rezistență și a îmbunătățirii comportării lor în exploatare. Teză de doctorat. I.P.Iași 1972
- /75/ Mihul A., Nour Doina - Considerațiuni asupra concepției de calcul a elementelor de beton, beton armat și beton precomprimat la fisurare. Comunicare la sesiunea științifică a I.P.Cluj, 1974
- /76/ Mihul A., Nour Doina - Metode de calcul și alcătuirii constructive pentru construcțiile din beton armat și beton precomprimat. Rigiditatea elementelor din beton armat în calculul structurilor. Faza I - referat cercetare către INCERC București, 1975
- /77/ Mihul A., Patraș M., Nour Doina, Florea N. - Propuneri preliminare privind calculul, metodologia de încercare și aprecierea forței de fisurare și evoluției fisurilor. Referat pentru INCERC București, aprilie, 1972.
- /78/ Mihul A. - L'influence des défauts structuraux sur l'état d'efforts et de déformations élastiques-plastiques

du béton au agrégats usuels. Symposium on plastic analysis of structures, Iași, 6-8 sept.1972

- /79/ Mihul A. - On the influence of pores and gap area in the process of cement stone and concrete failure. Bul.I.P.I., Tom XX, fasc. 3-4, sect.V, 1974
- /80/ Mihul A. ș.a. - Experimentarea de rezistență a grinzii principale curente G 18 - 12 - 7 element component la realizarea corpului de producție a fabricii de volvatir Tg.Neamț (contract nr.4185/72)
- /81/ Mihul A. ș.a. - Referat cu privire la analiza comportării pînă la pierderea capacității de rezistență a unei grinzi de 18 m cu bare groase PC90 (contract nr.4613/1970)
- /82/ Mihul A. ș.a. - Analiza modului de comportare pînă la pierderea capacității de rezistență a grinzii de 12 m deschidere precomprimate cu bare groase PC90 (contract 4611/1970)
- /83/ Negoescu E. - Studiul conlucrării betonului cu armătura la elementele încovoiate și întinse excentric. Rezumatul tezei de doctorat. I.C.București, 1969
- /84/ Negoescu E. - Calculul elementelor de beton armat solicitate la încovoiere cu considerarea deplanării secțiunilor. Referat la a III-a conferință de betoane, Cluj, 1970
- /85/ Nemirovski M. - Isledovanie napreajeno-deformirovanovo sostoiania jelezobetonnih elementov s ucetom raboti rastianutovo betona nad trescinami i peresmotrina etoi osnovne teorii rasceta deformații i rascritia trescin. Volumul Procinosti i jestcosti jelezobetonnih construcții de A.A.Gvozdeev
- /86/ Neville A.M. - Some problems in inelasticity of concrete and its behaviour under loading. Structural concrete, no.5, sept. - oct. 1966
- /87/ Nour Doina, Patrăș M. - Apariția fisurilor în elementele de beton precomprimat solicitate la încovoiere. Propuneri de calcul. Conferința de betoane, Cluj, 1976
- /88/ Nour Doina - Conlucrarea între beton și armătură. Referat doctorat, martie 1972, Timișoara

- /89/ Nicula I., Weisenberg M. - Stări limită ale capacității portante la elementele de beton, beton armat și beton precomprimat. Analiza nivelului de siguranță realizat pe baza normelor. Date experimentale și confruntarea lor cu rezultate de calcul. Conferința a V-a de betoane, Timișoara 1972
- /90/ Nicolau V. - La fonction d'interaction béton-armature dans le béton armé. Bul.St. al I.C.București, anul XI, no.2, 1968. Teză de doctorat.
- /91/ Patraș M. - Contribuții la studiul stărilor limită de fisurare și rezistență în secțiuni înclinate la elementele precomprimate cu bare groase (PC90) și toroane (TBP). Teză de doctorat. I.P.Timișoara 1975
- /92/ Patraș M., Nour Doina ș.a. - Tipuri noi eficiente de elemente prefabricate din beton armat și beton precomprimat pentru construcții industriale, agrozotehnice, de locuit și social-culturale, construcții inginerești. Subtema 1 "Grinzi jug din beton precomprimat de 9 m" (2 bucăți). Referat cu concluzii. Contract P 234/1975. Mai 1975
- /93/ Patraș M., Popescu P. - Referat cu concluzii privind rezultatele experimentărilor din 1973-1974 la I.P.Iași Referat INCERC iunie 1974
- /94/ Patraș M., Popescu P., Popăescu A. - Studiu final cu recomandări pentru completarea prescripțiilor de calcul (Referat CAER pentru INCERC) decembrie 1974
- /95/ Patraș M. - Studiu final de sinteză asupra rezultatelor cercetărilor și propuneri provizorii pentru perfecționarea metodei de calcul. Referat INCERC ian.1975
- /96/ Pinglot M., Pons G. - Contribution à l'étude du béton partiellement précontrainte. Congrès de la FIP, New-York 1974
- /97/ Popa P.- Comportarea betonului ușor precomprimat la încovoiere în stările limită de rezistență, fisurare și deformații. Teză de doctorat. I.C.București 1975
- /98/ Popăescu A. - Pierderi de tensiune datorită relaxării la armături pretensionate din toroane 7Ø3 și 7Ø4. Conferința a V-a de betoane, Timișoara 1972
- /99/ Popescu P. - Studiu experimental privind comportarea și capacitatea portantă a grinzilor din beton precomprimat sub acțiunea forțelor tăietoare și momentului în-

covoietor, S.C.I. no.7 1973

- /100/ Rosdam S., Byskow E. - Fracture Mechanics Approach to Determine Crack Lengths. Bul.d'Inf.CEB no.89, mars 1973
- /101/ Riessaw F.G. - Conception et réalisation actuelle d'ouvrages en béton partiellement précontraint A.T.P.B. no.31 1973-1974
- /102/ R.S.119-74 - Recomandații po standardizații betonnnfie i jelezobetonnie construcții. Rucovodstvo po proectirovanie 1974 (Recomandări pentru standardizare CAEP Construcții din beton armat. Indrumător pentru proiectare)
- /103/ Schöder S. - Teoria formării fisurilor în grinzile de beton armat. Teză de doctorat, traducere după original, I.P.Timișoara
- /104/ STAS 10107/o 1976 - Construcții civile și industriale. Calculul și alcătuirea elementelor din beton, beton armat și beton precomprimat. Ediția oficială
- /105/ STAS 10111/2-77 - Calculul și alcătuirea podurilor din beton, beton armat și beton precomprimat
- /106/ ST 119-73 Proiect de standard CAER. Construcții de beton și beton armat. Prevederi de bază pentru proiectare
- /107/ Surendra P.Shah, Winter G. - Inelastic Behaviour and Fracture of Concrete. Journal of the ACI sept.1966
- /108/ Tertia I. - Verificări la stări limită ale exploatării pentru elementele de beton, beton armat și beton precomprimat. Referat de sinteză, Conferința a V-a de betoane, Timișoara 1972, vol.V
- 9/ Toma Magdalena - Elemente din beton ușor parțial precomprimat. Verificarea stărilor limită de rupere și fisurare. Teză de doctorat, Institutul Politehnic Cluj-Napoca 1975
- 10/ Toma M., Ioani A., Tertia I., Păcuraru V. - Aspecte privind comportarea în stările limită de fisurare și rupere a elementelor din beton ușor cu diferite grade de precomprimare. Ses.șt. a I.P.Cluj 1974

- /111/ Toma M., Ioani A. - Comportarea la starea limită a deschiderii fisurilor la elementele de beton ușor și obișnuit cu diferite grade de precomprimare, prevăzute cu armătură mixtă activă și pasivă, S.C.I. 1975
- /112/ Toma Magdalena - Efectul armăturilor nepretensionate asupra momentului de apariție a fisurilor la elementele din beton precomprimat parțial. Construcții no.2 1975
- /113/ Ilesov A.S. - Calculul elementelor de beton armat pretensionate la formarea fisurilor în secțiuni normale, ținând cont de deformațiile neelastice ale betonului comprimat, Beton și jelezobeton no.8 1964
- /114/ Weisenberg M. - Calculul deformațiilor la elementele de construcții din beton armat solicitate la încovoiere. Rezumatul tezei de doctorat, I.C. București 1975
- /115/ Xeravius M.A. - Précontrainte partielle. Analyse des différents type d'application à partir de quelques exemples
- /116/ ^x
x x - Catedra de beton armat și clădiri I.P. Timișoara. Influența tipului și distribuției armăturii pretensionate asupra rezistenței la fisurare a elementelor din beton precomprimat, faza III și IV. Beneficiar M.C. Ind, INCERC București, Timișoara 1975