

UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" DIN TIMISOARA
FACULTATEA DE CONSTRUCTII

617.836
285 H

Inginer IOSIP - MOT STEFAN NICOLAE

MARIREA SIGURANTEI SI A ECONOMICITATII LA
REALIZAREA CONSTRUCTIILOR INDUSTRIALE SI AGRICOLE
PRIN PRECOMPRIMAREA PARTIALA

TEZA DE DOCTORAT

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

Conducător științific:

Prof. Dr. Doc. ing. IOAN FILIMON

Timișoara
1996

CUPRINS

CAPITOLUL 1. INTRODUCERE.

CAPITOLUL 2. ASPECTE GENERALE ALE PROBLEMEI.

- 2.1. Combinația beton-oțel într-o relativ nouă varietate. 2.1.
- 2.2. Scurt istoric, evoluția conceptului și definiția betonului precomprimat parțial (BPP) în Europa și în America. 2.2.
- 2.3. Grade de precomprimare (GP) - definiții și sensul conceptului de GP. 2.9.
- 2.4. Comportarea betonului precomprimat parțial (BPP), avantaje și dezavantaje. 2.14.
- 2.5. Tripla relație : materiale - mediu - durabilitate. 2.20.
- 2.6. Probleme de alcătuire, utilizare și aplicații ale betonului precomprimat parțial. 2.34.

CAPITOLUL 3. BAZA CONCEPTUALA.

CAPITOLUL 4. REGLEMENTARI DE CALCUL SI ALCATUIRE.

- 4.1. Prevederi pentru materiale, durabilitate și alcătuire. 4.2.
- 4.2. Recomandări privind unele probleme de calcul a elementelor din BPP. 4.6.
 - 4.2.1. Recomandări privind fisurarea. 4.8.
 - 4.2.2. Recomandări privind deformațiile. 4.14.

CAPITOLUL 5. PROGRAM EXPERIMENTAL.

- 5.1. Aprecieri generale cu referire la obiectivele programului experimental. 5.1.
- 5.2. Studii experimentale efectuate în țară și în străinătate. 5.14.
- 5.3. Program experimental propriu. 5.48.
 - 5.3.1. Elemente experimentale. 5.48.
 - 5.3.2. Dispozitivul de încercare. 5.53.
 - 5.3.3. Tehnologia încercării. 5.59.
 - 5.3.4. Determinarea forței teoretice de rupere și de exploatare. 5.61.
 - 5.3.5. Prezentarea rezultatelor încercărilor, analiza și interpretarea acestora. 5.62.
 - 5.3.5.1. Fisurarea sub încărcări de exploatare (serviciu). 5.62.
 - 5.3.5.2. Deformațiile sub încărcări de exploatare (serviciu). 5.84.

5.3.5.3. Capacitatea portantă a grinzilor.	5.101.
5.3.6. Cercetări experimentale asupra durabilității elementelor din BPP.	5.107.

CAPITOLUL 6. STUDIU DE SOLUTII.

6.1. Studii asupra elementelor liniare de tip bară.	6.1.
6.2. Studii asupra elementelor plane pentru planșee.	6.10.

CAPITOLUL 7. PRINCIPALELE CONCLUZII SI CONTRIBUTII.

CAPITOLUL 8. BIBLIOGRAFIE.

CAPITOLUL 1

INTRODUCERE

Subiect al prezentei teze de doctorat este betonul precomprimat partial .

Lărgind domeniul utilizării betonului structural , betonul precomprimat partial (BPP) ocupă locul cuprins între betonul armat si betonul precomprimat integral . Cu toate că în perioada ultimilor ani s-a produs o reorientare în concepția structurilor , manifestându -se tendința realizării unor componente usoare , betonul structural rămâne principalul material utilizat în industria construcțiilor . Ultimul apărut cronologic , varietate a betonului structural , betonul precomprimat partial (BPP) este rezultat al combinației , întotdeauna de beton si armătură pretensionată si uneori si de armătură nepretensionată complementară . Tratat la început cu retinere , prin aplicațiile la care a fost utilizat BPP a etalat bune calități si datorită avantajelor pe care le prezenta pentru anumite condiții precizate fie în raport cu betonul armat (BA) fie în raport cu betonul precomprimat integral (BP) , acesta a câștigat teren , soluția sa constructivă fiind adoptată la diverse tipuri de elemente si structuri .

Titlul tezei " Mărirea siguranței si a economicității la realizarea construcțiilor industriale si agricole prin precomprimare parțială " a fost fixat prin ordin al M.E.I. în anul 1985 si actualitatea lui , vizează esența concepției si realizării construcțiilor prin preocuparea pentru asigurarea siguranței . În străinătatea dezvoltată aspectul economicității nu mai este pus la același nivel de importanță cu cel al calității, durabilității si siguranței . Si la noi sunt semne , apărute în ultima perioadă , de interes pentru o asemenea abordare . Optica " economiei în primul rând " , a condus la situația actuală a unei bune părți a construcțiilor , cunoscută de specialistii domeniului (serioase probleme legate de aspect , durabilitate , functionalitate , exploatare) . Prezenta lucrare respectă în continut titlul ei , urmărește prioritar aspectul siguranței si trădează intenția autorului de a contribui cât de puțin la schimbarea opticii asupra economicității , optând pentru asigurarea unei " economicități de lungă durată " printr - o investiție inițială mai consistentă care garantează eliminarea deselor lucrări costisitoare de întreținere si eventual consolidare si asigură o viață lungă structurii evitând prea apropiatele lucrări de defaectare si înlocuire (si ele foarte costisitoare) .

Lucrarea este alcătuită din opt capitole a căror sintetică prezentare este în cele ce urmează , făcută.

Capitolul 1 , având titlul " Introducere " prezintă în linii mari concepția , alcătuirea si continutul tezei de doctorat.

Capitolul 2 , având titlul " Aspecte generale ale problemei " este la rândul - i structurat pe șase paragrafe în a căror cuprins este făcută o analiză asupra principalelor aspecte de imediat interes pentru BPP. Analiza este făcută cu luarea în considerare prin referiri comentarii sau prezentare , a unor relevante puncte de vedere exprimate de personalități științifice , de școli sau norme din România , Europa ,Asia si America de Nord . Cu toate că este sesizabilă diversitatea definițiilor date BPP si gradului de precomprimare (paragrafele 2.2. ,si 2.3.) , există consens în părerile exprimate asupra

1.2.

locului pe care îl ocupă BPP în spectrul larg al betonului structural și respectiv asupra rolului pe care cunoașterea gradului de precomprimare (GP) îl are în clasificarea și anticiparea comportărilor dorite a betonului structural .

Avantajele deosebite (paragrafele 2.4. și 2.6.) pe care le prezenta , au recomandat BPP pentru o mare diversitate de tipuri de elemente și structuri cum sunt:grinzi ,elemente de suprafață , rezervoare , lucrări ingineresti , etc. (paragraful 2.6.) .Sunt prezentate și aplicații în care avantajele BPP erau evidente , iar neadoptarea acestei soluții ar fi condus la imposibilitatea efectuării lucrării .

Comportarea sub sarcini a BPP dovedește posibilitatea obținerii siguranței în exploatare în situația satisfacerii condițiilor formulate pentru toate fazele :proiectare , execuție , exploatare . În ultima perioadă condițiile de durabilitate au devenit componente ale asigurării generale și se interferează cu fisurarea , alcătuirea , materiale , execuția (paragraf 2.5.).

Analiza prezentată arată că mai este necesar efort științific pentru apropierea punctelor de vedere teoretice asupra unor fenomene și pentru acceptarea unui concept general unic și aplicabil la cele trei moduri de construcție a betonului structural (BA BPP,BP,).

Continutul capitolului 2 se întinde pe 48 pagini și înglobează 38 relații de calcul 7 tabele și 22 figuri .

Capitolul 3 , având titlul " Baza conceptuală " face o sintetică prezentare a ideilor principiilor sau soluțiilor care stau la baza realizării betonului precomprimat parțial .

Continutul capitolului 3 se întinde pe 4 pagini și înglobează trei relații de calcul și un tabel.

Capitolul 4 , având titlul "Reglementări de calcul și alcătuire" conține analize , comentarii și prezentări directe ale unor prevederi pentru calculul și alcătuirea elementelor din BPP făcând obiectul unor norme .Desigur , primele prezente sunt normele românești [S.1.] și deoarece există intenția declarată a autorităților pentru armonizarea acestora cu normele europene , autorul a optat pentru EUROCOD nr.2. [E.2.] , iar pentru unele din aspectele discutate s-au avut în vedere și normele din SUA [A.5.] ,[A.7.] , [A.8.] . Se face precizarea că referiri , analize și comentarii la aceste norme se fac și în capitolele 2 și 5 . În afara capitolului 4 se vor întâlni referiri la codurile CEB - FIP [C.10.] , [C.11] , [C.12.] , [C.19.] și la normele naționale elveteiene SIA 162 , germane DIN 4227 , franceze BPEL 83 , canadiene Can 3 - A23 . 3-M77 , și engleze CP 110.

Notațiile utilizate sunt acelea originale continute în normele la care se face referire , iar semnificațiile acestora fie sunt imediat precizate ,fie rezultă din context .

Continutul capitolului 4 se întinde pe 16 pagini și înglobează 24 relații de calcul , 4 tabele și 3 figuri.

Capitolul 5 , având titlul "Program experimental " este structurat pe trei paragrafe .Primul se constituie într-o analiză generală a acelor stări și aspecte care au constituit obiective ale propriului program experimental . În al doilea paragraf se fac exemplificări cu câteva programe experimentale lucrate atât în țară cât și în străinătate , urmărindu-se preponderent aceleasi obiective de interes.Sunt prezentate programe experimentale finalizate cu valoroase rezultate dar care au utilizat un număr redus de

1.3.

elemente experimentale [I.7.] ,[I.8.] , [S.4.], alte programe care au utilizat un mare număr de elemente [S.6.] , [Z.1.], sau programe care s-au desfășurat pe perioade lungi de timp de ordinul anilor [L.10.] ,[C.15.] .

Paragraful al treilea este dedicat programului experimental propriu prezentat în principalele sale etape de la concepție și până la faza la care în prezent se află. Elementele experimentale sunt grinzi din beton precomprimat parțial , patru la număr două perechi de câte două grinzi între care unica deosebire este modul de realizare al precomprimării :prima cu precomprimare limitată (PL) , iar a doua cu precomprimare moderată (PM) .

În prima etapă a programului experimental , grinzile au fost supuse unei încercări de durată scurtă prin supunerea lor la încercări statice pentru obținerea solicitării de încovoiere . Comportarea grinzilor din BPP sub sarcini a fost urmărită prin prisma obiectivelor propuse : fisurare , deformații , stare limită ultimă. Rezultatele experimentale au constituit termen de comparație pentru datele rezultate din :calculul de proiectare , calculul cu metoda propusă sau calculul teoretic cu caracteristicile reale existente la data încercării . Analiza rezultatelor a permis concluzionarea că:

- grinzile cu precomprimare moderată și armare mixtă se comportă mult mai bine la fisurare ,

- metoda de calcul propusă pentru calculul deformațiilor poate fi utilizată cu bune rezultate,

- există la grinzile din BPP încercate rezerve mari de capacitate portantă , iar la nivelele ale treptei de încărcare depășind încărcarea de exploatare și până spre SLU săgețile grinzilor cu PM și armare mixtă rămân mai mici,

- grinzile proiectate în soluția precomprimării parțiale și armare mixtă , încercate experimental , corespund ca prototipuri și pot fi introduse în producția fabricilor de prefabricate .

În a doua etapă a programului,experimental , grinzile au fost supuse unei încercări de lungă durată pentru urmărirea comportării la durabilitate în condiții de expunere directă în mediul exterior , în contact cu :intemperiiile , variațiile de temperatură și aerajul liber. Periodic , la intervale de timp de câte trei ani s-au făcut testări ale stării betonului și armăturilor . Se urmărește de asemenea evoluția deschiderii fisurilor sub efectul încărcării din greutate proprie și al influențelor deformațiilor de lungă durată și prin aceasta , rolul pe care starea de fisurare o are asupra durabilității elementelor din BPP. Rezultatele de până acum obținute , arată că în condițiile utilizării materialelor de calitate , a unei alcătuirii corespunzătoare și a unui control al stării de fisurare , nu a apărut vreun risc asupra durabilității.

Continutul capitolului 5 se întinde pe 115 pagini și înglobează 36 relații de calcul, 39 tabele și 53 figuri .

Capitolul 6 , având titlul " Studii de soluții " prezintă studii și rezultatele acestora vizând utilizarea BPP la elemente de tip bară (grinzi și stâlpi) și la elemente plane pentru planșee . Sunt precizate cazurile pentru care s-au efectuat și studii experimentale. Sunt relevante pentru unele soluții prezentate , avantajele pe care utilizarea BPP o asigură în comparație cu celelalte soluții constructive potențial posibile.

Contribuția autorului se leagă de studiile [C.16.] , [C.18.] , [C.29] , la care a colaborat și este coautor.

1.4.

Continutul capitolului demonstrează o continuă preocupare a specialistilor pentru introducerea BPP în utilizare acolo unde analiza avantajelor sau a limitelor față de BA sau BP îl recomandă . Vor fi avuți în vedere parametrii ce tin de :

- natura solicitărilor ,
- categoria de lucrări ,
- limitele comportamentului impus în lucru .

Continutul capitolului 6 se întinde pe 26 pagini si înglobează 7 tabele si 14 figuri.

Capitolul 7 , având titlul " Principalele concluzii si contributii " contine o sinteză a ideilor a căror relevanță străbate din întregul studiu teoretic și experimental întreprins. Sunt prezentate formele sub care studiile efectuate si în special rezultatele acestora au fost valorificate și anume : proiectare a unor grinzi din BPP , contracte de asistentă (I.M.C. Timisoara) sau contracte de cercetare (M.C.IND , I.C.C.P.D.C. , INCERC Bucuresti) articole comunicate sau publicate .

Lucrarea este un îndemn adresat specialistilor pentru a lărgi domeniul aplicării BPP între solutiile BA si BP (asa cum în străinătatea dezvoltată se întâmplă) chiar dacă nu contribuie întotdeauna la o economie de materiale sau de costuri , deoarece compensarea este garantată prin siguranța sporită .

Continutul capitolului 7 se întinde pe 9 pagini.

Capitolul 8 intitulat "Bibliografie " , cuprinde titlurile bibliografice si autorii lucrărilor întâlnite în studiul de documentare si la adresa cărora în textul prezentei teze de doctorat se fac trimiteri , păstrându -se astfel o atitudine corectă în raport cu acestea.

Lista cuprinde 173 titluri bibliografice .

BPP este o formă superioară în care betonul structural se prezintă si încorporează un înalt efort de gândire tehnică.

Se apreciază că stadiul actual nu este cel al limitei superioare a acestui efort si că viitorul rezervă betonului precomprimat partial noi perspective si deosebite performante. Este de asteptat ca în afara situatiilor când BPP este unica solutie posibil de utilizat (de văzut capitolul 2) , optiunea pentru acesta să fie efectivă si în multe alte situatii când intră la concurentă cu BA sau BP.

Notatiile utilizate în prezenta teză de doctorat sunt acelea originale conform normelor la care se face referire , iar semnificatiile acestora rezultă fie dintr -o imediată legendă fie din context , astfel încât noi explicatii nu sunt necesare.

Având în vedere frecvența mare cu care anumite formulări aveau a fi utilizate în text , s-au adoptat următoarele prescurtări:

- BA - beton armat,
- BPP - beton precomprimat partial,
- BP - beton precomprimat integral ,
- PL - precomprimare limitată,
- PM - precomprimare moderată,
- GP - grad de precomprimare,
- SL - stări limită (U-ultime, F -de fisurare,D -de deformatie).

CAPITOLUL 2

ASPECTE GENERALE ALE PROBLEMEI

2.1. Combinatia beton -otel într-o relativ nouă varietate

Datorită deosebitelor avantaje tehnico-economice pe care le prezintă, betonul sub cele trei forme de utilizare : simplu ,armat si precomprimat ,constituie în prezent ,prognozându-se si pentru viitor ,principalul material de constructie folosit la realizarea majorității structurilor ingineresti Statisticile arată că betonul se utilizează într-un volum mai mare decât oricare alt material de constructie realizat de om , iar pentru viitor se prevede mentinerea acestei stări .Faptul se explică prin avantajele pe care le prezintă în comparatie cu celelalte materiale de constructie - durabilitate ,rezistentă la foc ,caracter monolitic,folosirea materialelor locale ,posibilitatea de a da elementului de constructie orice formă .

Betonul armat (BA) ,folosit masiv în industria constructiilor începând cu deceniul al 4-lea al actualului secol, si-a dezvoltat pe lângă considerabilele calități si avantaje ,o serie de neajunsuri a căror parțială eliminare este posibilă prin precomprimare si folosirea betonului precomprimat .

Cei care la începuturi au urmărit evitarea producerii fisurării betonului ,considerat un important defect al acestuia ,au propus solutia precomprimării betonului prin pretensionarea armăturii .S-a considerat atunci ,că s-a obtinut un nou si diferit material de constructie, caracterizat prin absenta totală a fisurilor în beton .Cu timpul ,studiile teoretice ,încercările experimentale si urmărirea comportării în situ a elementelor realizate din beton precomprimat au condus la concluzia că ideea precomprimării "totale " este valabilă la un anumit nivel de solicitare ,care,de regulă ,poate fi depășit în viata constructiei.Din punct de vedere economic ,solutia este costisitoare si privită prin prisma stărilor limită (SL)ale exploatării normale ,nu este în toate cazurile necesară .Betonul precomprimat este considerat ,într-o conceptie modernă ,o varietate nouă si superioară a betonului armat care supus actiunii precomprimării,dobândește o stare inițială de deformatie si eforturi nenule.

Condițiile de utilizare ale elementelor din beton precomprimat pot fi corelate cu intensitatea de aplicare a precomprimării ,rezultând astfel gradul de precomprimare (GP) ,optim de utilizat pentru niste date impuse .

S-a conturat astfel ocuparea intervalului cuprins între betonul armat (BA) si betonul precomprimat total (BP) cu betonul precomprimat partial (BPP) ,numit la început beton armat precomprimat sau beton precomprimat armat.

Într-o cu totul aproximativă descriere ,se poate spune că betonul precomprimat partial este o combinatie între betonul cu armătură pretensionată si cel cu armătură nepretensionată putând fi considerat "un compromis practic" care combină folosirea comportamentelor ambelor tipuri (fisurabil si nefisurabil) în variate faze de încărcare.

2.2.

2.2.Scurt istoric,evolutia conceptului si definitia betonului precomprimat partial (BPP) în Europa si America

Introducerea si dezvoltarea conceptului de beton precomprimat sunt datorate inginerului francez Freyssinet E, care în deceniul al III-lea al actualului secol a revolutionat gândirea tehnică în ingineria constructiilor .

Proiectarea ,executarea si exploatarea elementelor din beton armat (BA) se baza pe comportamentul fisurabil al acestuia în exploatare .Freyssinet a propus eliminarea fisurilor prin introducerea precomprimării si a reusit să dezvolte această idee ,iar avântul industriilor din acea perioadă i-a înlesnit găsirea materialelor ,a dispozitivelor si tehnologiilor potrivite realizării unor constructii de certă valoare tehnică.

În opinia sa ,între betonul armat (BA) si betonul precomprimat era o atât de mare diferență încât nu întrezărea potentiala existență a unui nou alt material ce ar putea avea proprietăți intermediare.În această idee face în anul 1950 cunoscuta afirmatie : "...nu există nici o școală de reeducare pentru betonul armat si betonul precomprimat ; orice sisteme intermediare sunt în mod egal la fel de rele ca si structurile armate sau precomprimare si asadar lipsite de interes".

Marea influență pe care Freyssinet o avea asupra gândirii ingineresti în constructii ,a făcut ca afirmatia lui să întârzie acceptarea ideii de precomprimare parțială .

În anul 1939 Emperger F.făcea prima propunere de precomprimare parțială , combinând în aceesi sectiune armături pretensionate cu armături nepretensionate si acceptând deschiderea limitată a fisurilor sub încărcări importante (A.4.)Armăturile folosite au fost de calități diferite :otel de înaltă rezistentă pentru A_p si otel semidur pentru A_s (A_s) .După doi, ani ,Abeles P.W. face a doua propunere utilizând în sectiune o singură calitate de otel ,dar pretensionând doar o parte (40%) din ea.În anii care au urmat ,Abeles a sustinut insistent ideea precomprimării parțiale .În efortul său ,reia o altă afirmatie a lui Freyssinet potrivit căreia acesta indica implicit că principiul de proiectare fără fisuri nu trebuia aplicat literal: "...în cazul unei structuri precomprimare încărcarea în exces a sarcinilor de transformare (fisurare) este foarte clar indicată de o deformată exagerată ,în timp ce ,oricum ,fiind complet reversibilă ,nu aduce consecinte nefavorabile ...în exploatarea îndelungată ".[A.11.].Prin această afirmatie Freyssinet aproba punctul de vedere al lui Abeles ,dar totuși retractarea implicită a primei afirmatii nu s-a produs prea repede.Lui Abeles i-au trebuit mai mult de 30 de ani de muncă perseverentă de cercetare si constructie pentru a demonstra viabilitatea si aplicabilitatea practică a precomprimării parțiale[A.1.],[A.2.] ,[A.3.],[A.4.].

Y.Guyon,un apropiat colaborator al lui Freyssinet face o frumoasă si completă pledoarie în favoarea betonului precomprimat partial (BPP) [G.3.]:

" Ne așteptăm la o dezvoltare considerabilă a pretensionării parțiale .Acest fapt prezintă un progres important dacă luăm în considerare ideile îmbrățisate de partizanii precomprimării ,în urmă cu 20 de ani .Unii proiectanti sunt încă ostili pretensionării parțiale .Fiind în special preocupati de structurile static determinate ,aceștia nu văd niciun motiv de a abandona vreuna din părerile initiale asupra pretensionării,deoarece în forma sa clasică (de exemplu fără eforturi de întindere) costul unor asemenea structuri din beton precomprimat este comparabil sau chiar inferior cu cel al betonului armat.

2.3.

Betonul precomprimat prezintă un avantaj considerabil pentru structurile izostatice deoarece trebuie să reziste doar la variațiile de moment și ca rezultat, încărcările din propria greutate sunt suportate liber, fără limite prestabilite. Însă, ei au uitat că acest avantaj se pierde în cazul structurilor hiperstatice, folosite frecvent la construcțiile industriale. Într-adevăr chiar și cu limite prestabilite, continuitatea nu aducea nici o economie cu betonul precomprimat, atât timp cât variațiile de momente rămâneau constante, chiar dacă structurile erau continue sau nu.

Dimpotrivă structurile din beton armat beneficiază din plin de aceste variații. În consecință, pentru unele structuri hiperstatice, folosirea betonului armat este mult mai economică decât cea a betonului precomprimat. Și atunci se naste întrebarea: ori plătesc mai mult pentru o structură perfectă, ori plătesc mai puțin pentru una imperfectă, dar de calitate satisfăcătoare. Din nefericire, în general optăm pentru a doua variantă. În acest caz la același pret scăzut ca al betonului armat, precomprimarea parțială oferă o calitate satisfăcătoare, de calitate superioară. Această calitate rămâne totală în toate zonele unde momentele maxime nu sunt atinse; va fi doar ușor redusă în zonele reprezentate, sub încărcări excepționale, accidentale, în timp ce, atunci când sarcinile revin la nivelul lor normal, precomprimarea va elimina orice posibilitate de fisurare. În linii mari acestea ar fi motivele pentru o dezvoltare ulterioară a precomprimării parțiale, acceptată din ambele puncte de vedere: al justificării teoretice și al aplicării practice cu succes. ... Așa cum am menționat și mai sus, chiar dacă există încă unele ezitări, ideea și-a câștigat deja consacrară și nimic nu mai poate stopa dezvoltarea sa. ..."

Viitorul a confirmat previziunile lui Guyon astfel încât ultimii 30 de ani au constituit o perioadă de frecventă și variată utilizare, în construcții, a betonului precomprimat parțial (BPP). În acest interval de timp a evoluat concepția prin contribuțiile importante ale unor specialiști, individual sau în grup, ori ale unor școli, acestea regăsindu-se în capitolul 3 - Bibliografie. Momentul de referință a fost ocazionat de congresul IV-1962 al Federației Internaționale a Precomprimării (FIP), ocazie cu care s-a subliniat necesitatea efectuării unui studiu sistematic al precomprimării parțiale (BPP) luându-se în considerare posibilitatea definirii unei continuități de la betonul armat (BA) la cel precomprimat total (BP). Cu aceeași ocazie s-a înființat Comitetul FIP-CEB care a statuat până în 1966 la Congresul V FIP, "Recomandările Internaționale FIP-CEB asigurând patru clase de condiții de verificare la fisurare parcurgând întreg spectrul: beton armat (BA) - beton precomprimat total (BP). Cercetările pentru studiul spectrului larg de probleme specifice betonului precomprimat parțial (BPP) au continuat în perioada ce a urmat și au fost marcate de următoarele, principale manifestări științifice internaționale:

- Colloque sur le Beton Arme Partiellment Precontraint, Bruxelles, oct. 1965,
- Association Internationale des Ponts et Charpentes, 8 -eme Congres, New-York, sept. 1968
- 4th FIP Congress, Prague, Czechoslovakia, 1970
- Athletes Symposium: Fatigue of Concrete, 1974,
- ACI/CEB "Concrete Design: U.S. and European Practices" Symposium Philadelphia 1976
- FIP Symposium on Partial Prestressing, Bucharest, 1980
- 5th FIP Congress, Stockholm, Sweden, 1982

2.4.

- International Symposium on Nonlinearity and Continuity in Prestressed Concrete ,Waterloo,1983
- Workshop NATO,Paris 1984
- X FIP Congress ,New-Delhi ,1986
- IABSE Colloquium ,Stuttgart,1991
- FIP Symposium Budapest , 1992
- XII FIP Congress ,Washington ,1994

Conceptia asupra betonului precomprimat partial(BPP) a suferit în timp o permanentă modificare datorită multiplilor factori ,ce o pot influenta ,ținând de :variantele posibilități de alcătuire ,functionare în exploatare (serviciu), tipul actiunilor si mod de rezemare , stările limită ,durabilitate si altele.

Chiar în absenta conceptului de grad de precomprimare (GP) ,elementele de beton precomprimat partial (BPP) au putut fi clasificate în două categorii :BPP cu precomprimare limitată si BPP cu precomprimare moderată.Pentru BPP cu precomprimare limitată se admite aparitia fisurilor cu deschiderea 0,1 -0,15 mm sub încărcarea maximă de exploatare (serviciu) ,dar cu conditia închiderii lor sub încărcări de lungă durată .Pentru BPP cu precomprimare moderată se admit fisuri deschise sub încărcări maxime de exploatare (serviciu) ,dar având deschiderea limitată la 0,1-0,15mm în dreptul armăturilor pretensionate trefilate (toroane,sârme)din otel de înaltă rezistentă cu conditia închiderii lor sau limitării la valori foarte mici la actiuni de exploatare de lungă durată .În dreptul armăturilor nepretensionate sau pretensionate dar realizate din bare laminate cu profil periodic ,fisurile vor avea regimul celor de la betonul armat .Răspândirea mai mare a avut-o BPP cu precomprimare limitată . În Anglia s-a adoptat armarea cu sârme din otel de înaltă rezistentă, din care doar o parte au fost pretensionate [A.2.].

În Danemarca si Germania s-a adoptat solutia cu toate sârmele din otel de înaltă rezistentă pretensionate .Normele germane DIN 4227, preluate si de alte țări europene,prevedeau dispunerea (în zona de aparitie în beton a eforturilor unitare de întindere) armăturii nepretensionate pasive care să intre în lucru la aparitia accidentală a fisurilor ,dar fără a se conta pe ea la calculul de rezistentă.Norme nationale ,bazate pe aceasi conceptie ,au fost elaborate si în Olanda ,Belgia ,Italia ,Austria ,Finlanda. În Statele Unite ale Americii BPP a fost introdus folosind metoda "compensării încărcării " urmărindu-se reducerea deformatiilor sub actiuni permanente si frecvent întâlnite.În România normele P8 -62 sunt inspirate de cele exsovietice SN-10-57 si introduc trei categorii de fisurabilitate pentru elementele din beton precomprimat. Varianta rusească cu armătura realizată integral din bare laminate la cald cu profil periodic din care doar o parte erau pretensionate, nu a putut fi aplicată la noi din cauza lipsei acestui tip de armături. Utilizată a fost doar armătura trefilată din otel de înaltă rezistentă ceea ce a făcut posibilă realizarea elementelor de beton precomprimat din categoria a II-a, adică cu precomprimare limitată [P.4.].

Experienta acumulată pe parcursul acestei perioade a condus la o mai bună înțelegere a fenomenelor ceea ce a provocat si o modificare a conceptiei. Spre exemplu la elementele din BPP cu precomprimare limitată se dă o corectă interpretare sectiunilor fisurate luându-se în considerare eforturile efective în beton si armături,renunțându-se la a se conta pe eforturile unitare preluate de betonul întins în exploatare.

2.5.

Armăturii pasive existente în secțiunea fisurată , pe lângă rolul de- a prelua eforturile unitare de întindere din beton i se atribuie si un rol activ la starea limită de rezistență [B.20]. Un aport consistent în corectarea concepției l-au avut normele elvetiene Code SIA 162 din anul 1968.[B.2.].

Acestea au fost câteva reglementări de nivel national în concordantă cu punctele de vedere ale diferitelor școli sau grupuri de cercetători .

La nivelul organismelor internationale , FIP-CEB s-a pronunțat prin " Recomandări Internationale 1970- 1972" definind clase de verificare față de efectele fisurării ,în funcție de gradul de protecție cerut .În raport cu cerințele impuse față de fisurare au fost stabilite două stări limită :de deschidere a fisurilor ,respectiv de apariție a fisurilor.

În intenția de a da o definiție betonului precomprimat parțial (BPP),s-a considerat ca element principal al definiției condițiile de încărcare în exploatare , însă pe parcurs au intervenit și alți factori cum sunt: tipul de efort (principal ,longitudinal,transversal),efectul timpului ,încărcarea repetată ,factori care au și apărut în diverse formulări ale definiției.Desi precomprimarea parțială este considerată inferioară în raport cu precomprimarea (σ_{ps} foarte mic dar apropiat de valoarea lui f_{ps}), în unele cazuri BPP este prezentat ca " beton armat (BA) super" (σ_{ps} mic dar nu zero) .[C.7.]. În această idee Chaikes [C.1.] se referă la două tipuri de beton precomprimat parțial (BPP) : beton precomprimat armat și beton armat precomprimat acestuia din urmă acordându-i-se un interes deosebit și fiind recunoscut și de Baus [B.7.],Cestelli-Guidi [C.6.] și Bruggeling [B.14.] .

Cea mai des folosită definiție și în consecință cea mai acceptată pentru betonul precomprimat parțial este cea care are la bază clasificarea betonului precomprimat (BP) stabilită la cel de -al IV-lea Congres FIP, Neapole ,Roma ,1962 și adoptată de CEB - FIP Model Code editia 1970.Clasificarea este prezentată în tabelul 2.1.

Din tabel rezultă corespondența între clase și tipul betonului .

Abeles și Czuprynski consideră că precomprimarea parțială apare în cazul în care precomprimarea este aplicată astfel încât doar o fracțiune de încărcarea utilă este preluată fie prin tensionarea tuturor armăturilor A_p sub valoarea f_{ps} ,fie utilizând armături nepretensionate pe lângă cele tensionate [A.2.].

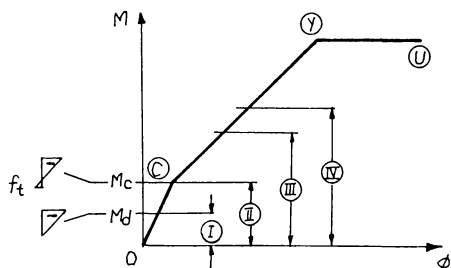
După Baus " ...în general un element poate fi considerat precomprimat parțial atunci când încărcarea aplicată depășește încărcarea de decompresiune " și introduce BPP fără armătură pasivă în categoria elementelor cu armătură pretensionată , iar BPP cu armătură pasivă în categoria elementelor de BP cu armătură post - tensionată. [B.7.]. Criteriul de definiție pentru Brondum - Nielsen este comportamentul BPP în exploatare (serviciu), conform căruia apariția fisurilor ,prezența sau valoarea mărită a efortului unitar de întindere în beton , închiderea și redeschiderea fisurilor pot fi factori determinanți [B.23.].

Pentru Bennett " ...un element de BPP este acela în care parte din secțiunea transversală este supusă efortului de întindere în regim de funcționare "[B.12.]

Dintr-o analiză a definițiilor prezentate , se poate desprinde concluzia că majoritatea cercetătorilor europeni consideră BPP ca fiind pur și simplu beton precomprimat ce prezintă un număr oarecare de fisuri în regimuri de funcționare specificate[C.7.].

Într-o formulare mai generală Menn(SUA) consideră BPP acea combinație de beton și oțel care nu este nici BA și nici BP [M.3.].

Class Clasa	1	2	3		4		
			a	b	a	b	c
$M_d + M_{ld}$ (operating)							
$M_d + M_{ld}^{max}$ (max)							
Tipul - Type	PC BP		PPC	BPP	RC		BA
	UNCRACKED SECTION		CRACKED SECTION				
	SECTIUNE NEFISURATA		SECTIUNE FISURATA				



În SUA și Canada definiția BPP se face punându-se în discuție tipurile de armături utilizate.

Normele canadiene CAN 3 -A23 .3- M77 permit utilizarea elementelor de BPP " a căror rezistență este dată parțial de utilizarea armăturii (A_a - nepretensionate ,n.n.) și parțial de tendoanele pretensionate ".

Cercetătorii americani Lin și Burns, apreciază că uneori precomprimarea parțială poate fi raportată la unul sau ambele următoare criterii :

- i) în condiții de încărcare utilă ,în beton sunt admise eforturi de întindere și
- ii) în element sunt utilizate armături nepretensionate .

Practica arată că frecvent se utilizează doar primul criteriu [L.3.].

Naaman (SUA) este de părere că " ...o condiție necesară și suficientă ca o grindă să fie parțial precomprimată este să fie caracterizată prin armături pretensionate și nepretensionate rezistente la încovoiere" [N.5.].

Această definiție permite tratarea unitară a celor trei tipuri de elemente : BA ,BPP și BP din punctul de vedere al stării limită ultime ,dar autorul admite dificultatea ei în raport cu condițiile de exploatare .

Într-o analiză critică a acestei definiții Cohn [C.7.] formulează următoarele două întrebări :

2.7.

"(a) armătura pretensionată se referă la precomprimarea totală sau la orice grad de precomprimare ?

(b) în ce categorie se situează o secțiune armată numai cu tendoane tensionate sub nivelul maxim de pretensionare ? (nu este nici BA nici BP și nu satisface definiția de mai sus)". Cohn este de părere că o definiție cuprinzătoare, satisfăcătoare pentru betonul precomprimat parțial (BPP) ar trebui să cuprindă orice soluție de calcul în afara celor referitoare numai la BA sau BP și să nu depindă de starea de încărcare și de starea limită considerate. Propune următoarea definiție :

Un element de BPP este caracterizat prin :


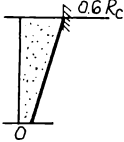

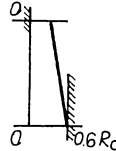

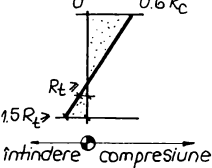
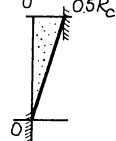
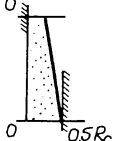

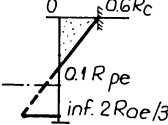
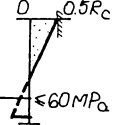
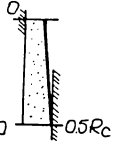
(a) beton armat și armătură pretensionată la , sau sub limita maximă admisă , sau

(b) beton și armătură pretensionată sub limita maximă admisă.

Având în vedere numărul mare de formulări date definiției BPP, numărul mare de criterii luate în considerare, se poate face observația că definirea betonului precomprimat parțial (BPP) nu este unitară. Situația se regăsește atât la nivelul cercetătorului singular cât și la nivelul grupurilor de specialiști reprezentate de școli. Rezultatul este acela că largă diversitate a definițiilor date BPP se regăsește și în normele naționale.

Normele franceze BPEL 83 încadrează BPP în clasa a treia de verificare, tabelul 2.2. clasă ce admite, în condiții precizate de exploatare (serviciu), fisurarea betonului în fibra extremă întinsă la elementele solicitate la încovoiere.

Tabelul 2.2.

CLASA DE JUSTIFICARE	COMBINATII		
	RARE (în construcție)	FRECVENTE	PERMANENTE
① 			
②  secțiune de înglobare Ap Aa	 R_t $1.5R_t$ întindere compresivă	 $0.5R_t$	 $0.5R_t$
③ 	 $0.1R_{pe}$ inf. $2R_{oe}/3$	 $0.5R_t$ $\leq 60MPa$	 $0.5R_t$

Urmărind controlul procesului de fisurare, apare necesitatea introducerii, în aceste elemente, a armăturilor aderente de tipul celor utilizate la betonul armat (BA) și numite în norme "pasive".

2.8.

Acestora li se atribuie si un rol de rezistentă (ceea ce în formularea noastră înseamnă "complementare ").

Normele românești precizează în STAS 10107/0-90 că BPP este realizabil în două variante functie de valoarea gradului de precomprimare (GP) notat cu K și anume :

- (1) elemente de BPP cu precomprimare limitată ,
- (2) elemente de BPP cu precomprimare moderată.

Asupra acestor aspecte se va reveni , detaliat , în prezenta lucrare.

2.9.

2.3. Grade de precomprimare (GP) - definitii si sensul conceptului de GP

A precomprima înseamnă a supune materialele ,înaintea aplicării actiunilor exterioare, la eforturi care să provoace aparitia unei stări de eforturi de sens favorabil .În cazul betonului precomprimat , ideea este ca precomprimarea să creeze eforturi de compresiune în zona de beton în care actiunile exterioare de exploatare produc eforturi de întindere , ducând astfel la reducerea deschiderii fisurilor sau chiar la eliminarea lor. Plecând de la observatia că precomprimarea nu schimbă natura betonului armat [P.4.], Popăescu A. definește betonul precomprimat ca pe o " formă mai completă a betonului armat , în care betonul armat rămâne un caz particular si anume cazul în care tensiunile initiale sunt nule" [P.7.].

Lipsa timpurie a notiunii de grade de precomprimare (GP) nu a împietat sub nici o formă proiectarea , realizarea si exploatarea elementelor si structurilor din beton precomprimat . Chiar si betonul precomprimat partial (BPP) se utiliza , grupat fiind pe două nivele principale de precomprimare :precomprimarea limitată , respectiv precomprimarea moderată.

În timp s-au produs tentative de grupare a elementelor din beton precomprimat fie în categorii fie în clase , prin normele exsovietice SNIP II- V,1-62, respectiv Recomandările Internationale CEB- FIP din 1972. Erau astfel ,delimitate conditiile de utilizare si verificare a elementelor de beton precomprimat în functie de tipul si sensibilitatea armăturilor pretensionate, de tipul si nivelul solicitărilor ,de conditiile de lucru. Exista dorinta si preocuparea de-a se considera o aceeași durabilitate pentru elementele din beton precomprimat indiferent de nivelul de precomprimare adoptat. Cu acest scop Leonhardt [L.6.] ,propune notiunea de grad de precomprimare (GP) ,a cărei folosire permite o mai bună clasificare a elementelor de beton precomprimat [A.4.].

A urmat , după acest moment ,o intensă activitate de căutare a unor solutii de cuantificare a gradului de precomprimare (GP) ,propunându-se în acest sens mărimi denumite " grad" , "indice" , "coeficient" de precomprimare .

Sunt prezentate în cele ce urmează câteva propuneri făcute ,de către specialisti, în acest sens.

Chaikes propune indicele de pretensionare :

$$i = P_p / (F_s + P_p) \quad 2.1.$$

Thurlimann propune gradul de precomprimare :

$$\gamma = \omega_p / (\omega_s + \omega_p) \quad 2.2.$$

cu indicele de armare mixtă a betonului:

$$\omega = \omega_s + \omega_p \quad 2.3.$$

Brondum - Nielsen propune precomprimarea relativă:

$$\chi = M_{pu} / M \quad 2.4.$$

Bachmann propune gradul de precomprimare :

$$K = M_d / M \quad 2.5.$$

Naaman si Siriaksorn propun coeficientul de precomprimare parțială:

$$PPR = A_p f_{ps} / (A_p f_{ps} + A_s f_y) \quad 2.6.$$

Cohn si Bartlett propun :indicele de precomprimare parțială :

$$K = M_d / M \quad 2.7.$$

indicele de armare mixtă :

$$\gamma = M_{pu} / M_u \quad (= \text{PPR}) \quad 2.8.$$

si indicele de armare:

$$\omega = \omega_p + \omega_s - \omega'_s \quad 2.9.$$

Recomandările FIP propun : gradul mecanic de precomprimare :

$$\gamma = A_{sp} f_{0,1k} / (A_{sp} f_{0,1k} + A_s f_{yk}) \quad 2.10.$$

si gradul de compensare a încărcării:

$$k = S_p / S_g \text{ sau } M_p / M_g \text{ sau } P / G \quad 2.11.$$

Bachmann propune gradul de precomprimare față de încărcarea de exploatare :

$$k = M_d / M \quad 2.12.$$

si gradul de precomprimare față de încărcarea permanentă

$$\bar{k} = M_d / M_{DL} \quad 2.13.$$

Menn propune raportul de precomprimare :

$$n = \sigma_{op} / f_{py} \quad 2.14.$$

O largă utilizare în literatura de specialitate are definitia gradului de precomprimare formulată de Bachmann [B.2.] si Brondum -Nielsen [B.19.] .Prof Popăescu A ,propune această definitie în primele recomandări românești pentru calculul si alcătuirea elementelor de beton precomprimat partial eleborate în anul 1976 si o extinde ulterior si la elementele comprimate sau întinse excentric prin înlocuirea numitorului relatiei 2.15. cu M_s^E - momentul încărcărilor totale de exploatare ,care include si efectul fortei axiale ,față de limita superioară a sâmburelui central ($r_s = W_i/A_i$), considerată față de armătura pretensionată A_p [D.4.] [D.2.], [P.4.].

În normele românești ,în prezent în vigoare - STAS 10107/0-90 [S.1] ,gradul de precomprimare (GP) este dat sub forma

$$K = \bar{M}_{(S)}^O / M_{(S)}^E \quad 2.15.$$

În raport cu valoarea pe care K o poate lua ,elementele din beton precomprimat se clasifică în [S.1.]:

-elemente din beton precomprimat cu precomprimare totală ,pentru care :

$$K > 1 \quad 2.16.$$

-elemente din beton precomprimat partial cu precomprimare limitată ,pentru care :

$$1 \geq K > M_{id(S)}^E / M_{(S)}^E \quad 2.17.$$

-elemente din beton precomprimat partial cu precomprimare moderată, pentru care :

$$M_{id(S)}^E / M_{(S)}^E \geq K \geq M_{perm.(S)}^E / M_{(S)}^E \quad 2.18.$$

în care :

$\bar{M}_{(S)}^O$ - momentul de decompresiune ,care anulează momentul produs de efortul de precomprimare față de limita sâmburelui central opusă marginii întinse sau mai puțin comprimate a secțiunii în exploatare si care se determină conform :

$$\bar{M}_{(S)}^O = \bar{N}_O (e_{op} + r_s) \quad 2.19.$$

cu \bar{N}_O -efortul de precomprimare în faza finală ,

e_{op} -excentricitatea efortului de precomprimare (față de centrul de greutate al secțiunii)

r_s - distanta de la limita sâmburelui central până la centrul de greutate al secțiunii ,care se determină cu relatia:

$$r_s = W_i / A_i \quad 2.20.$$

W_i, A_i -modulul de rezistență respectiv aria secțiunii ideale;

2.11.

$M_{(S)}^E$ -momentul încărcărilor totale de exploatare față de aceeași limită a sămburelui central;

$M_{ld(S)}^E$ -momentul încărcărilor de exploatare de lungă durată față de aceeași limită a sămburelui central;

$M_{perm(S)}^E$ -momentul încărcărilor permanente față de aceeași limită a sămburelui central.

Definiția gradului de precomprimare prezentată conform relației 2.15. a fost acceptată în cadrul AIPC [B.1.] și FIP [W.1.],[H.2.] și reflectă nivelul încărcărilor (solicitărilor) acoperit de efectul precomprimării și permite corelarea directă cu condițiile de utilizare și verificare ale elementelor [P.4].

Definițiile gradelor de precomprimare prezentate mai sus pot fi clasificate în funcție de stările limită considerate (exploatare sau limită de rezistență) și cantitativ potrivit cu definiția dată (armătură de oțel, efort de precomprimare, moment de precomprimare) [C.7.]. În tabelul 2.3. sunt prezentate alte definiții alternative ale gradului de precomprimare [C.7.].

Tabelul 2.3.[C.7]

Stări limită	$C_t A_t / C_c A_c$	F_p / F_t	M_p / M_t
De exploatare (serviciu)	(1) $n_p \rho_p + n_s \rho_s$	(2) $\frac{A_p \sigma_p}{A_p \sigma_p + A_s \sigma_s}$	(k) (3) $\frac{A_p \sigma_{j_p}}{A_p \sigma_{j_p} + A_s \sigma_{j_s}}$
Ultimă de rezistență	(4) (ω) $\omega_p + \omega_s$	(λ , PPR) (5) $\frac{A_p f_{ps}}{A_p f_{ps} + A_s f_y}$	(γ) (6) $\frac{A_p f_{psj_{pu}}}{A_p f_{psj_{pu}} + A_s f_{j_{su}}}$

Coefficienții j_p, j_s , și j_{pu}, j_{su} ai bratului de pârghie din definițiile (3) și (6) se referă la poziția axei neutre în condiții de exploatare și respectiv în condiții limită (ultime).

Ultimele două coloane ale definițiilor relativ la forțe respectiv la momente, ar fi asemenea dacă armătura pretensionată și cea nepretensionată (A_p, A_s) ar fi la aceeași adâncime ($d_p = d_s$).

Definiția (3) dată de Bachmann și Brondum-Nielsen înglobează destul de exact, cu mici modificări de terminologie [C.7.], conceptul inițial de precomprimare parțială.

Definiția (5) dată de Chaikes, Thurlimann, Naaman și Siriaksorn este considerată a fi una dintre cele mai utilizate.

Analiza celorlalte definiții, prezentate sintetic prin relațiile 2.1. -2.14., arată că oricare indice de precomprimare poate descrie întregul domeniu de soluții al betonului folosit în construcții, de la beton armat (BA) până la beton precomprimat cu precomprimare totală (BP), incluzând și diversele tipuri de calcule privitoare la precomprimarea parțială. Spre exemplu:

dacă $K = M_d / M$ atunci $K=0$ corespunde la BA,

$K \geq 1$ corespunde la BP, iar

$0 < K < 1$ corespunde la BPP

2.12.

dacă $\gamma = \omega_p / (\omega_p + \omega_s)$ atunci $\gamma = 0$ corespunde la BA
 $\gamma = 1$ corespunde la BP, iar
 $0 < \gamma < 1$ corespunde la BPP.

Se mai poate face observatia asupra relatiei dintre coeficientii prezentati ca grade de precomprimare si stările limită:exploatare normală (serviabilitate) respectiv ultimă de rezistentă.Astfel folosind K , îl vom pune în legătură doar cu comportamentul în conditii de exploatare normală,iar în situatia utilizării coeficientului γ accentul se va pune doar pe starea limită de rezistentă.

În ideea aducerii unor contributii pentru perfectionarea definitiilor gradelor de precomprimare prof.Cohn M.Z. sugerează trei conditii de care trebuie să se țină seama:
 (a) luarea în considerare a tuturor tipurilor de beton folosit în constructii ,
 (b) o descriere a comportării betonului în toate stările limită ,
 (c) o caracterizare a performantei anticipate în raport cu un calcul considerat .

Se apreciază că folosirea celor trei indici : K , γ si ω definiti prin relatiile 2.7,2.8,2.9, ar satisface cele trei conditii .

S-a trecut la scrierea unei ecuatii functie de acesti indici si functie de parametrii $f_1(\alpha)$ si $f_2(\beta)$ depinzând de geometria sectiunii betonului , respectiv de influenta sarcinilor permanente si dinamice si având forma [C.7.] :

$$(K/\gamma)(1-0,59\omega) = f_1(\alpha) f_2(\beta) [f_{se}/f_{pu}] \quad 2.21.$$

Reprezentarea grafică în spatiul tridimensional (γ, K, ω) a functiei rezultate din ecuatia 2.21.este prezentată în figura 2.1.

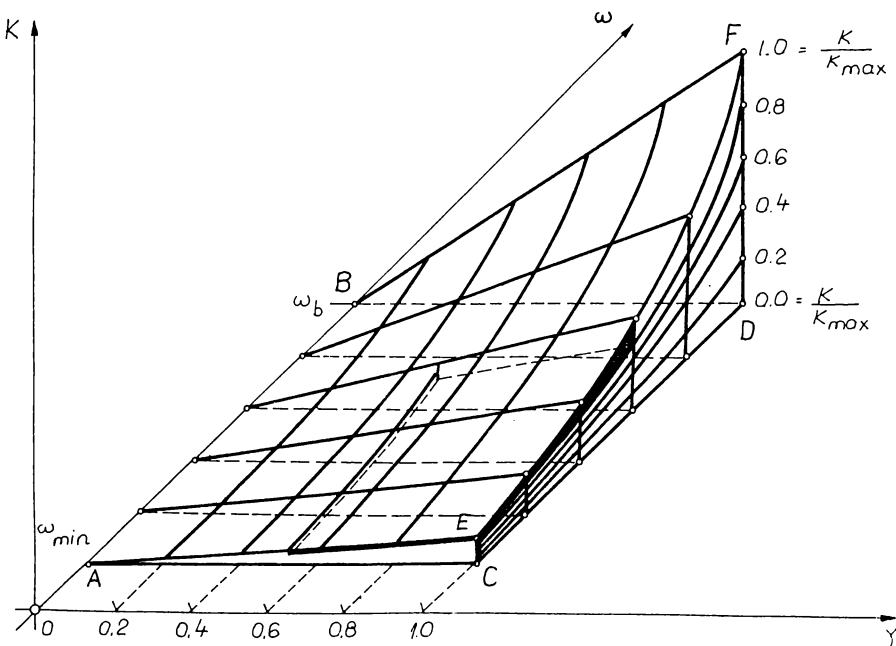


Figura 2.1.[C.9.].Spatiul de proiectare pentru betonul structural

2.13.

Soluțiile de calcul pentru BA corespund segmentului AC ,pentru BP (total) corespund segmentului EG ,pentru BPP corespund suprafeței AB EF (la valoarea maximă admisibilă a precomprimării)și interiorului corpului geometric ABCDEF (la valori ale precomprimării inferioare valorii limită admisibilă de tensionare).Betonului armat (BA) îi mai revin în reprezentarea grafică segmentul CD pentru BA cu rezistență mare și armături nepretensionate și planul ABCD pentru BA cu armături nepretensionate mixte $A_s + A_p$.

Parcurgând numeroasele puncte de vedere ,prezentate ,asupra conceptului de grad de precomprimare ,se poate concluziona că nu există o apreciere unitară care să conducă spre un apropiat -acceptat compromis.Divergența părerilor străbate chiar într-un posibil numit " final" ,când recunoscute personalități în domeniu au apreciat ,ca fiind oportună că pot trage concluziile.Lacroix și Abeles sunt de părere că nu se poate parcurge în mod constant întregul domeniu cuprins între BA și BP prin variația unui factor sau grad de precomprimare [L.9],[A.11.].

Rostam ,Pedersen și Menn apreciază că definirea unui grad de precomprimare nu are valoare practică și că este o problemă de ordin teoretic,prezentând interes însă din punct de vedere conceptual[R.1],[M.6.].

Chiar și CEB-FIP Model Code MC -78 trădează retinere prin faptul că nu face nici o aluzie la gradele de precomprimare .

Cohn M.Z. se exprimă într-o manieră optimistă astfel : "Oricât de incertă este valoarea lor practică ,interesul teoretic arătat indicilor BPP în vederea clasificării tipurilor de beton folosit în construcții și anticipării comportărilor dorite ale acestuia par a fi dincolo de orice îndoială".

În normele internaționale Eurocod nr. 2 . [E .2 .] nu apare explicit formularea de "grad de precomprimare " .

Cercetători și școli de notorietate ai domeniului au efectuat studii complexe ,teoretice și experimentale,au obținut rezultate cel puțin parțial convergente pe care le-au publicat în cea mai difuzată literatură de specialitate ori le-au comunicat/ publicat la simpozioane conferințe și congrese dedicate chiar domeniului betonului precomprimat parțial.

Preocuparea continuă și insistentă a unor autorizați specialiști din domeniu a condus la eliminarea unor omisiuni din norme naționale și internaționale făcând atingere la aspecte legate de BPP.

617 836
235 111

2.4. Comportarea betonului precomprimat parțial (BPP) - avantaje și dezavantaje

Pornind de la definițiile BPP care-l raportează mereu când la BA când la BP, este normal să fie interpretată comportarea primului în comparație cu celelalte două. Cele două inițiale puncte de vedere, total opuse, exprimate de Freyssinet și Abeles (paragraf 2.2.) situează BPP în două feluri de depărtate ipostaze: element de separație respectiv element de legătură intermediară între BA și BP.

Autorul prezentei lucrări împărtășește părerea conform căreia BP și implicit BPP, poate fi considerat o varietate perfecționată a BA, nefiind principial diferit de acesta [D.2.]. Perfecționarea a fost obținută pe seama calității superioare a materialelor componente și a stării inițiale de deformare și eforturi provocată de acțiunea precomprimării.

O interpretare corectă a comportamentului BPP, pentru diferite trepte de încărcare se poate face pe baza relației efort - deformare ($\sigma - \epsilon$) pentru beton respectiv oțel [C.7.]. Au fost efectuate teste alternative pentru elemente din BA, BPP și BP, folosind diferite combinații de materiale. Comportarea caracteristică solicitării de încovoiere pentru o secțiune armată mixt (bare pretensionate și bare nepretensionate) este prezentată grafic în sistemul plan de axe $M - \Phi$ (moment încovoietor - curbura) prin diagrama din figura 2.2. Sunt puse în evidență următoarele stări caracteristice (stadii de lucru):

I - corespunde stării de deformare liniar-elastică,

II - corespunde stării de fisurare,

III - corespunde stării neelastice

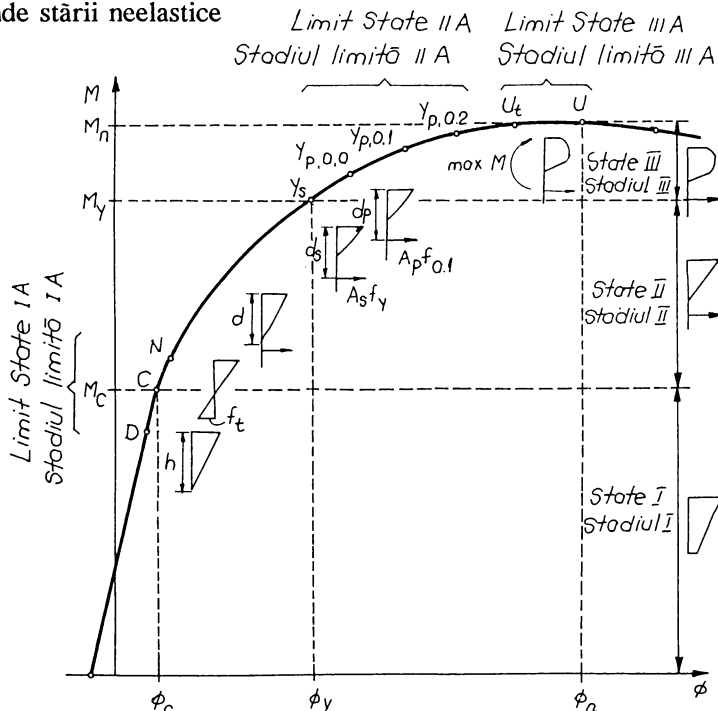


Figura 2.2. [C.9.] Comportarea secțiunilor încovoiate din beton structural

Limitele corespunzătoare acestor stări (stadii) sunt:

IA.-starea limită de fisurare -decompresiune (D), în fibra extremă de beton $\epsilon_{ct}=0$ și $\sigma_{ct}=0$; fisurarea (C) când în fibra extremă de beton se ating valorile limită

$\epsilon_{ct} = \epsilon_{tu}$ și $\sigma_{ct} = f_t$; neutralizarea (N) când în fibra de beton de la nivelul centrului de greutate al armăturii A_p , $\epsilon_{ct}=0$ și $\sigma_{ct}=0$,

IIA.-limita elasticității oțelului nepretensionat (Y_s) cu conținut scăzut de carbon prin atingerea efortului de curgere $\sigma = f_y$; oțelul pretensionat (Y_p) de înaltă rezistență atinge nivelul convențional de curgere; când $A_s = 0$ definirea acestei stări (stadiu) limită

se poate face considerând în A_p tensiunea corespunzătoare alungirii reziduale (deformații specifice) de 0,1%, adică $\sigma_p = f_{0,1}$ sau $\sigma_p = f_{0,2}$ sau $\sigma_p = f_{0,0}$

IIIA.-Starea (stadiul) ultim (limită) de rezistență corespunde epuizării capacității portante a secțiunii la încovoiere (moment încovoietor maxim) asociată uneori cu atingerea unei deformații limită date în fibra extremă de beton $\epsilon_u = 0,3\%$ (0,35%).

Comportarea elementelor din BA și BP poate fi prezentată și într-o altă formă, așa cum apare în diagramele trasate în figura 2.3.[R.3.]. Rusch observa interpretând diagramele, că în timp ce secțiunile realizate din BA și BP, pot fi proiectate la aceeași capacitate portantă la încovoiere atingând, în acest caz, simultan starea (stadiul) limită IIIA, nu există asemănare pentru starea (stadiul) I- nefisurat. Precomprimarea conduce la extinderea lui, consecința fiind că în timpul exploatarea (serviciu) BA este fisurat (st.II), iar BP este nefisurat (st. I).

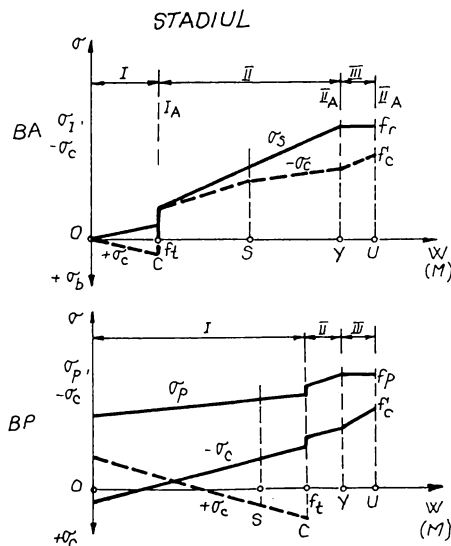


Figura 2.3.[R.2.]Diagrame efort - încărcare pentru secțiuni din BA și BP.

Între aceste două extreme se situează elementele din BPP.

Asemănător este punctul de vedere al lui Thurlimann afirmând că "Precomprimarea influențează în principal comportamentul sub încărcări utile de lucru, deformațiile și fisurarea. Efectele dispar la rupere. La rupere comportarea BP este aproape identică cu cea a BA dacă efortul de pretensionare este aproximativ egal cu diferența dintre

eforturile de curgere ale A_p și A_s , $f_{po} = f_{py} - f_{sy}$ "

Aprecieri ale comportamentului grinzilor din BPP se pot face din analiza comportamentului a două grinzi având aceleași dimensiuni, încărcate cu încărcări statice de scurtă durată, dar realizate din BA respectiv BP [B.10.] Pentru orice stare (stadiu) notată cu K (elasticitate, formarea fisurilor, exploatare), momentul încovoietor al grinzii din BPP este dat de suma momentului grinzii din BA cu momentul de decompresiune al grinzii din BP

$$M_{K}^{BPP} = M_{K}^{BA} + M_{d}^{BP} \quad 2.22.$$

Principial asemănătoare este relația între momentele încovoietoare pentru starea (stadiul) ultimă (limită):

$$M_{u}^{BPP} = M_{u}^{BA} + M_{u}^{BP} \quad 2.23.$$

unde indicele "u" semnifică "ultim" (limită).

Aceste observații contribuie la bună înțelegere și acceptare a ideii că grinziile din BPP împart comportamentul avantajos al BP înainte de decompresiune și al BA după decompresiune. Elementele din BA și BPP lucrează în exploatare (serviciu) sub sarcini mai mari decât cele care produc decompresiunea, iar acestea sunt cu atât mai mari cu cât precomprimarea este mai puternică. Creșterea gradului de precomprimare are influență și asupra deformațiilor în sensul că săgețile elementelor solicitate la încovoiere se micșorează.

Pentru elementele realizate din betonul structural, aspectele legate de procesul fisurării sunt unele din cele mai discutate și studiate, deoarece apariția sau neapariția fisurilor, distanțele între fisuri, înălțimea fisurilor, mărimea deschiderii fisurilor sunt parametrii care fac atingere la aproape toate celelalte aspecte ce tin de betonul structural începând cu clasificarea, continuând cu durabilitatea, rezistența și terminând cu deformațiile.

Procesul fisurării în ansamblu este unul deosebit de complex și cu mari influențe asupra elementelor și structurilor realizate din beton în orice formă a sa (BA; BPP, sau BP), motiv pentru care controlul său este de cea mai mare importanță. Dintre cele trei forme de realizare a betonului structural, considerăm că BPP se pretează cel mai bine acestui control, deoarece existența fisurilor este a priori acceptată și -n consecință sunt elaborate pârghiile de ordin teoretic, iar prin concepție sunt asigurate și pârghiile de ordin practic-tehnologic.

Controlul procesului de fisurare la betonul structural este necesar pentru a-i oferi acestuia condițiile necesare unei normale utilizări, spre exemplu limitarea mărimii deschiderii fisurilor din rațiuni de funcționalitate, durabilitate și aspect.

După părerea lui Thurlimann nu există beton structural fără fisuri. În cel mai bun caz fisurarea poate fi eliminată pe direcția încovoierii sub sarcinile de lucru, dar nu poate fi evitată în zonele de ancorare, de aplicare a încărcării, în secțiuni puternic forfecate și pe direcția transversală. Astfel cu toate că nu se știe, BPP este mult mai mult utilizat decât este recunoscut în general.

În concordanță cu această realitate, Recomandările CEB-FIP în MC-78 [C.10.] acceptă faptul că în betonul structural supus la încovoiere, torsiune, tăiere, sau întindere apariția fisurilor este inevitabilă.

Pentru elementele din BPP rezistența la fisurare este proporțională cu rezistența la întindere a betonului și cu forța de precomprimare.

În cazul armării mixte, armătura nepretensionată (complementară) profilată are un rol pozitiv în distribuția fisurilor și în mărirea deschiderii lor.

Încercările arată că atunci când $A_s = 0$ și $A_p \neq 0$ (BP) fisurarea este practic eliminată pentru încărcări puțin mai mici decât încărcarea de decomprimiune; cu $A_s \neq 0$ numai pentru încărcări care nu depășesc jumătate din încărcarea de decomprimiune, fisurile (mai mici decât 0,1 mm) se pot elimina. Fisurile de 0,15 - 0,20 mm adesea nu se pot închide chiar și după descărcarea completă [B.9.]

În reprezentarea grafică din figura 2.4. sunt trasate diagrame rezultate din relația între mărirea deschiderii fisurilor w_c și coeficientul total de armare $\omega = \omega_s + \omega_p$ pentru diferite valori ale raportului ω_p / ω_s [B.24.].

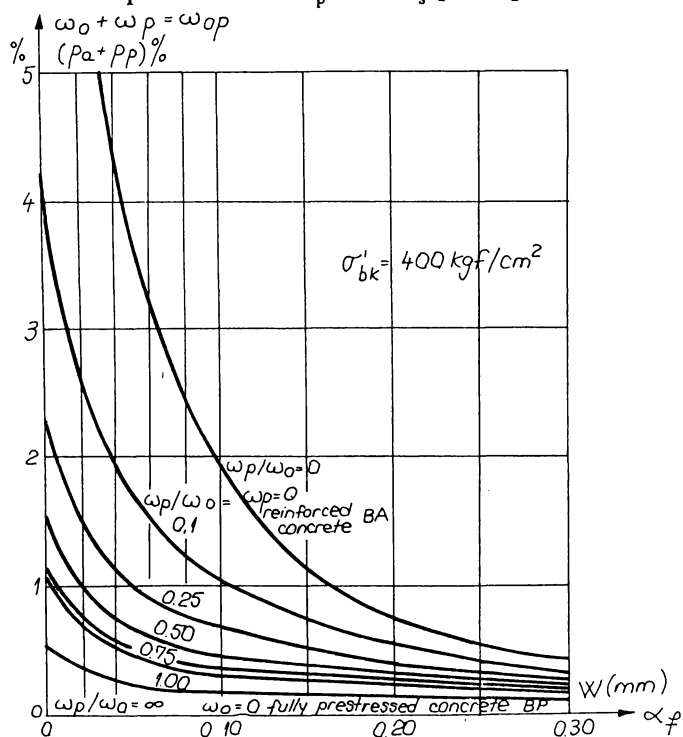


Figura 2.4. [B.24.] Efectul precomprimării parțiale asupra mărimii deschiderii fisurilor.

Aceste diagrame arată efectul relativ al precomprimării parțiale asupra mărimii deschiderii fisurilor sub acțiunea încărcărilor de exploatare (serviciu). Interpretarea lor conduce la concluzia că utilizarea armăturii pretensionate A_p este mult mai eficientă decât A_s (nepretensionată) pentru reducerea mărimii deschiderii fisurilor w_c . Pentru un moment încovoietor dat, reducerea w_c de la 0,3 la 0,1 mm e realizabilă prin creșterea de patru ori a ariei de armătură în elementul de BA și numai de două ori în elementul de BPP.

În privința deformabilității, elementele din BPP își împart comportarea între BA și BP.

Sub încărcări inferioare celor de decompresiune pentru încovoiere și compresiune, BPP se comportă la fel cum BP adică asemenea unui material elastic. Când intensitatea încărcării depășește pe cea de decompresiune se produce modificarea calitativă, apariția fisurilor apropiate comportarea BPP de cea a BA, deformările cresc dacă încărcările cresc. La descărcare deformările descresc producându-se o relativă revenire a elementului din BPP. [C.14.], [I.6.]

Shaikh și Branson fac următoarea apreciere asupra efectului precomprimării parțiale asupra deformabilității elementelor solicitate la încovoiere: "Săgeata totală a unei grinzi din BP conținând armătura nepretensionată, comparată cu săgeata unei grinzi identice fără otel nepretensionat poate fi mai mare dacă încărcarea aplicată este egală cu încărcarea de fisurare; comparabilă dacă încărcarea este cu puțin mai mare decât încărcarea de fisurare; sau considerabil mai mică dacă încărcarea este considerabil mai mare decât încărcarea de fisurare" [S.5.]

La încărcarea limită, ruperea elementelor din BPP sau BP solicitate la încovoiere se poate produce în unul din cele trei posibile moduri: strivirea betonului, ruperea armăturilor sau cedarea simultană a celor două materiale.

BPP fiind situat pe domeniul cuprins între BA și BP, ar trebui comparat, în privința avantajelor și dezavantajelor, cu acestea. În raport cu BA s-ar putea prezenta pentru BPP, ca având avantajele pe care procesul precomprimării le aduce. Devine interesantă raportarea BPP la BP. Ca avantaje de ordin economic se pun în evidență următoarele [C.21.], [L.3.], [B.25.], [M.3.], [D.5.], [P.4.], [C.14.], [F.3.], [C.18.], [O.1.]:

- prin faptul că lucrează în condiții precizate cu fisuri, folosește mai mult (aproape integral) rezerva de solicitare (capacitate portantă) care ar putea fi preluată de elementele din BP peste stadiul de decompresiune,
- reducerea cantității de armătură pretensionată realizată din otel superior costisitor, și simplificarea dispunerii ei,
- reducerea operațiunii de precomprimare care este costisitoare și implicit reducerea ancorajelor,
- reducerea solicitării betonului la transferul forței (mai mici) de precomprimare și implicit simplificarea zonelor de transmitere,
- reducerea secțiunii necesare a zonei comprimate de beton din efectul precomprimării,
- reducerea consumului de otel și ciment la grinzi cu deschideri mici și încărcări mari,
- posibilitatea reducerii clasei betonului corelat cu soluția de armare mixtă în cazul grinzilor cu deschidere medie,
- reducerea timpului de întărire a betonului datorită necesității unei rezistențe mai mici la transfer,
- o mai bună utilizare a armăturii pretensionate A_p prin posibila adoptare a unor excentricități mai mari a forței de precomprimare;

Ca avantaje tehnice-tehnologice sunt puse în evidență următoarele [O.1], [P.4.], [D.5.], [F.3.], [C.14.], [C.18.], [C.7.].

- reducerea volumului de muncă relativ la precomprimare și eliminarea necesității de precomprimare în etape,
- reducerea deformărilor din precomprimare, instantanee și de durată,
- siguranța sporită la fisurare, cu referire la efectele contractiei, înainte de aplicarea forței de precomprimare,

2.19.

- îmbunătățirea ductilității ca urmare a existenței armăturii nepretensionate;
- există posibilitatea urmării cu armătura nepretensionată complementară a traiectoriilor eforturilor unitare principale de întindere printr-o fasonare corespunzătoare ușor de realizat,
- posibilitatea unui control mai bun al contrasăgetii,
- tensiuni mai mici în beton ,deci pierderi de tensiune ,datorate scurtării elastice a betonului ,mai mici.

În paragraful 2.6. se vor prezenta și alte avantaje ale aplicării BPP,propriei structurilor unde acesta este aplicat.

Dezavantajele pe care utilizarea BPP le implică sunt următoarele[D.5.],[P.4.],[O.1.],[F.3.],[C:7.],[C.14.],[C.18.] [A.2.] [N.7.].

- armătura nepretensionată se opune precomprimării ,conducând la pierderi de tensiune suplimentare și la reducerea eforturilor de compresiune în beton din acțiunea precomprimării ,micșorând astfel efortul de decompresiune,
- riscul coroziunii armăturii nepretensionate complementare la elementele din BPP cu precomprimare moderată,
- riscul obosirii armăturii pretensionate datorită amplitudinii mai mari a variațiilor eforturilor unitare produse în acestea de solicitările date de încărcările temporare,
- riscul de oboseală a armăturilor pretensionate datorită concentrărilor de eforturi provocate de fisurare sub acțiunea încărcărilor repetate,
- săgeți mai mari la încovoiere,
- eforturi unitare principale mai mari în condiții de exploatare (serviciu),
- fisurile permanente (0,1-0,2mm) pot fi ireversibile ,chiar și sub descărcarea completă.

2.5.Tripla relatie :materiale -mediu - durabilitate

La realizarea unui element sau a unei structuri se are în vedere pe lângă o corectă rezolvare a rezistenței,și asigurarea condițiilor pentru o corespunzătoare utilizare pe o îndelungată perioadă de timp. Dacă aspectul legat de rezistență implică mărimi "certe" cu previzibile intervale de variație (ex: acțiuni ,caracteristici fizico-mecanice ale materialelor) și metode de calcul exacte (ex: statice de dimensionare) , al doilea aspect ,implică mărimi,factori ,fenomene ,afliți în complexe relații (rapoarte) și cu mai reduse posibilități de control asupra lor . Din această categorie ,printre multi alții se află :calitatea materialelor la livrare ,condiții de execuție ,condiții de mediu în exploatare (serviciu) reacții și fenomene chimice ,timpul , calitatea exploataării. Pentru elementele sau structurile realizate cu un material preponderent (ex: lemn, metal) problemele nu se pun așa complex ca în situația utilizării unei combinații de materiale cum este în cazul betonului structural. Betonul precomprimat parțial (BPP) este caracterizat de cele mai multe sensibilități (în raport cu BA și BP).Pentru o bună realizare și utilizare a unui element din BPP se cere o alegere corectă : a formei și ariei secțiunii de beton , a cantităților și calităților de armătură, a gradelor de precomprimare inițiale , a alcătuirii ,dar și o combinație a acestor parametrii în mod optim.

Betonul precomprimat încorporează efort de gândire tehnică mai înalt decât celelalte domenii din construcții și prin concepția sa de bază conferă caracteristici și avantaje deosebite structurilor la care este folosit. El este un material foarte pretentios ,cerând multă pricepere și atenție atât la proiectare cât și la execuție și utilizare , fiind foarte sensibil la greseli care pot provoca accidente fără o avertizare ușor sesizabilă. De aceea se impune profesionalism și conștiinciozitate în toate fazele pentru păstrarea avantajelor și menținerea în timp a performanțelor betonului precomprimat .

Particularitățile betonului precomprimat impun unele cerințe specifice care privesc betonul utilizat și se referă la : lucrabilitate , rezistențe mecanice și durabilitate. Datorită dimensiunilor relativ reduse ale secțiunilor elementelor din BPP , în zonele de ancorare se impune utilizarea unor betoane cu lucrabilitate sporită (tasarea conului mai mare de 12 cm). În fabrici posesoare de utilaje performante de vibrație , se poate reduce lucrabilitatea . Adoptarea lucrabilității sporite conduce la obținerea unui beton omogen care asigură o uniformă distribuție a eforturilor unitare în secțiune și între secțiuni învecinate precum și evitarea defectelor de betonare care pot genera accidente sub acțiunea forței de precomprimare. Pentru a nu influența rezistența finală , sporirea lucrabilității se va obține nu pe seama creșterii cantității de apă ci folosind aditivi de tip superplastifiant (ex: FLUBET - instrucțiunile tehnice C211- 82). Un alt efect favorabil al aditivilor superplastifianți este și obținerea de rezistențe sporite în prima perioadă. [E.1].

O tendință ce se manifestă în perioada din urmă în ceea ce privește betonul (în străinătate) este utilizarea betoanelor de înaltă rezistență . Nu există contradicție între avantajul reducerii consumului de ciment prin micșorarea clasei betonului și tendința precizată , deoarece întotdeauna la elementul din BPP se va putea utiliza o clasă inferioară celei de utilizat la elementul paralel, realizat prin precomprimare totală (BP). Betonul de înaltă rezistență (BIR) cuprins în intervalul Bc 50- Bc 70 (B600- B800) se

2.21.

află situat între betonul obisnuit (BO) de clasă până la Bc 40 si betonul de foarte înaltă rezistentă (BFIR) de clasă minim Bc 90.

BIR poate fi realizat cu materialele actuale dar cu conditia unei riguroase selectări (agregate concasate,ciment P 55, aditivi) si cu tehnologie actuală îmbunătățită cu un control sever al calității .

Pentru domeniul betoanelor obisnuite (BO) ,folosite la noi în țară ,sunt elaborate normele necesare proiectării , executiei si exploatării elementelor din beton precomprimat .

Pentru domeniul betoanelor de înaltă rezistentă (BIR) sunt semnalate unele particularități în comportare cum ar fi :

-diagrama efort - deformatie diferită de cea cunoscută pentru BO [P.8.],

-valori mai mari pentru deformatia limită [P.8.].

-este mai casant si influentează defavorabil ductilitatea ,

-aparitia fisurilor se produce aproape de momentul cedării (favorabil durabilității dar defavorabil avertizării la suprasolicitări) .

Devine avantajoasă utilizarea BIR pentru combinatia cu oteluri superioare , înglobate cu procente mari de armare [E.1.].

Ștudiile tehnico-economice prezentate de Berg O.I.[B.21.] indică pentru cazul utilizării BIR următoarele :

-reducerea volumului de beton cu 15- 31 % ,

-reducerea consumului de otel cu 10 % ,

-reducerea înălțimii grinzilor cu 10 -25 %.

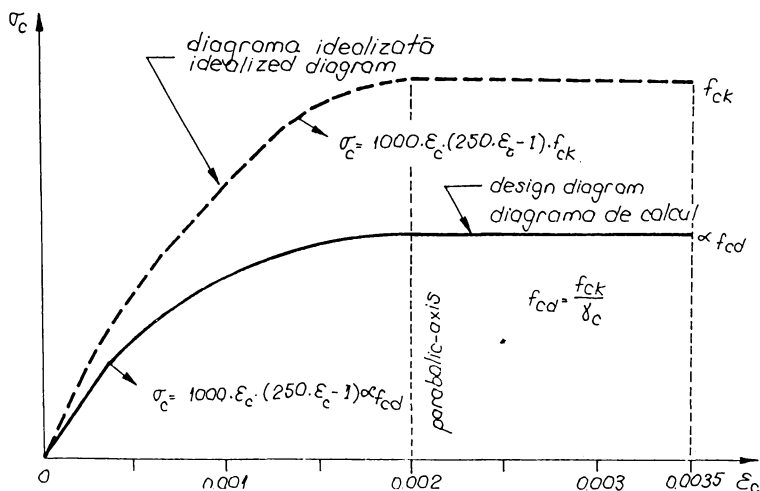
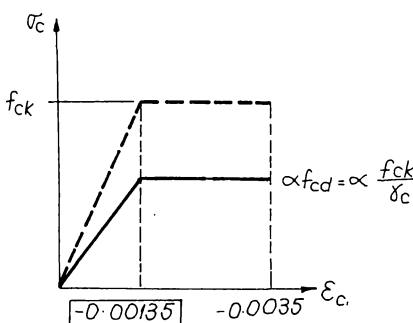
Normele internationale EC-2 [E.2.] recomandă nouă clase de rezistentă pentru beton rezistente la compresiune caracteristice f_{ck} (pe cilindri) si rezistente la întindere caracteristice f_{ctk} în N/ mm² (MP_a), conform tabelului 2.4.

Tabelul 2.4. [E.2.] Clase de rezistentă pentru beton

Clasa de rezistentă a betonului	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C 45/55	C 50/60
f_{ck}	12	16	20	25	30	35	40	45	50
f_{ctm}	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1
$f_{ctk 0,05}$	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9
$f_{ctk 0,95}$	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3

Acelesi norme dau diagrama efort unitar -deformatie specifică pentru compresiunea uniaxială a betonului ,figura 2.5. si figura 2.6.

În paragraful 4.2.3.5.2. [E.2.] se precizează : "clasa minimă pentru elemente cu armătură postântinsă este C 25/30 ,iar pentru elemente cu armătură preântinsă este C30/37".

Fig.2.5.[E.2.] Diagrama parabolic-dreptunghiulară $\sigma_c - \epsilon_c$ pentru beton.Fig.2.6.[E.2.] Diagrama biliniară $\sigma_c - \epsilon_c$ pentru beton.

Stasul 10107/0-90 [S.1.] face clasificarea betonului în funcție de clase începând cu Bc 3,5 și până la Bc 60.

Clasa minimă pentru beton precomprimat armat cu bare trefilate este Bc 30 [S.1.]. Condițiile referitoare la durabilitate fac parte din principalele criterii de performanță ale construcțiilor din beton precomprimat, respectiv din caracteristicile calitative de comportare, care constituie esența calității acestor lucrări [L.7.].

Aspecte ale bazelor teoretice ale problemei durabilității betonului au fost prezentate în buletine CEB. Câteva se regăsesc în cele ce urmează.

Existența unei rețele de pori în masa betonului favorizează fenomenul de transport continuu de fluide (aer, apă, gaze, agenți dizolvați) prin capilaritate, difuzie sau penetrare. Acest fenomen se produce cu atât mai intens cu cât rețeaua de pori este mai dezvoltată, adică cu cât betonul este mai puțin compact și mai permeabil, favorizând producerea proceselor de deteriorare chimică, fizică și biologică a betonului, ceea ce înseamnă afectarea durabilității lui și concomitent făcând atingere la protecția armăturilor împotriva coroziunii.

2.23.

Pe de altă parte s-a constatat că grava stare de deteriorare a unor elemente sau structuri din BA și BP este determinată de serioase defecte apărute, cum sunt: fisuri avansate (exagerate), canale de cabluri neinjectate, ruperi de cabluri, deformate anormale prăbusiri. Expertizarea lucrărilor a condus la concluzii asupra cauzelor principale care au provocat acele situații: neglijarea concepției de ansamblu și a detaliilor constructive în favoarea exageratei importante acordate în proiectare unor calcule de detaliu favorizând defectele de execuție și exploatare; lipsa de preocupare și cunoaștere din partea proiectanților a problemelor de durabilitate și întreținere prin neluarea în considerare a factorului "timp" și a acțiunii tuturor agenților de mediu, nu numai a celor mecanici; lipsa de pricepere și control în execuție; lipsa de urmărire în timp a comportării și întreținerii pe durata exploatarea a elementelor și structurilor din beton precomprimat.

În proiectare și mai ales în execuție au fost superficial tratate aspecte cu mare influență asupra durabilității betonului, cum sunt: compactitatea betonului și mai ales a celui din zona armăturilor unde apare efectul de perete și de grătar, grosimea stratului de acoperire cu beton a armăturilor, tratarea betonului după turnare și mai ales cea termică pentru accelerarea întăririi - proces care insuficient controlat poate provoca pierderea excesivă a apei și obținerea unui beton cu structură poroasă și rezistență diminuată cu consecințe nefavorabile asupra durabilității, realizarea și controlul fortei de precomprimare, injectarea canalelor de cabluri, efectuarea transferului și decofrarea [L.7.]. Această superficialitate se manifestă acolo și atunci, unde și când nu există suficientă calificare sau / și experiență, nu există suficient interes sau conștiinciozitate, nu există utilaje, aparate ori tehnologii corespunzătoare, nu există un sever control al calității.

În privința formei secțiunii de beton pentru elemente din BPP se apreciază că așa cum comportarea acestor elemente este intermediară celor din BA și BP și ea, forma, trebuie să fie intermediară; nu atât de masivă ca pentru BA dar nici atât de zveltă ca pentru BP.

Formele T și I, considerate complicate, au rezultat ca fiind eficiente pentru elementele din BP (cu precomprimare totală) în urma utilizării exclusive a analizei elastice. Pentru elementele din BPP, tot mai mult utilizate, proiectate la starea limită ultimă, este de așteptat adoptarea secțiunilor mai simple și mai masive, apropiate celor din BA [C.7.].

Armarea betonului precomprimat parțial (BPP), spre deosebire de betonul armat (BA), se poate face doar cu oțel, dispus sub formă de bare - independente sau combinate (ex: toroane, cabluri, carcase). Armătura care conferă calitatea de "precomprimat" betonului este armătura tensionată pre- sau post- dar este obligatorie prezenta în alcătuire și a armăturii netensionate dispusă transversal și longitudinal cu rol de rezistență (complementară) sau din rațiuni de ordin constructiv (pasivă).

Armăturile tensionate care se folosesc la alcătuirea elementelor și structurilor din BPP sunt realizate din oțeluri superioare de înaltă rezistență și sunt de următoarele tipuri:

- armături trefilate (sârme lise și amprențate, toroane),
- sârme laminate și tratate termic (ex: de tip sigma),
- bare laminate la cald, cu profil periodic.

Pentru aceste armături tensionate, normele internaționale EC -2 [E.2.] recomandă următoarea diagramă de calcul efort unitar -deformație specifică, figura 2.7.

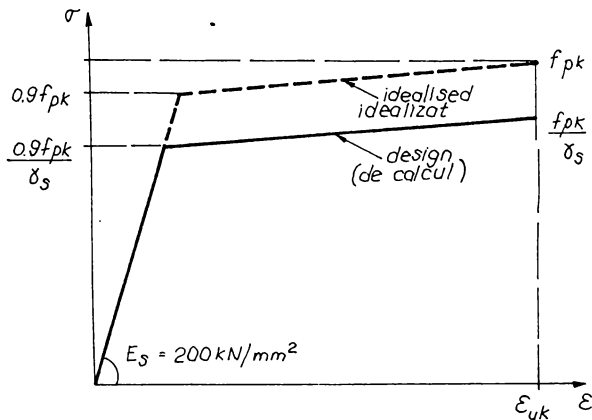


Fig.2.7.[E.2.] Diagrama de calcul $\sigma - \varepsilon$ pentru armătura pretensionată

Se poate face una din ipoteze pentru calculul secțiunii :

-o ramură superioară orizontală la curba de calcul din fig.2.7. de ex. efortul unitar din armătură este limitat la f_{pk} / γ_s fără limitarea deformației specifice a oțelului desi în unele cazuri poate fi mai convenabil acceptarea unei limite;

-o ramură superioară înclinată cu deformația specifică a oțelului limitată la 0,01 .

Aceleași norme [E.2.] recomandă pentru armăturile netensionate diagrama de calcul efort unitar - deformație specifică din figura 2.8.

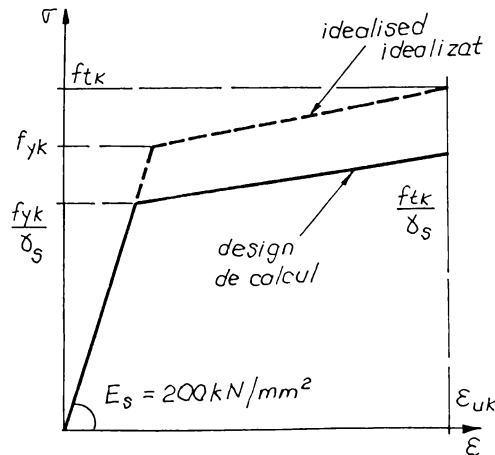


Fig.2.8.[E.2.] Diagrama de calcul $\sigma - \varepsilon$ pentru armătura nepretensionată.

Pentru calculul secțiunii se poate adopta una din cele două ipoteze prezentate pentru armătura tensionată ,dar folosind f_{yk} / γ_s (γ_s - coeficient parțial de siguranță privind armăturile).

Normele românești STAS 10107/ 0-90 recomandă pentru armătura tensionată diagrama $\sigma_p - \epsilon_p$ din figura 2.9. ,iar pentru armătura netensionată diagrama din figura 2.10.

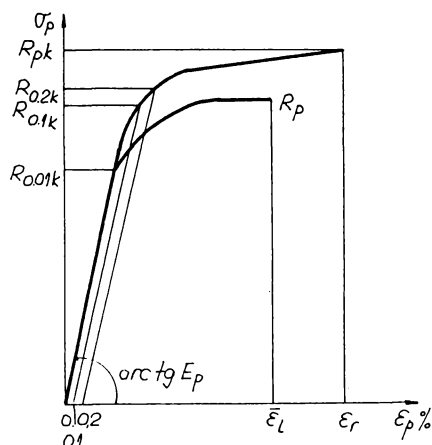


Fig.2.9.[S.1]Diagrama de calcul $\sigma_p - \epsilon_p$ pentru otel de înaltă rezistență (tensionat)

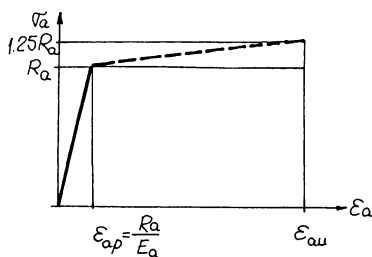


Fig.2.10 [S.1.]Diagrama de calcul $\sigma_a - \epsilon_a$ pentru otel de tip PC (netensionat)

Fată de normele [E.2.] ,cele românești [S.1.] consideră ,pentru rezistența caracteristică ,valorile minime pentru limita de curgere corespunzătoare deformației specifice de 0,2 % (diferit de deformația remanentă de 0,1% [E.2.]).

Efortul de pretensionare al armăturilor poate avea diferite valori ,dar pretensionarea la efortul maxim admis , care întrunește o adeziune majoritară ,permite utilizarea integrală a capacității armăturilor [P.4].

Abeles a exprimat un punct de vedere , care a găsit adeziune în rândul specialistilor [A.1.] și care era astfel formulat : " Ideea lui Freyssinet " cu cât mai pretensionat cu atât mai bine " ar duce la un material complet casant la care fisurarea și ruperea ar avea loc simultan

La fel cum a fost gresit să se spună " cu cât mai pretensionat cu atât mai bine " este gresit să se spună " otelul cel mai puțin tensionat este cel mai bun ". În mod contrar : ceea ce contează nu este cantitatea de otel ci forța ultimă (limită) de tensionare.

Prin urmare toroanele de înaltă rezistență nu sunt doar mult mai economice ,dar rezultă o construcție mai bună decât folosind multime de bare profilate care au aceeași forță limită . "

Un comportament bun al elementelor din BPP " se poate obtine nu numai la un grad înalt de pretensionare ,dar si la nivele joase când structura este mai apropiată de BA decât de BP....

Rezultă că o limită minimă a cantității de armătură pretensionată nu este întotdeauna necesară ...

Rezultatele încercărilor arată că un grad mic de pretensionare este necesar pentru închiderea fisurilor sau reducerea efectului încărcărilor aplicate, ceea ce constituie un coeficient de siguranță special pentru structură .Desigur dacă oțelul pretensionat este tensionat sub limita elastică pot avea loc doar închideri parțiale ale fisurilor ".[C.6.] Cestelli- Guidi .

Thurlimann propune ca nivelul de pretensionare să fie ales astfel încât armătura pretensionată și cea nepretensionată să fie folosite la întreaga lor capacitate [T.4.] .În mod special recomandă ca

$$f_{po} = f_{py} - f_{sy} \quad 2.24.$$

unde f_{py} și f_{sy} sunt eforturile de curgere ale armăturilor A_p și A_s

Unii cercetători apreciază că nivelul de pretensionare și variațiile probabile ale eforturilor sub încărcările de exploatare (serviciu) să fie alese luându-se în considerare și efectele descărcării .

Cu cât pretensionarea inițială este mai mare ,crește riscul expunerii barelor la deformații plastice sub acțiunea încărcărilor aplicate [B.8.].Dacă deformațiile plastice se produc sub acțiunea încărcărilor ,efectul lor la descărcare este de a produce pierderi de pretensionare care cresc cu nivelul încărcării. Pretensionarea fiind redusă față de valoarea sa inițială fisurile se deschid la încărcări inferioare încărcării probabile de decompresiune.La limită ,dacă armătura pretensionată este suficient împinsă în domeniul plastic , forța de pretensionare se poate elimina complet prin descărcare .Apoi sub acțiunea unor cicluri succesive de încărcare- descărcare ,grinda se va comporta ca o grindă din beton armat fisurată [B.22.]

În normele internaționale EC-2 este limitată forța maximă aplicată unei armături P_o (de ex.forța la capătul activ ,la dispozitivul de tensionare , $x=0$) prin condiția :

$$P_o \leq A_p \sigma_{o,max} \quad 2.25$$

unde : A_p este aria secțiunii transversale a unei armături

$\sigma_{o,max}$ este efortul maxim aplicat armăturii și se consideră cu valoarea cea mai mică dintre :

$$\sigma_{o,max} \leq 0,8 f_{pk} \text{ sau } \leq 0,9 f_{p,0,1k} \quad 2.26.$$

Forța de pretensionare ($P_{m,o}$) aplicată betonului imediat după tensionare (prin postântindere) sau după transfer (în cazul preântinderii) nu va depăși cea mai mică dintre forțele obținute din :

$$A_p \sigma_{p,m,o} \leq 0,75 f_{pk} A_p \text{ sau } \leq 0,85 f_{p,0,1k} A_p \quad 2.27$$

unde : $\sigma_{p,m,o}$ este efortul în armătură imediat după tensionare sau transfer, și se determină cu următoarele relații :

-pentru elemente cu armătură preântinsă :

$$P_{m,o} = P_o - \Delta P_c - \Delta P_{ir} - (\Delta P_{\mu}(x)) \quad 2.28.$$

-pentru elementele cu armătura posttînsă.

$$P_{m,o} = P_o - \Delta P_{sl} - \Delta P_c - \Delta P_{\mu}(x) \quad 2.29.$$

unde : P_c este pierderea de pretensionare datorată deformății elastice a betonului la transfer

P_{ir} este pierderea din relaxare de scurtă durată ,

$\Delta P_{\mu}(x)$ este pierderea de tensiune datorată frecării ,

P_{sl} este pierderea de pretensionare datorată alunecării în ancoraje.

Valoarea medie a forței de pretensionare la momentul t într-un punct din lungul elementului este dată de :

$$P_{m,t} = P_o - \Delta P_c - \Delta P_t(t) - (\Delta P_{\mu}(x)) \quad 2.30.$$

pentru elemente cu armătura preătinsă ,respectiv

$$P_{m,t} = P_o - \Delta P_c - \Delta P_t(t) - (\Delta P_{\mu}(x)) - \Delta P_{sl} \quad 2.31.$$

pentru elemente cu armătura posttînsă

unde : $\Delta P_t(t)$ este pierderea de pretensionare datorită curgerii lente ,contractiei și relaxării la momentul t .[E.2.].

Normele românești STAS 10107 / 0-90 recomandă ca determinarea efortului de precomprimare , egal cu rezultanta eforturilor din armăturile pretensionate din secțiune să se facă cu relațiile :

$$\text{- în faza inițială : } N_o = A_p \sigma_{po} + A'_p \sigma'_{po} \quad 2.32.$$

$$\text{- în faza finală : } \bar{N}_o = A_p \bar{\sigma}_{po} + A'_p \bar{\sigma}'_{po} - A_a \Delta \sigma_a - A'_a \Delta \sigma'_a \quad 2.33.$$

Efortul unitar de control σ_{pk} în A_p se limitează prin :

$$\sigma_{pk} \leq R_{0,2k} \text{ și } \frac{\sigma_{pk}}{\sigma_p} \leq R_p \quad 2.34.$$

iar efortul unitar în faza finală $\bar{\sigma}_p$ calculat cu :

$$\bar{\sigma}_p = \bar{\sigma}_{po} + \Delta \sigma_p \quad 2.35.$$

se limitează prin condiția :

$$0,5 R_p \leq \bar{\sigma}_p \leq 0,85 R_p \quad 2.36.$$

Efectul armăturii nepretensionate este că mărește rezistența la întindere a betonului după decompresiune și reduce solicitările de compresiune la pretensionare, în beton și momentul de decompresiune." Cele două efecte de mai sus, acționează în sensuri contrare . Depinzând de importanța lor relativă ,prezența A_s poate atât să mărească cât și să micșoreze momentul de fisurare al secțiunii ".[B.7.]

"Selectarea tipului și calității oțelului nepretensionat ar trebui să se bazeze pe comportamentul prescris sub diferite condiții de exploatare : reducerea dorită a contracției în funcție de timp, săgeți acceptabile sub încărcări de exploatare , oportunitatea limitării săgeții la supraîncărcare și siguranța cerută pentru rupere " [S.5.].

După Louis și alții [B.8.] tipurile de armătură nepretensionată complementară pentru BPP se pot determina ținând seama de legile efort -deformație pentru A_p și A_s și de valoarea inițială a precomprimării .În funcție de efortul inițial de pretensionare și de limita de curgere a lui A_s pot avea loc trei moduri de cedare : A_s curge prima , A_s și A_p curg simultan și respectiv A_p curge prima.

În figura 2.11. sunt ilustrate aceste variante:

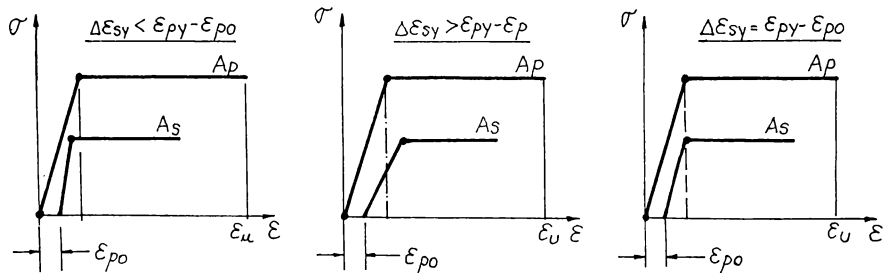


Fig.2.11.[B.24.] Variante de cedare pentru armăturile A_p și A_s

Pentru cazul curgerii simultane, în funcție de calitatea oțelurilor din A_p și A_s se poate stabili zona de conlucrare, fig.2.12.[F.3.]:

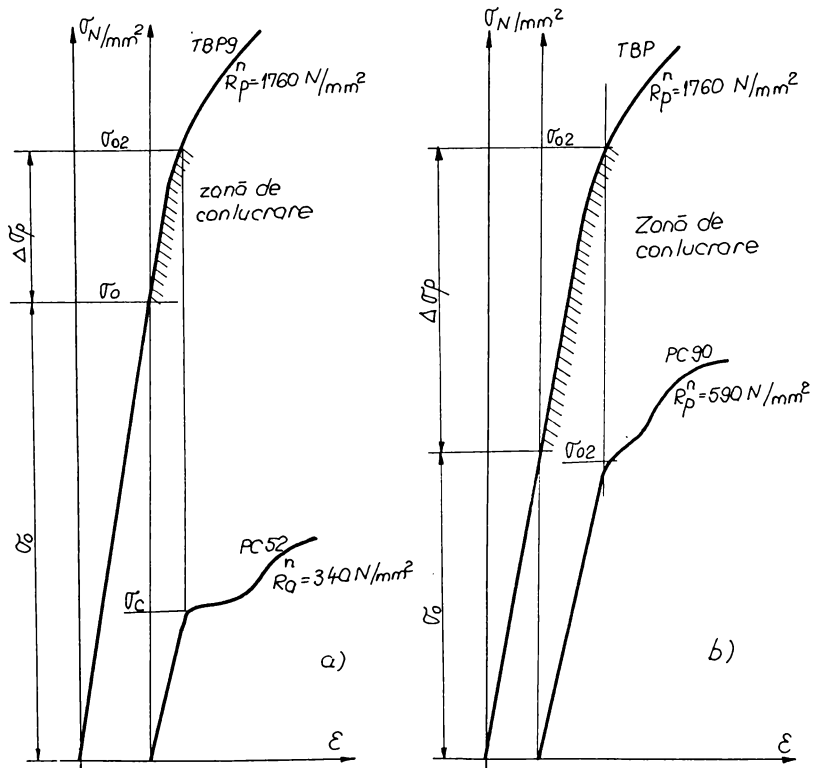


Fig.2.12.[F.3.] Zona de conlucrare dintre armăturile A_p și A_s

Atingerea efortului de curgere într-una dintre cele două armături atrage după sine limitarea utilizării elementului din BPP ,motiv pentru care de dorit este cazul curgerii simultane .

Din punct de vedere al naturii suprafeței barelor ,favorabile sunt cele profilate datorită aportului substantial pe care -l aduc controlului procesului de fisurare .

Din punct de vedere al calității oțelurilor utilizate în armăturile nepretensionate complementare A_s , există păreri care împreună parcurg întreaga gamă de calități. Abeles recomanda utilizarea aceleasi calități superioare pentru ambele tipuri de armături A_p și A_s . Cestelli -Guidi propune pentru A_s oțel de calitate superioară ,iar Goschy și Chaikes recomandă oțeluri având limitele de curgere $f_y = 60-70 \text{ kg/mm}^2$ și respectiv $30-40 \text{ kg/mm}^2$.

Rezultatele cercetărilor experimentale [B.8.] arată că armătura A_s din oțel cu conținut scăzut de carbon necesită o pretensionare inițială mai ridicată pentru A_p ,decât necesită A_s din oțel de calitate superioară.

Prof.Popăescu A. ,[P.4.] apreciază că utilizarea armăturilor nepretensionate complementare depinde în mare măsură de tipul armăturii pretensionate, înțelegând prin aceasta : rezistența ,aderența ,sensibilitatea la coroziune și gradul de precomprimare. Astfel elementele din BPP cu precomprimare limitată , se pot realiza în următoarele soluții de armare:

- a)armături preîntinse trefilate (sârme amprentate și toroane și sârme de tip Sigma) fără sau cu armătură nepretensionată pasivă (nu contribuie la ,starea limită ultimă) ,
- b)armături postîntinse din sârme de diferite tipuri sau toroane , cu armătură nepretensionată pasivă.

Elementele din BPP cu precomprimare moderată se pot realiza în următoarele soluții de armare:

- a)armături preîntinse sau postîntinse din sârme de diferite tipuri sau toroane,cu armătură nepretensionată complementară din oțel obisnuit cu profil periodic,
- b)armături preîntinse din bare laminate cu profil periodic fără sau cu armături nepretensionate complementare cu profil periodic de tipul celor preîntinse sau a celor utilizate pentru BA

Normativul românesc STAS 10107 /0-90 precizează că pentru calculul eforturilor unitare în stadiul II (cu zonele întinse fisurate) ,armătura nepretensionată se ia în considerare numai dacă aria secțiunii transversale este cel puțin un sfert din cea a armăturii pretensionate:

$$A_a \geq 0,25 A_p \quad 2.37.$$

Ca procent minim de armare pentru armătura nepretensionată dispusă pe aceeași direcție cu armătura pretensionată este dat 0,05% . Condițiile sunt mai severe pentru zonele întinse unde calculul nu cere armături pretensionate ,dar unde sunt admise eforturi unitare de întindere , în beton ,mai mari de $0,5 R_t$. Aici procente minime pentru armătura nepretensionată ,raportate la aria zonei întinse de beton sunt 0,15% și 0,20%, funcție de tipul armăturii folosite.

Durabilitate elementelor sau a structurilor din BPP trebuie analizată și asigurată și prin prisma celui de-al doilea material component care este oțelul armăturilor înglobate în beton. Cea care în mare măsură condiționează durabilitatea este armătura pretensionată realizată din oțel de înaltă rezistență.

2.30.

Acest tip de otel este caracterizat de o sporită vulnerabilitate la acțiunea agenților corozivi și la mediul natural comparativ cu otelul moale. Dintre tipurile de armături pretensionate, ordinea descrescătoare a sensibilității la agenți agresivi este următoarea: otelul tratat termic, lățe și toroane, sârme amprentate, sârme netede [N.7.]. Starea de "sănătate" a armăturii pretensionate, factor esențial în asigurarea durabilității BPP este decisiv condiționată de calitatea protecției. Primul element din categoria aceasta este betonul care înglobează armătura, inclusiv stratul de acoperire; aspectele legate de beton și durabilitatea lui au fost, pe scurt, prezentate mai sus. În ultimul timp se fac referiri la metode paralele de protecție a armăturilor pretensionate cum ar fi protecția suprafeței de contact armătură-beton cu pelicule de rășini epoxidice sau depuneri de zinc cald [N.7.], [C.7.].

În această soluție apare importanta problemă a aderenței dintre armătură și beton.

Dacă agenții agresivi penetrează stratul de protecție ajungând în imediată vecinătate sau în contact cu armătura pretensionată, se declanșează complexul proces de coroziune care se poate manifesta în una din cele trei forme prezentate în literatura de specialitate:

- coroziune locală,
- coroziune generalizată,
- coroziune fisurantă sub tensiune.

Foarte periculoasă este considerată ultima, deoarece produce un volum mic de oxizi și nu provoacă o deteriorare vizibilă a armăturii, motive pentru care avertizarea la rupere lipsește.

Coroziunea fisurantă sub tensiune este produsă și întreținută de următorii factori:

- absența pasivității suprafeței armăturii prin distrugerea locală a acestei protecții primare,
- prezența oxigenului și a umezelii,
- prezența unor agenți chimici sub forma sulfurilor, clorurilor, azotatilor,
- existența unor defecte locale pe suprafața barelor, provocate de: amprentare strivire în ancoraje, manipulare și depozitare necorespunzătoare, transport.

Există rezultate experimentale care arată că acest tip de coroziune se poate produce chiar și în condițiile umidității atmosferice la concentrații slabe de cloruri și sulfati [N.7.], [B.16.]

Din punctul de vedere al armăturii se mai poate face referire și la alți factori care au influență asupra durabilității elementelor din BPP. Câțiva dintre aceștia, mai des întâlniți sunt:

- calitatea necorespunzătoare a armăturilor la livrare (abateri dimensionale, omogenități necorespunzătoare la proprietățile fizico-mecanice)
- greseli de execuție (devierea canalelor),
- exploatare necorespunzătoare (executare de găuri în elemente, împuscare de bolturi chiar în zona armăturilor, hidroizolații neîntreținute care permit infiltrații).

Cu toată existența atâtor factori potențial periculoși pentru durabilitatea elementelor din BPP, s-a constatat, statistic, că domeniul betonului precomprimat a înregistrat cele mai puține avarii raportate la volumul mare de lucrări realizate cu această tehnică. Constatarea este favorabilă și stimulantă pentru utilizarea betonului precomprimat inclusiv cu precomprimare parțială și arată că acest material este durabil în condițiile

respectării severe a unor reguli în toate etapele elaborării și exploatării. În acest sens s-a făcut următoarea propunere : " Pentru îmbunătățire durabilității construcțiilor din beton precomprimat ce se vor realiza în viitor ,este necesară introducerea unui sistem general de asigurare a calității ,după modelul celui aplicat la realizarea construcțiilor pentru centralele nucleare-electrice ".[N.7.]

Un moment important a fost ocazionat de al X -lea Congres FIP 1986 ,când s-a subliniat necesitatea orientării eforturilor de cercetare spre problemele comportării betonului precomprimat la acțiunile agresive ale mediului ambiant ,acordând o atenție mai mare prelungirii duratei de viață a construcțiilor realizate din acest material . Există preocuparea specialistilor pentru a demonstra că durata de viață a acestor construcții poate atinge 200 și chiar 300 de ani .

Modul în care normele de calcul și alcătuire sunt redactate în ultima perioadă ,evidențiază importanța deosebită a durabilității ca noțiune și problematică pe de o parte și preocuparea foarte serioasă pentru formularea și precizarea metodelor (criteriilor) pentru asigurarea durabilității pe de altă parte.

Eurocod nr.2. în partea întâi a sa ,precizează explicit cerințele de durabilitate pentru betonul structural . Cerința pentru o structură adecvată din punct de vedere al durabilității este îndeplinită dacă în decursul vieții sale anticipate ,aceasta își îndeplinește funcțiile sale cu privire la condițiile de serviciu (exploatare) , rezistență și stabilitate fără pierderi semnificative în proprietățile de utilizare sau măsuri de întreținere excesivă neprevăzută. (De observat noua formulare " în proprietățile de utilizare ").

Durabilitatea poate fi afectată atât de acțiuni directe cât și de efecte indirecte cu consecințe semnificative inerente în comportarea structurii (ex: fisurare ,deformații ,absorbția apei) . Trebuie considerată importanța posibilă atât a efectelor directe cât și a celor indirecte [E.2.]. Pentru majoritatea clădirilor evitarea influenței efectelor indirecte se poate face prin conformare la cerințele generale (date în acest cod) pentru durabilitate ,fisurare, deformare ,alcătuire și pentru rezistență ,stabilitate și rigiditatea spațială de ansamblu a structurii .În plus poate fi necesar să se aibă în vedere influența factorilor dependenți de timp asupra fisurării și deformațiilor ,influența deformațiilor împiedicate asupra eforturilor. În afara acestor efecte indirecte sunt apreciate ca acțiuni atacul chimic și atacul fizic ,iar condițiile de mediu în contextul acțiunilor se referă la acele acțiuni chimice și fizice la care sunt supuse elementele structurale și betonul ,rezultate din efecte neincluse în condițiile de încărcare considerate la proiectarea structurală. În funcție de condițiile de mediu sunt stabilite clase de expunere cuprinse în tabelul 2.5.[E.2.].

Criteriile de calcul precizează cerințele ,continute în clauze pentru producerea unui beton durabil și pentru protecția armăturii împotriva coroziunii .În ceea ce privește armătura ,clauzele se referă la :condiții de efort unitar ,fisurare ,deformație ,cerințe generale de durabilitate (mai sus arătate) , acoperire cu beton și prevederi constructive Pentru BPP se atrage atenția asupra obligativității protejării oțelului pretensionat la toate acțiunile agresive ,astfel că pentru clasele de expunere 1-4 din tabelul 2.5 se va efectua calculul de verificare la fisurare în conformitate cu prevederile. Asupra stării limită de fisurare și stării limită de deformare se va reveni în detaliu la capitolul 5 ,iar asupra prevederilor constructive pentru armătură se vor face referiri la paragraful 2.6.

din prezentul capitol.

Tabelul 2.5.[E.2.] Clase de expunere în functie de conditiile de mediu.

Clasa de expunere		Exemple de conditii de mediu
1 mediu uscat		interiorul clădirilor pentru locuinte sau blocuri ¹
2 mediu umed	a fără înghet	-interiorul clădirilor unde umiditatea este mare (ex.spălătorii) -părți exterioare -părți aflate în sol neagresiv si / sau apă.
	b cu înghet	-părți exterioare expuse la înghet -părți aflate în sol neagresiv si / sau apă si expuse la înghet -părți interioare când umiditatea este mare si sunt expuse la înghet.
3 mediu umed cu înghet si săruri de dezghet		părți interioare si exterioare expuse la înghet si la agenti de dezghet
4 mediu marin	a fără înghet	-părți scufundate complet sau partial în mare , sau în zone împröcate de apă mării -părți aflate în aer salin (zonă de coastă)
	b cu înghet	-părți scufundate partial în mare sau în zone împröcate de apa mării si expuse la înghet -părți aflate în aer salin si expuse la înghet
Următoarele clase pot apare singure sau în combinatie cu clasele de mai sus:		
5 mediu agresiv chimic	a	-mediu usor agresiv chimic (gaz, lichid ,sau solid) -atmosfera industrială agresivă
	b	mediu moderat agresiv chimic (gaz ,lichid sau solid)
	c	mediu puternic agresiv chimic (gaz, lichid sau solid)

¹⁾ Această clasă de expunere este valabilă doar dacă în timpul executiei structura sau unele dintre părțile sale nu sunt expuse la conditiile mai severe pe o perioadă de timp mai îndelungată.

Conditiiile de efort unitar se referă la limitarea eforturilor unitare în conditii de exploatare (serviciu) . Eforturile unitare de compresiune ,excesive ,din beton sub încărcări de exploatare (serviciu) pot conduce la formarea fisurilor longitudinale si la microfisurarea betonului sau la nivele mai mari ale curgerii lente față de cele prevăzute.Dacă comportarea adecvată a unui element ,din BPP ,este posibil a fi afectată de aceste fenomene , trebuie luate măsuri pentru limitarea eforturilor la un nivel potrivit Eforturile unitare din armături în conditii de exploatare (serviciu) care pot conduce la deformatii inelastice ale armăturii vor fi evitate ,acestea conducând la fisuri deschise permanent.[E.2.].

Acoperirea cu beton va trebui să asigure :transmiterea sigură a eforturilor de aderentă ,protectia la coroziune a oțelului ,rezistentă la foc si să nu se exfolieze . Protectia anticorozivă a armăturii depinde de continuitatea mediului înconjurător alcalin asigurat de o grosime adecvată a betonului de bună calitate si bine tratat (compact) .În tabelul 2.6.sunt date valorile minime ale acoperirii cu beton a tuturor armăturilor pentru clasele de expunere corespondente, definite în tabelul 2.5.[EC-2].

Tabelul 2.6. [E.2.] Cerințe de acoperire minimă pentru beton de greutate normală.

		Clasele de expunere , în conformitate cu Tabelul 2.5.								
		1	2a	2b	3	4a	4b	5a	5b	5c ³⁾
(2) Acoperire minimă (mm)	Armătură	15	20	25	40	40	40	25	30	40
	Armătură pretensionată	25	30	35	50	50	50	35	40	50

2) Pentru plăci o reducere de 5 mm poate fi făcută pentru clasele de expunere 2-5 .O reducere de 5 mm poate fi făcută acolo unde sunt utilizate betoane cu clase de rezistență C 40 / 50 si cu clase mai mari pentru betonul armat în clasele de expunere 2 a-5 b, si pentru betonul precomprimat în clasele de expunere 1-5 b. Oricum ,acoperirea nu trebuie să fie nici odată mai mică decât cea din tab.2.6. ,clasa de expunere 1.

3) Pentru clasa de expunere 5 c ,trebuie asigurată utilizarea unui strat de protecție ,pentru prevenirea contactului direct cu mediul agresiv .

Pentru armăturile pretensionate trebuie să fie îndeplinite în paralel cu condițiile din tabelul 2.6. si următoarea condiție:

- acoperirea minimă să nu scadă sub 2ϕ pentru armături preîntinse ,
- acoperirea minimă să nu scadă sub 3ϕ în cazul folosirii sârmelor cu nervuri.

ϕ este diametrul unei armături pretensionate.

Pentru armături postîntinse acoperirea minimă este acoperirea canalului si nu trebuie să fie mai mică decât diametrul canalului .

Gama factorilor interactivi care trebuie să fie considerați , pentru a se asigura durabilitate adecvată unei structuri este mai largă decât cea abordată mai sus , iar forma ei completă după [E.2.] este următoarea:

- utilizarea structurii ,
- criterii de performanță necesare ,
- condiții de mediu presupuse ,
- compoziția ,proprietățile si performanța materialelor ,
- forma elementelor si alcătuirea structurală ,
- calitatea execuției si nivelul de control ,
- măsuri de protecție specifice ,
- întreținerea probabilă în timpul duratei de viață prevăzută

Concluziile unor studii efectuate în țară si străinătate, apreciază că betonul precomprimat este un material durabil si că respectarea întocmai a cerințelor ,criteriilor si clauzelor concordante cu factorii prezentați conduce la obținerea unei durabilități comparabile.

2.6.Probleme de alcătuire ,utilizare si aplicatii ale BPP

Comportarea elementelor din BA , BPP si BP ,sub diferite solicitări este în mare măsură influențată de modul de alcătuire . Interesul crește pentru elementele din BPP cu precomprimare moderată ,deoarece armarea mixtă nu duce în toate cazurile la rezolvări tehnico - economice favorabile , asa cum , din unele studii prezentate în capitolele 5 si 6, rezultă. Pentru elementele din BPP alcătuirea poate fi diferentiată discutată functie de gradul de precomprimare si functie de solutia adoptată pentru realizare. În paragraful anterior , s- au făcut aprecieri privind forma si dimensiunile sectiunii de beton . În raport cu armătura ,alcătuirea se apropie fie de cea a betonului precomprimat total fie se interferează cu regulile ce se adresează betonului armat , functie de lipsa sau prezenta armăturii nepretensionate . Pentru cazul armării mixte a BPP ,în special la precomprimarea moderată ,este indicat să se tină seama de recomandări specifice privind următoarele :

- diametrul si numărul barelor nepretensionate ,
- natura suprafeței barelor nepretensionate ,
- pozitia de amplasare a barelor nepretensionate în raport cu pozitia armăturii pretensionate ,
- distributia barelor nepretensionate pe înălțimea sectiunii (în inima grinzilor T sau I),
- simplificarea armării zonelor de transmitere.

În paragraful anterior , 2.5.,în paralel cu prezentarea generală a materialelor , s-au făcut referiri si la aspecte de alcătuire cu implicatii asupra durabilității elementelor din BPP . Asupra acestora nu se revine ,iar în cele ce urmează se vor face consideratii asupra altor cerinte .

Normele europene [E.2.] prevăd ,pentru elemente din BPP realizate fără armătură nepretensionată , obligativitatea înglobării în zona întinsă precomprimată a unui număr minim de armături de pretensionare astfel încât să se asigure ,cu o adecvată sigurantă , că cedarea unui anumit număr de bare , sârme sau cabluri nu va conduce la cedarea elementului , tabelul 2.7.

Tabelul 2.7. [E.2.] Număr minim de bare, sârme si toroane în zona precomprimată a elementelor izolate

Tip de armătură	Număr minim
Bare si sârme individuale	3
Bare si sârme ce formează un toron sau un cablu	7
Cabluri cu exceptia toroanelor (vezi paragraful (4) de mai sus)	3

Prevederea a cel puțin unui toron cu minim 7 sârme de diametru ≥ 4 mm, satisface cerința de mai sus pentru elementul izolat. Elementele din BPP cu armare mixtă nu se supun acestei cerințe.

Aceleasi norme precizează că pentru controlul procesului de fisurare este necesară o arie minimă de armătură calculată în funcție de : aria de beton din zona întinsă A_{ct} , efortul maxim admis în armătură imediat după apariția primei fisuri, rezistența la întindere a betonului la timpul apariției fisurilor $f_{ct,ef}$.

Asupra acestui aspect se va reveni în capitolul 5.

Sunt continute de asemenea prescripțiile cu privire la distanțele orizontale și verticale minime pentru armăturile preîntinse și postîntinse.

Normele americane [A.5.] impun ca armătura totală, pretensionată și nepretensionată înglobată, să asigure o capacitate portantă cel puțin cu 20 % mai mare decât momentul de fisurare. Condiția asigură că ruperea nu se va produce imediat după fisurare și că va exista avertizare prin deformată, urmare a unei cantități minime de armătură rezultată. Este limitată și cantitatea maximă de armătură prin condițiile 2.38., iar dacă nu sunt respectate se impune ca momentul capabil calculat pornind de la rezultanta compresiunilor în beton să nu fie depășit de capacitatea portantă a secțiunii.

$$\omega_p = A_p / bh_{op} \times R_p / R_c \leq 0,36 \beta_1 ;$$

$$\omega_p + h_o / h_{op} (\omega - \omega') \leq 0,36 \beta_1 ; \quad 2.38$$

$$\omega_{p1} + h_o / h_{op} (\omega_1 - \omega'_1) \leq 0,36 \beta_1 ;$$

unde : ω_p, ω și ω' sunt mărimi de tipul ξ din normele noastre, iar β_1 este un coeficient dat în funcție de calitatea betonului, $\beta_1 \in [0,65 - 0,85]$.

Preocupări constante s-au manifestat pentru îmbunătățirea soluțiilor de amplasare a armăturilor nepretensionate [B.2.] [B.14.] [C.18.] [P.5.] [T.1.].

De mare importanță pentru armătura nepretensionată sunt următoarele recomandări : în cazul elementelor încovoiate, armăturile pretensionate și nepretensionate se amplasează la nivele diferite, ultima având poziția cea mai apropiată de fibra întinsă în exploatare [S.1.]

-diametrul minim pentru barele nepretensionate este 8 mm, iar distanța maximă între bare 15 d [S.1.],

-nu este necesară armătura nepretensionată la elementele din BPP a căror armătură pretensionată este realizată din bare cu profil periodic; excepție face cazul când $A_a(A_s)$ rezultă din condiții de rezistență [B.2.],

-în vecinătatea armăturilor pretensionate, chiar și a celor amplasate în inima secțiunilor T, este necesară prevederea unor bare nepretensionate de diametru mic cu rol activ la închiderea fisurilor sub sarcini de exploatare de lungă durată [P.5.],

-distribuția unor armături nepretensionate de diametru mic pe înălțimea secțiunii, are efect favorabil nu numai asupra stării de fisurare ci și asupra rigidității și rezistenței elementului; soluția de armare mixtă are și o influență substanțială asupra contrasăgeții elementelor încovoiate [P.1.].

O alcătuire corespunzătoare , continuând unui corect calcul de dimensionare si verificare , creează premisele favorabile unei remarcabile realizări în domeniul betonului structural . Calitatea executiei si modul de exploatare ultime faze în cronologia conceptiei , realizării si vietii acestui material , au o pondere hotărâtoare în asigurarea conditiilor optime de utilizare si asupra durabilității .Betonul precomprimat a devenit foarte interesant constructorilor si potentialilor beneficiari atunci când performantele au trecut de partea sa prin acoperirea unor deschideri superioare celor obisnuite / maxime betonului armat . Acest lucru s-a întâmplat în jurul anului 1950 pentru o deschidere de grindă de 100 m . În prezent , deschideri care depășesc 250 m sunt în exploatare .

În România , betonul precomprimat are cea mai mare utilizare la elementele liniare si de suprafată cu armătură pretensionată aderentă . Grinzile cu armătură postântinsă s-au confectionat atât sub formă monobloc cât si din tronsoane prefabricate . S-a aplicat în tară si tehnica realizării grinzilor continue în consolă . În afara elementelor de tip bară sau de suprafată , tehnica precomprimării s-a aplicat si la realizarea unor constructii din beton structural de tipul rezervoarelor si silozurilor . Ne numărăm printre țările cu pondere mare a betonului precomprimat în volumul total al betonului structural [N.7.]. Pe plan international tehnica precomprimării a pătruns si în constructii netraditionale aspect asupra căruia se va reveni. Betonul precomprimat si cu atât mai mult cel cu precomprimare parțială sunt materiale de constructie relativ noi , asupra oportunității aplicării lor pentru conditii date , purtându-se încă discutii.

Câteva puncte de vedere vor fi prezentate în cele ce urmează .

Există un consens considerându-se că cel mai economic pentru deschideri mici si încărcări date mici este betonul armat . Devine competitiv betonul precomprimat pentru deschiderile mari unde influenta greutății proprii este considerabilă si problemele de exploatare tind să domine proiectarea . Există asadar un domeniu în care devine economică precomprimarea în vederea limitării deschiderii fisurilor , a săgeților si a reducerii configuratiei generale a sectiunii .Limite fixe pe criterii de economicitate pentru domenii de utilizare a BPP sau BP nu pot fi stabilite din cauza fluctuatiilor costurilor relative ale materialelor , cofrajelor , utilajelor ,manoperei . [B.23.], [W.4.]. Cestelli - Guidi contraindică utilizarea BPP în mediile agresive si în cazul încărcărilor repetate care provoacă fenomenul de oboseală .[C.6.].

După Lebelles ,BPP se recomandă strict pe criterii economice pentru următoarele domenii : plăci cu deschidere mare , docuri plutitoare , rezervoare ,chesoane , elemente prefabricate din BA asamblate prin postcomprimare .[L.8.].

Pentru cazul actiunii încărcărilor temporare care produc solicitări mari , însă cu frecvență redusă si a unor medii ambiante neagresive , se recomandă utilizarea elementelor din BPP , constituind totodată o solutie economică în raport cu BP [F.3.].

Concluzii generale asupra potentialului economic si domeniile de aplicare ale elementelor din BA , BPP si BP se pot obtine prin utilizarea tehnicilor de optimizare formală pentru proiectare , folosind parametrii variabili .Astfel de studii au făcut Baus , Brenneisen,Claude [B.10.] ,Naaman [N.1.][N.2.], Cohn , Macrae [C.8.] si altii. Un studiu s-a efectuat pentru o grindă simplu rezemată [C.8.] proiectată în cele trei variante de beton structural,BA, BPP, BP.Problema de optimizare consta în găsirea variabilelor de proiectare care reduc costul total al grinzii în conditiile satisfacerii

tuturor constrângerilor de proiectare cerute .Deoarece o secțiune transversală a unei grinzi din BPP are până la 11 variabile , figura 2.13. si cel puțin 20 de limitări , s-a utilizat un program de calcul specializat numit OSCON (autor : Macrae) .

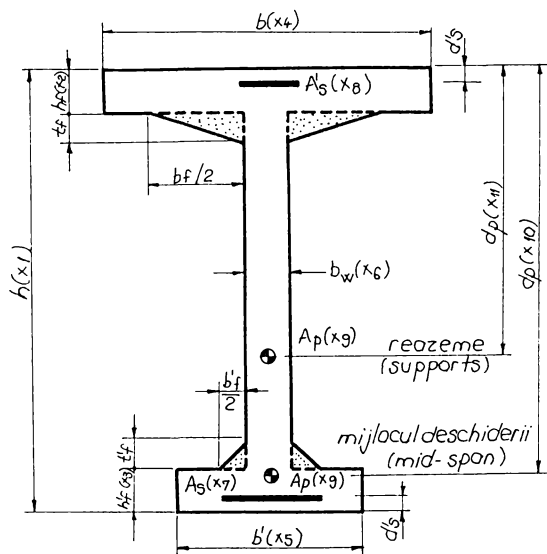


Fig.2.13.[C.8.].Variabile de calcul pentru optimizarea componentelor structurale.

Rezultatele obtinute au permis formularea următoarelor concluzii :

- solutiile cu BA sau BP sunt avantajoase din punct de vedere economic pentru valori mici respectiv mari ale raportului L / h (deschidere / înălțime) si ale încărcării utile
- solutia cu BPP este cea mai economică pentru elemente cu valori a raportului L / h si a încărcării utile moderate ,
- influență majoră asupra economiei generale în proiectarea BP si BPP au costurile unitare ale oțelului pretensionat si nepretensionat ; efectul este că BPP este mai eficient din punctul de vedere al costului în cazul postcomprimării , presupunând raportul cost precomprimat / cost neprecomprimat (c_p / c_s) egal cu patru , în timp ce BP este mai economic în cazul preântinderii , presupunând că $c_p / c_s = 1$.

În privinta structurilor hiperstatice , specialistii au exprimat păreri favorabile pentru aplicatii ale BPP . Prima , valoroasă interventie a fost a lui Guyon [G.3.] reproducă în paragraful 2.2.

Din cauza variatiei eforturilor în intensitate si semn , este foarte greu de obtinut precomprimarea totală în toate secțiunile unei structuri hiperstatice . Este de fapt nepotrivită si intentia de -a asigura precomprimarea totală pentru cea mai defavorabilă combinatie de încărcări , deoarece în realitate ea se produce foarte rar . În astfel de cazuri BPP este mai potrivit decât BP. [B.20.] .

O foarte importantă remarcă face Lacroix [L.9.] spunând că structurile continue din BPP sunt mult mai rar supuse fisurării datorită redistribuției tensiunilor, decât structurile din BP.

Preocupări și contribuții importante asupra aspectelor problematice ale continuității în precomprimarea totală, alături de ceea ce implică potențiale beneficii ale BPP, au avut Lin, Burns [L.3.], Nilson [N.8.], Naaman [N.2.], Menn [M.3.] Bruggeling [B.14.]. O enumerare a construcțiilor la care s-au aplicat soluții cu BPP este de nerealizat datorită foarte numeroaselor exemple existente. Profesorul T. Onet face o prezentare de soluții aplicate ale BPP [O.1.] scotând astfel în evidență varietatea și răspândirea lor. Se confirmă astfel previziunile unor specialiști care anunțau un bun viitor pentru BPP, inclusiv pătrunderea lui în domeniul construcțiilor netraditionale. În România, evenimentul care a schimbat în mod decisiv optica specialiștilor asupra BPP a fost Simpozionul FIP desfășurat la București în anul 1980. Au participat cu lucrări pe lângă cercetătorii români și unele dintre notorietățile domeniului din străinătate. Această manifestare, prin continutul ei, a contribuit la creșterea încrederii inginerilor proiectanți și executanți români în calitățile tehnico-economice avantajoase ale BPP.

O deosebită importanță a avut elaborarea în anul 1982 a "Instrucțiunilor tehnice pentru proiectarea elementelor din beton precomprimat parțial, folosind armături pretensionate și nepretensionate complementare", colectiv: A. Popăescu - responsabil, D. Dumitrescu, M. Toma, I. Terteia, I. Filimon.

Un aport deosebit prin sintetizarea unei concepții moderne a betonului precomprimat cu precomprimare parțială îl aduce prin teza de doctorat "Probleme ale comportării și calculului elementelor încovoiate din beton precomprimat cu precomprimare parțială" autorul A. Popăescu. Proiectele normelor STAS 10107/0, au suferit influențe ale lucrării mai sus menționate.

Contribuții importante și-au adus grupurile formate în principalele centre universitare conduse de remarcabile personalități în domeniu: D. Dumitrescu, A. Popăescu, la București, I. Terteia, T. Onet la Cluj, A. Mihul, A. Cuciureanu la Iași, I. Filimon, T. Clipii, R. Friedrich la Timisoara.

Deasemenea trebuie recunoscută favorabila influență și aportul consistent la emanciparea BPP adus de cărțile publicate de I. Terteia [T.3.], A. Popăescu, D. Dumitrescu [D.4.] și T. Onet [O.1.], [O.4.].

La Timisoara o remarcabilă lucrare în domeniul BPP cu deosebită valorificare este teza de doctorat elaborată de profesorul T. Clipii [C.3].

Realizări ale unor lucrări prin utilizarea BPP se regăsesc pe plan intern în domeniile:

- poduri pentru sosele,
- elemente pentru planșee intermediare și de acoperis,
- rezervoare de apă și silozuri,
- elemente verticale de hale industriale,
- structuri pentru clădiri de locuit.

Acestea au constituit obiectul studiilor de tipizare efectuate de IPCT în colaborare cu INCERC, iar mai târziu alături de filialele acestuia au fost implicate și colective din facultățile de Construcții din țară.

În prima etapă IPCT și INCERC au efectuat două importante studii.

Întâiul privind posibilități de aplicare eficientă a precomprimării parțiale la construcții ingineresti - proiect IPCT 5704 , a arătat că există posibilități de aplicare la silozuri monocelulare pentru cimnet și cereale precum și la rezervoare pentru petrol având câptuseală metalică la interior , dar în același timp a arătat că există și domenii pentru care precomprimarea parțială nu apare ca indicată , respectiv în cazul rezervoarelor de apă și al turnurilor castelelor de apă [C.20.] .

Al doilea studiu s-a constituit într-o analiză aprofundată asupra unui volum important și reprezentativ de elemente prefabricate tipizate de tipul grinzilor longitudinale și transversale , elementelor de suprafață de acoperis , fâșiilor cu goluri și elementelor de planșeu . Au fost luate în considerare pentru fiecare element mai multe variante de armare mixtă , urmărindu-se ca un criteriu determinant să fie satisfacerea la limită a solicitării necesare pentru starea limită de rezistență .

Rezultatele studiului efectuat au pus în evidență tipuri de elemente și soluții de armare mixtă a căror eficiență s-a concretizat în principal prin reducerea consumului de ciment și energie înglobată , iar în unele cazuri și în reducerea consumului total de oțel. Gradul de precomprimare $K = \overline{M}_s^o / M^E$ la soluțiile propuse a variat în intervalul 0,72 -0,87 față de soluțiile existente de 0,87 -1,05. Asupra studiilor experimentale și a rezultatelor obținute se va reveni în capitolul 5 , iar asupra studiilor de soluții în capitolul 6.

Studiul a dovedit că numai o analiză aprofundată pe elemente concrete poate conduce la o aplicare rațională și eficientă a precomprimării parțiale utilizând armătură pretensionată și nepretensionată complementară. Totodată studiul a permis să se formuleze și unele propuneri pentru revizuirea prescripțiilor de proiectare P 103 - 78 și STAT 10101 /21-81 în următoarele direcții principale :

- o mai reală evaluare a încărcărilor climatice și în special a fracțiunii de lungă durată în corelare cu durata de viață a construcției ,
- recomandarea unor valori a gradului de precomprimare pentru elemente prefabricate din BPP solicitate la încovoiere,
- modificarea prevederii privind recomandarea limitelor raportului $A_a R_a / A_p \cdot \sigma_{po}$ ținând seama de rezultatele studiului,
- inclusiunea unor prevederi specifice pentru elementele cu continuitate pe reazeme ,
- inclusiunea unor prevederi specifice legate de asigurarea ductilității la solicitări alternante.

De menționat că instrucțiunile tehnice P 103 -78 au avut ca bază recomandările de calcul și alcătuire din anul 1977 rezultate din colaborarea dintre INCERC ,ICB , Filiala ICCPDC Cluj- Napoca și IP Cluj - Napoca.

Cele mai importante concluzii ale studiului , având influență asupra proiectării și producției de serie a elementelor prefabricate , au fost următoarele :

- pentru grinzile transversale și longitudinale cu deschideri de 6-24 m precum și pentru elemente curbe de 1,5 x 9; 12, 15,18,m soluțiile de armare mixtă eficiente tehnico-economic s-au dovedit a fi cele corespunzătoare la grade de precomprimare cuprinse în intervalul 0,72 -0,87 ,
- ca rezultat general al introducerii armării mixte s-a obținut reducerea consumului de ciment ca urmare a utilizării betoanelor de calitate imediat inferioară,
- la grinzile G6-T și Gψ 6 -18 s-au obținut și reduceri ale consumului total de armătură.

La aceste studii si la altele care au urmat , a existat preocuparea ca realizarea elementelor din BPP să se facă la dimensiunile elementelor cu precomprimare totală , în vederea obtinerii a încă unei economii prin utilizarea tiparelor existente . Din categoriile de elemente discutate , unele se găsesc în productia de serie a fabricilor de prefabricate .

În completarea paragrafului de aplicatii ale BPP în tară , se pot lua în considerare si alte date prezentate în capitolul 5.

În străinătate , aplicatiile betonului precomprimat partial (BPP) au o mai mare vechime si diversitate .Specialistii de astăzi consideră ca normală aparitia pentru prima dată a utilizării BPP în tara celui socotit părinte al acestui material , Abeles P.W. Primele aplicatii sunt asadar realizate în Anglia începând cu anul 1948 si se referă la dale compozite pentru poduri de autostrăzi , alcătuite din grinzi prefabricate precomprimate dispuse alăturat si beton monolit , armat transversal cu otel moale , turnat peste acestea .

În aceeași perioadă si tot în Anglia se fac primele aplicatii ale BPP la grinzi de acoperis de deschideri nu prea mari (18,2 - 36,6 m) , dar exploatate în conditii grele (transporturi feroviare) . Comportarea foarte bună în exploatare (serviciu) a acestor elemente , constatată la primul atent control la vârsta de 8 ani a provocat încrederea specialistilor în această solutie constructivă.Un autorizat cunoscător , Chaikes S. [C.2.] face o comparatie între lucrări executate din BP si lucrări executate din BPP evidentiind în mod pregnant avantajele tehnico-economice ale celui de- al doilea (prezentate printre cele din paragraful 2.4.). Rezultatele favorabile ale acestor comparatii au permis extinderea aplicării solutiei constructive cu BPP la lucrări de anvergură , dar si de o mai mare varietate.

Domeniile în care BPP are cele mai numeroase aplicatii sunt : lucrări ingineresti (de artă) si constructii industriale , civile si agrozootehnice . Nu lipsesc exemplele din alte multe domenii cum sunt : rezervoare îngropate , turnuri , tunele, pânze subtiri , constructii plutitoare , platforme marine de foraj si extractie , anvelopele reactoarelor nucleare. [O.1.], [N.7.].

Profesorul T.Onet [O.1.] prezintă reprezentative exemple de aplicatii ale BPP în străinătate . O succintă enumerare se face , pe domenii , în continuare .

Lucrări de poduri au fost proiectate si executate la început cu deschideri mici dar rezolvările tehnice , tehnologice , economicitatea solutiei si buna comportare în exploatare au condus la scheme îndrăznețe . De la poduri cu deschidere de 22 m peste Sisseln-Elvetia s-a ajuns la poduri cu deschideri de :29,6 + 55,8 +29,6 m la Schaffhouse -Elvetia (sub formă de cadru cu trei deschideri) , 25+50+25m la Balen - Neet si 30,5+61+30,5 m la Massenhoven în Belgia .În zona aeroportului Orly -Franta s-a realizat podul cu deschiderea 24+ 16,5 m cu rol de pistă pentru avioane având greutatea de până la 220 tone. La Los Angeles -SUA a fost proiectat prin metoda proprie a "balansării încărcării prin precomprimare " (Lin ,T.Y.) un pod pietonal .În America de Sud peste râul Magdalena, podul în sistem de grindă continuă chesonată executată în consolă , are deschiderea de 65,5 +140+65,5 m în afara viaductului de acces .

Viaductele sunt o altă categorie de lucrări care au atras aplicatiile BPP.În Italia de exemplu ,toate aceste lucrări s-au proiectat cu admiterea eforturilor de întindere în beton

2.41.

dar cu valori limitate , reprezentativ fiind cel de la Roma -Corso Francia , alcătuit din grinzi prefabricate, fig 2.14. , în " V" cu inima de 7 cm grosime si aripile legate printr-o dală , armătura pretensionată fiind amplasată în vârful (inferior) formeii (două fascicule $12 \phi 7$) împreună cu armătura nepretensionată (64 cm^2).

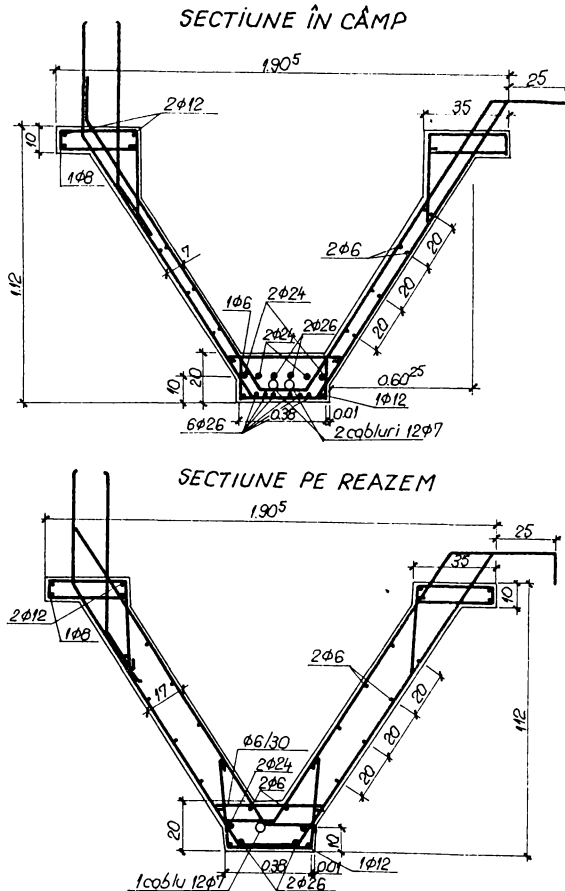


Fig.2.14.[O.1.] Grinzi din BPP pentru pod la Roma

La Ravels-Belgia este realizat un viaduct cu patru deschideri a 20 m având tablierul lat de 19,2 m pe șapte grinzi armate cu câte 3 fascicule $34 \phi 7$ continue pe reazemele intermediare și cu armătură nepretensionată din oțel profilat A52 ($5 \phi 1"$ pe reazeme, $6 \phi 1"$ respectiv $6 \phi 7/8"$ în câmpuri ; $1" = 25,4 \text{ mm}$).

La Wilryk -Belgia s-a executat un viaduct cu lungimea totală de 1288 m ($39 \times 30 \text{ m}$) folosindu-se grinzi prefabricate armate cu 30 toroane de $1/2"$ și oțel TOR $5 \phi 20$. Grinzile realizate din BPP au fost utilizate preponderent în alcătuirea planșelor de acoperis și ale intermediare ale construcțiilor industriale și civile. Răspândirea lor este sensibil mai mare decât a celorlalte categorii.

De la solutia clasică a grinzilor din BPP pe care reazemă elemente de suprafață utilizată în Anglia, Elvetia ,Franta ,trezând prin varianta grinzilor alternative precomprimate si neprecomprimate si cărămizi cu goluri adoptată în Italia s-a ajuns la proiectarea si realizarea grinzilor continue pentru cadre rigide la constructii multietajate la Beverly Hills - SUA .

Plansee realizate cu aplicarea BPP se pot găsi si în alte variante constructive ,spre exemplu elemente prefabricate de BA având dimensiunea unei deschideri asamblate prin postcomprimare ,sau elemente betonate în situ armate obisnuit (BA) si ulterior postcomprimate , ambele întâlnite în Franta. Este întâlnit si betonul usor , folosit la realizarea unor plansee prefabricate care au fost lifate la clădiri multietajate si apoi postcomprimate după două directii la San Francisco-SUA.

Exemplificări ale aplicării BPP se pot face si în domeniul halelor ,relevantă în acest sens fiind cea de expoziție a palatului Heysel -Belgia în structura căreia au fost folositi stâlpi precomprimate cu patru fascicule BBRV 34 ϕ 7 mm si având peste 14 m înălțime si grinzi cu zăbrele ,cu deschiderea de 72 m si înălțime variabilă de 2,5 la 3,5 m precomprimate prin nouă fascicule BBRV 34 ϕ 7; armătura nepretensionată fiind prezentă în ambele tipuri de elemente.

În figura 2.15. sunt prezentate aplicatii ale BPP la hale în China.

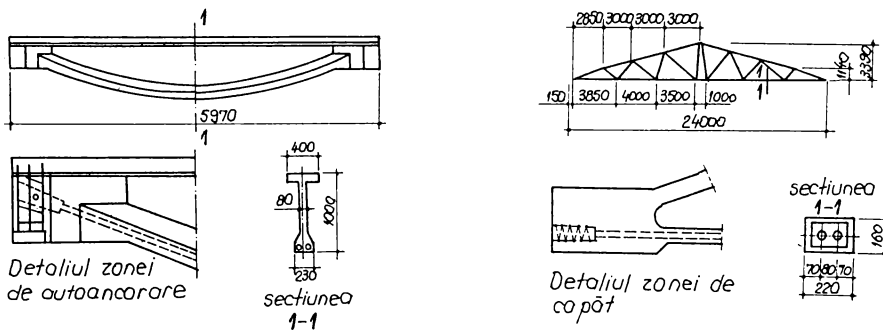


Fig.2.15.[O.1] Grindă pentru pod rulant si grindă cu zăbrele dinBPP

Betonul precomprimat partial a pătruns si în domeniul pânzelor subtiri si a învelitorilor cutate , exemple constituind acoperisul cilindric al muzeului de stiință si istorie din California si acoperisul stadionului Universității Illinois ,Urbana. Tot în SUA s-au realizat paraboloizi hiperbolici sub formă de umbrele întoarse precomprimate pe contur. O aplicatie mai puțin întâlnită a BPP este la rezervoarele pentru apă ,reprezentative fiind cele de la :Eupen- Belgia cu capacitatea de 50.000 mc ,Choisy-le-Roy -Franta cu capacitatea de 45000 mc sau Porte de Lilas- Franta cu 200000 mc. Mai recentă este realizarea rezervorului plutitor pentru înmagazinare si transportul hidrocarburilor extrase din Marea Nordului.

O altă exemplificare este cea a utilizării BPP la tuneluri ,unde precomprimarea se realizează în toate cazurile pe directie transversală si doar temporar pe directie longitudinală (pentru preluarea eforturilor unitare produse de contractie ,variatii de

temperatură și tasări inegale ale terenului . Lucrări realizate sunt în exploatare în Olanda .

În cele ce urmează , vor fi prezentate exemple de aplicare a BPP cu armătură posttîntînsă ,rezultînd pentru fiecare caz , avantajele soluției constructive în raport cu BA sau BP [B.14].

Prima aplicație este o grindă static nedeterminată (continuă) pentru pod rutier avînd trei deschideri : 32+41,6+32 m,precomprimată cu 18 cabluri VSL tip 12 x toroane 12,9 mm (7 ϕ 4,3mm) și gradul de precomprimare $\kappa = 1,02$. Dispunerea armăturii nepretensionate este prezentată în figura 2.16.

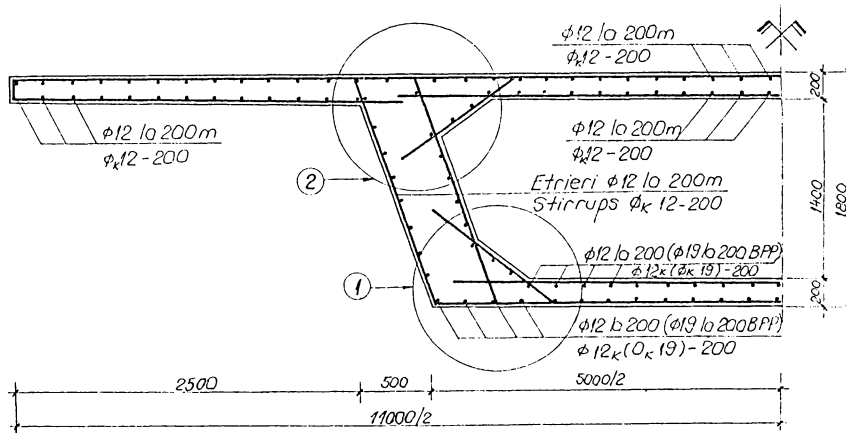


Fig.2.16 [B.14] Dispunerea armăturii nepretensionate în secțiunea de la mijlocul deschiderii centrale

Secțiunea armăturii nepretensionate în placa superioară și respectiv inferioară reprezintă 0,3 - 0,5 % din secțiunea plăcilor . Armătura pretensionată este formată din 18 cabluri dispuse ca în figura 2.17. ,câte nouă cabluri pentru fiecare jumătate (stînga - dreapta) a secțiunii , poziția lor fiind " jos " în câmpuri (detaliul 2 în figură) respectiv " sus" pe reazemele grinzii (detaliul 1 în figură) .

De observat că cele trei cabluri dispuse în placă se ridică / coboară trecînd prin secțiunea inimii , ceea ce aduce suplimentare dificultăți.

Adoptînd pentru această grindă precomprimarea parțială , cu gradul de precomprimare

$\kappa = 0,68$, cablurile se reduc de la 18 la 12 eliminîndu-se cele trei cabluri poziționate în placă și hasurate în figura 2.17. Armătura nepretensionată complementară este ,necesară numai în secțiunea de la mijlocul deschiderii centrale , unde diametrul creste de la 12 la 19 mm pentru barele profilate . În secțiunile de câmp ale deschiderilor marginale și în cele ale reazemelor intermediare nu este necesară modificarea soluției de armare minimă existentă deoarece calculul nu înjdică apariția fisurilor . În secțiunea fisurată de la mijlocul deschiderii centrale se verifică variația efortului unitar în cele două tipuri de armături: $\Delta \sigma_p \leq 140 \text{ N/mm}^2$,

$\Delta \sigma_a \leq 140 \text{ N/mm}^2$. Calculul indică deschideri de fisuri de pînă la 0,15 mm și $\Delta \sigma_{p,a} \cong 130 \text{ N/mm}^2$. De altfel gradul de precomprimare $\kappa = 0,68$ se referă numai la secțiunea de mijloc a deschiderii centrale.

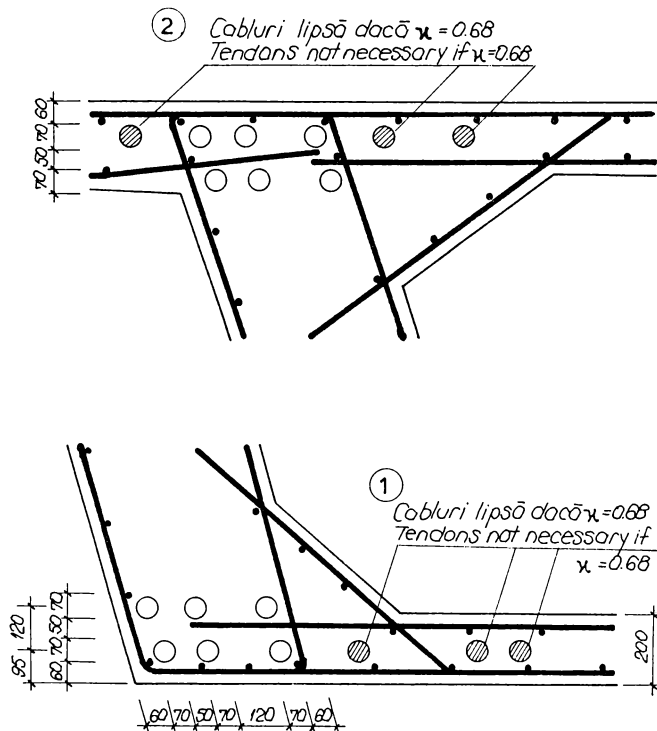


Fig.2.17. [B.14] Poziționarea cablurilor în secțiune de câmp și în secțiune de reazem

Pentru ca armătura nepretensionată A_s să nu intre în curgere la fisurarea betonului trebuie îndeplinită condiția: $A_s f_{sy} > A_c f_{ctk}$, care pentru valorile eforturilor în armătură respectiv în beton de: $f_{sy} = 400 \text{ N/mm}^2$

$$f_{ctk} = 2 \text{ N/mm}^2 \text{ conduce la } A_s/A_c \geq 0,5 \text{ \%}.$$

În consecință, cu toate că armătura existentă ($\phi 12 / 200$) contribuie la starea limită ultimă, ea nu este suficientă pentru fisuri deschise.

Efectele trecerii de la precomprimarea totală la precomprimarea parțială pentru elementul mai sus prezentat sunt date de următoarele rezultate:

- reducerea numărului de cabluri (cu o treime) și simplificarea traseelor celor rămase
- majorarea locală a armăturii nepretensionate pe zona de mijloc a deschiderii centrale,
- sub încărcări totale de exploatare (serviciu) apar fisuri numai în zona de mijloc a deschiderii centrale, care se închid sub încărcări permanente.

A doua aplicație este tunelul imersat având $2 \times 11,4 \text{ m}$ deschidere pe direcție transversală fig 2.18, realizat din prefabricate alăturate. Soluția realizării din BA este neeconomică deoarece acțiunea presiunii apei pe peretii tunelului conduce la o puternică armare, fiind preponderente eforturile mari de încovoiere. Nici soluția realizării din BP nu se poate aplica deoarece echilibrarea presiunii apei ar cere efectuarea postcomprimării sub apă. Iar la suprafață nu este apă.

2.45.

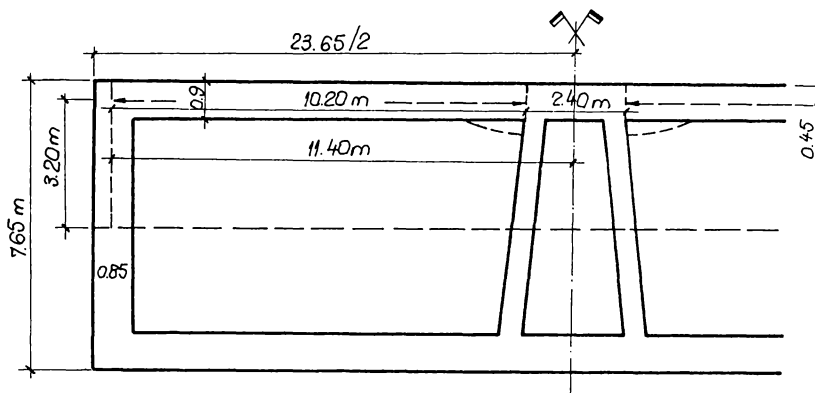


Fig.2.18 [B.14] Sectiune transversală idealizată a tunelului imersat.

Tunelul s-a proiectat ca element din BPP, fisurat în timpul execuției sub greutate proprie și efectul precomprimării. În exploatare se suprapun și efectele încărcărilor mari de exploatare rezultate din presiunea apei. Din acest motiv se pot admite fisuri mai mari în timpul execuției decât se admit în exploatare, deoarece acestea se închid când tunelul este imersat. În figura 2.19. este prezentat modul de dispunere a celor două tipuri de armături pentru o zonă caracteristică a tunelului.

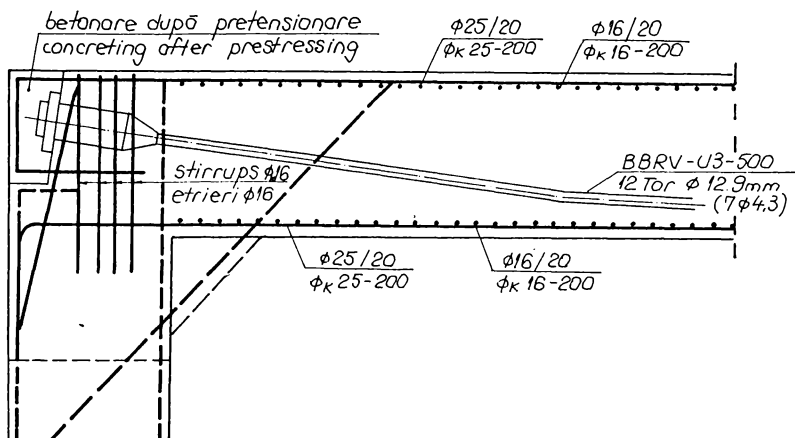


Fig 2.19.[B.14.]Dispunerea armăturilor în zona de colt de tunel .

Se poate concluziona că BPP este potrivit pentru plăcile acestui tip de construcție deoarece conduce la o mai simplă aranjare a armăturilor, la posibilitatea controlului procesului de fisurare și la un profil mai simplu al armăturii pretensionate.

O a treia aplicație se referă la un rezervor de înmagazinare cu pereți cilindric precomprimați orizontal (în plan perpendicular pe generatoare), unde îmbinare: perete - radier se proiectează astfel încât să permită deplasarea relativă liberă, figur: 2.20.

Îmbinarea perete - radier este astfel concepută încât să preia deplasări orizontale anticipate și să asigure etanșeitatea.

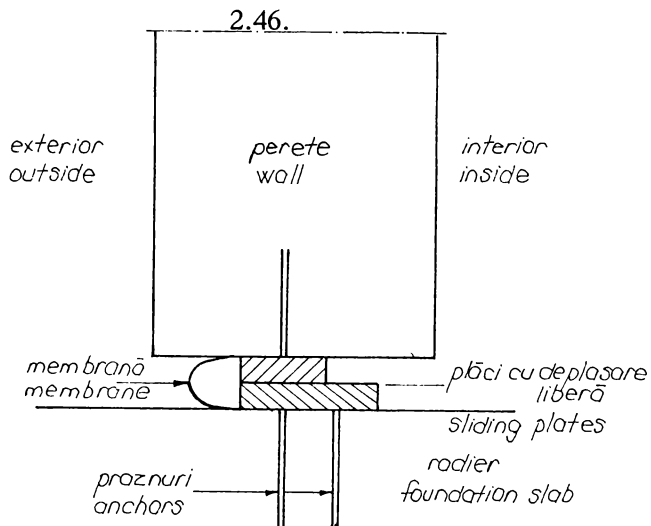


Fig.2.20.[B.14.]Îmbinare perete -radier la rezervor cilindric.

Acest tip de rezervor este unul "de siguranță" pentru rezervoare de gaze lichefiate unde etanșeitatea trebuie să se păstreze și la temperatură scăzută pentru cazul cedării rezervorului metalic interior. Un astfel de rost este scump, complicat, necesită severă verificare și asigurarea mentenanței. Alte dificultăți rezultă din sensibilitatea rostului la tașări și transmiterea eforturilor la radier în caz de explozie.

Dacă s-ar adopta varianta îmbinării monolite, problemele mai sus arătate ar fi eliminate dar cu pretul introducerii unor mari eforturi produse de încovoiere și tăiere ca efect al procesului de precomprimare.

Dacă îmbinarea ar fi articulat plastică, aceste eforturi s-ar reduce considerabil, însă soluția ar fi greoaie.

În figura 2.21. este schematic reprezentat, pentru cele două variante, modul în care elementele componente (radier, perete, pilot) se deformează sub efectul precomprimării orizontale (inelare) a peretelui cilindric al rezervorului.

Aplicarea BPP în peretele cilindric și în special în zona îmbinării acestuia cu radierul ar reduce rigiditatea peretelui făcându-l mai flexibil ca urmare a fisurării la fața lui întinsă. Ca rezultat, peretele este relaxat deoarece eforturile din încovoiere și tăiere se reduc (datorită flexibilității peretelui), momentele încovoietoare putând fi înjumătățite prin precomprimarea parțială.

Precomprimarea în planul orizontal introduce efortul mai mult în direcția tangentială (efortul de compresiune inelare) a peretelui ca urmare a faptului că îmbinarea este mai puțin rigidă.

BPP se aplică pentru această structură dispunând armătură pretensionată orizontală (inelară) în peretele cilindric și în radier, armătură pretensionată verticală cu traseu "U" ancorată prin curbura la 180° în betonul radierului și armătură nepretensionată dispusă atât în perete cât și în radier, așa cum se prezintă în desenul din figura 2.22. Armătura nepretensionată A_s se dispune în peretele cilindric vertical pe ambele fețe și pe ambele direcții, cu procent de armare de 0,41% pentru armătura orizontală inelară respectiv 0,67% pentru armătura verticală paralelă cu generatoarea. Procentele date sunt valabile pentru fiecare față a peretelui (spre interior și spre exterior).

2.47.

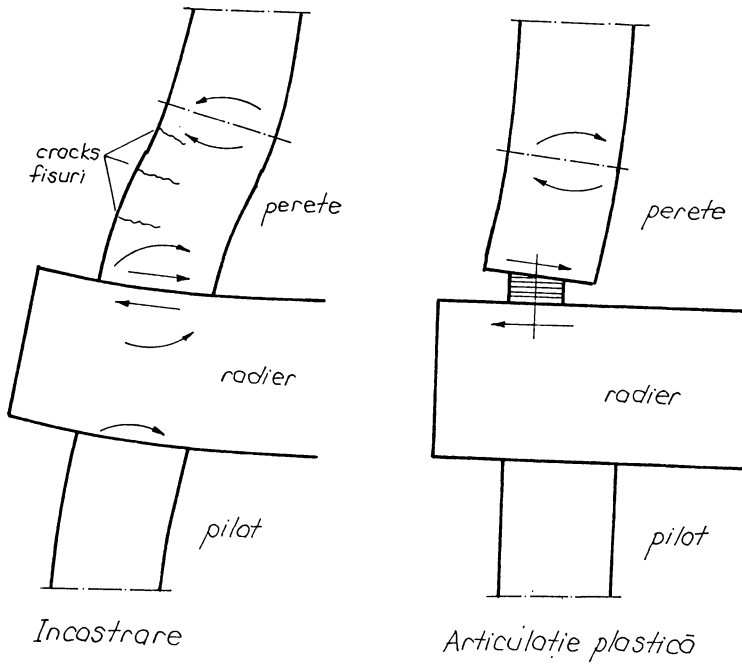


Fig.2.21 [B.14.] Modul de deformare la precomprimarea inelară a peretelui.

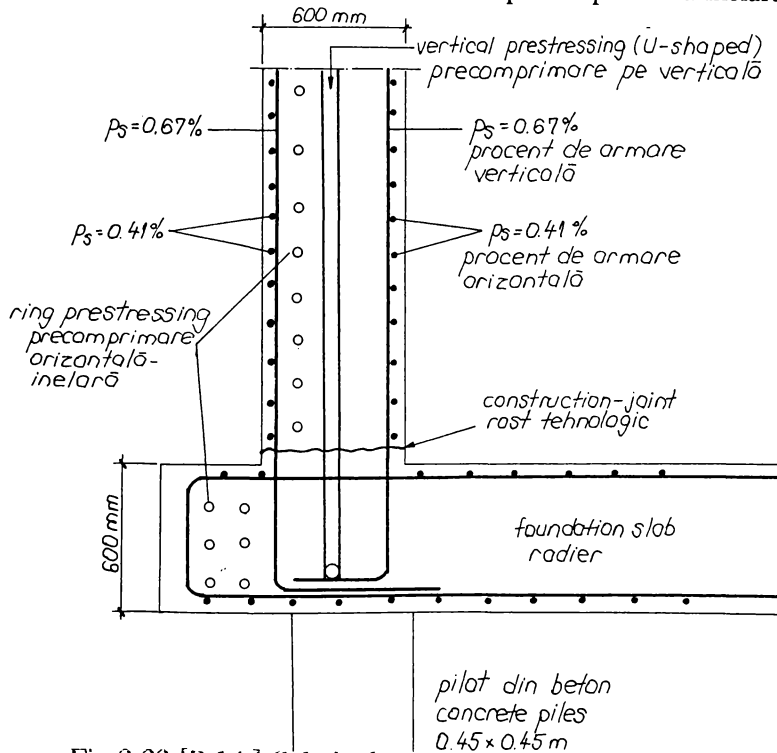


Fig.2.22.[B.14.] Soluția de armare a zonei îmbinării perete - radier.

2.48.

Aplicatii ale BPP s-au făcut si pentru alte structuri , dovedindu-se astfel marea diversitate de domenii ce pot fi acoperite de această relativ nouă solutie constructivă .Exemplificări în acest sens se pot face pentru o grindă cu inimă plină de sectiune " I" având înălțime de 1600 mm si deschidere de 30,4 m si pentru planseu ciupercă având între stâlpi deschidere de 7,2 m si grosimea plăcii de 220 mm rezemând prin intermediul capitelului de tip dală (800 x 800 mm) [B.14.].

Posibilitățile oferite de precomprimarea parțială , rezultate din aplicatiile de mai sus , sunt sintetizate sub următoarea formă:

-- o executie mai simplă datorită următoarelor motive :

*un profil simplu al cablurilor pe lungimea elementului precomprimat si reducerea numărului de cabluri față de BP,

*formă mai simplă a cofrajelor , putându -se renunta la bulbul unei grinzi,

* rezolvare mai simplă a zonei de rost (perete- radier) la rezervoarele cilindrice

*simplificarea armării la planseele ciupercă;

-- controlul deschiderii fisurilor în cazuri în care :

*încărcarea utilă poate fi foarte mare (tunel) ,

*structura este supusă la deformatii impuse (tăsări , variatii de temperatură) pe care le poate prelua mai usor decât BP;

-- controlul deformatiilor :

*datorită sporirii flexibilității ca urmare a fisurării fetei întinse , eforturile provocate de deformatiile impuse se diminuează în timp ce deschiderea fisurilor W rămâne în limite acceptabile,

*cresterea flexibilității conduce la reducerea rigidității față de BP si la reducerea eforturilor interioare provocate de deformatii impuse,

*crește rigiditatea în raport cu BA.

BPP este socotit de profesorul Bruggeling A.S. G.ca cea mai potrivită solutie constructivă pentru anumite conditii date. Concluzia se bazează pe o gândire tehnică , economică si practică conform căreia din cauza fie a încărcărilor foarte mari ,fie a deschiderilor foarte mari este necesară recurgerea la BP , dar rezolvarea sectiunilor implică folosirea armăturii nepretensionate A_s pentru preluarea eforturilor , din contractie sau temperatură ,în ambele directii si dacă tot există această armătură A_s , atunci să se conteze pe ea si ca armătură de rezistentă (transformând - o din pasivă în complementară).

În domeniul betonului precomprimat desi se formulează multe întrebări , specialistii de prestigiu afirmă că resursele acestei tehnici nu s-au epuizat si că vom asista la noi premiere si performante.

CAPITOLUL 3

BAZA CONCEPTUALĂ

Definirea sau recunoasterea unei soluții din beton precomprimat cu precompresiune parțială (BPP) în raport cu betonul precomprimat total (BP) sau cu betonul armat obisnuit (BA) a necesitat exprimarea cantitativă a aportului precomprimării prin anumite cifre care au primit denumire de "grad", "indice" sau "raport".

În capitolul 2 al tezei s-au dat exemple privind propunerile reprezentative de exprimare a gradului, indicelui sau raportului de precomprimare. Analiza acestor exemple arată că ele se grupează în două categorii după cum iau în considerație capacitatea de rezistență a armăturii pretensionate în starca limită ultimă față de capacitatea întregii armături din zona întinsă a secțiunii, respectiv momentul încovoietor dat de forța de precomprimare permanentă în raport cu momentul dat de încărcări de exploatare (serviciu) totale sau permanente (qvasipermanente).

Astfel, două concepte principale sunt relevante pentru caracterizarea comportării elementelor din beton precomprimat parțial sub acțiunea încărcărilor.

Primul concept este legat în principal de controlul fisurării și al deformațiilor (săgeților) sub încărcări de exploatare (serviciu) și în secundar de obținerea unei rupei ductile sub încărcări aplicate static.

În acest concept, comportarea sub încărcări este influențată semnificativ de gradul de precomprimare

$$K = \frac{M_{\text{decompr.}}}{M_{\text{max.}}^{\text{serv.}}} \quad 3.1$$

definit ca raport între momentul de decompresiune $M_{\text{decompr.}}$ a fibrei cele mai întinse, sub încărcări de serviciu a secțiunii (egal cu momentul forței de precomprimare \bar{M}_s^0 față de limita superioară a sâmburelui central și momentul încovoietor maxim produs de încărcările de serviciu

Gradul de precomprimare cu această definiție, sau o definiție apropiată sau îmbunătățită, a fost propus și utilizat de autorii:

Chaikes, S., [C.1.], 1969

Thurlimann, B., [T.4.], 1971

3.2.

Brondum - Nielsen, T., [B.23.], 1976
 Bachmann, H., [B.1.], 1980
 Naaman, A., E., Siriaksorn, A., [N.3.], 1979, 1982
 Leonhardt, F., [L.5.], 1980
 Dumitrescu, D., Popăescu, A., [D.2.], 1980
 Fip [F.2.], 1982
 Cohn, M., Z., Bartlett, M., [C.9.], 1982
 Walther, R. [W.1.], [W.2.], 1982
 Bachmann, H., [B.6.], 1983
 Popăescu, A., [P.4.], 1983

În funcție de valoarea relativă a gradului de precomprimare K față de $M_{\max}^{\text{serv.}}$ și $M_{\text{ld}}^{\text{serv.}}$, nivelele de precomprimare a secțiunii se prezintă așa cum în tabelul 3.1. este arătat:

Tabelul 3.1.

Grad precomprimare	$K = \frac{\bar{M}_s^0}{M_{\max}^{\text{serv.}}}$	$K = \frac{\bar{M}_s^0}{M_{\text{ld}}^{\text{serv.}}}$
Precomprimare totală	$\geq 1,0$	-
Precomprimare limitată	$< 1,0$	$\geq 1,0$
Precomprimare moderată	$\ll 1,0$	< 10
Precomprimare slabă	-	$\ll 1,0$

Nivelul de precomprimare exprimat prin gradele de precomprimare K , se corelează pe de o parte cu condițiile de mediu în care se utilizează elementele și pe de altă parte cu tipul de armătură pretensionată utilizată (sîrme și toroane trefilate, respectiv bare profilate) și procedeul de pretensionare - preîntindere sau post - întindere, inclusiv modul de asigurare a protecției armăturilor pretensionate.

3.3.

Elementele din beton precomprimat cu precomprimare totală si limitată se rezolvă după caz si în utilizarea unei armături nepretensionate constructive, denumită în continuare "pasivă" .

În precomprimarea moderată pot fi întâlnite soluții cu armătură pretensionată atât ca sîrme si toroane trefilate sau bare profilate si armătură nepretensionată "complementară" care are un aport efectiv atât în limitarea fisurării cât si la rupere [P.4.]. Aspecte privind soluții ale aplicării eficiente a armării mixte se prezintă în capitolul 6 al tezei .

Precomprimarea slabă în concepția profesorului F. Leonhardt [L.5.] se utilizează în construcții masive pentru reducerea eforturilor unitare de întindere (ex. : baraje).

Al doilea concept privind betonul precomprimat parțial privește în principal ductilitatea si disiparea energiei sub acțiunea încărcărilor de tip seismic, impact si alte încărcări dinamice la care interesează comportarea în domeniul postelastice.

Pentru elementele din beton precomprimat parțial, ductilitatea si disiparea energiei la solicitări ciclice alternante sunt caracterizate convențional de următorii indici (rapoarte):

- înălțimea relativă a zonei comprimate de beton în starea limită ultimă de rezistență $\xi = \frac{x}{h_0}$, cu mențiunea că datorită ciclurilor alternante în domeniul post

elastice în armătura pretensionată din zona comprimată (după caz) precomprimarea nu mai are o valoare semnificativă si poate fi neglijată [D.5.], [P.2.], [P.3.], considerându-se că o mai corectă caracterizare a comportării secțiunilor se poate face prin factorul ξ^* în a cărei expresie de calcul nu se ia în considerare efectul precomprimării prin $A_p \sigma_{pl}$

$$\xi^* = \frac{A_p \sigma_{pl} + A_a R_a - A_a R_c}{b R_c h_0} \quad 3.2.$$

- coeficientul mecanic al armării mixte din zona întinsă a secțiunii (după caz), armătura profilată nepretensionată complementară fiind indispensabilă:

$$\omega = \frac{A_p R_p}{b h_{op} R_c} + \frac{A_a R_a}{b h_{oa} R_c} \quad 3.3.$$

Prezența armăturii nepretensionate complementare este favorabilă pentru comportarea elementelor din BPP la solicitări ciclice alternate [D.5.], [0.1.], [P.4.].

3.4.

Armătura nepretensionată complementară din zona întinsă influențează în mod hotărâtor starea de fisurare prin aceea că provoacă îndesirea fisurilor și reducerea mărimii deschiderii acestora, iar cea din zona comprimată conduce la mărirea capacității acesteia. Absența armăturii nepretensionate complementare la elementele din BPP, conduce, chiar în cazul unei comportări relativ ductile (când $\xi^* < 0,10$), la o puternică deschidere a ravelor fisuri existente, în principal datorită pierderii aderenței armăturilor pe lungimi relativ mari ale acestora.

Pe lângă soluția de armare longitudinală, un oarecare rol în comportarea zonelor potențial plastice îl are și armătura transversală de confinare a betonului comprimat, contribuind la mărirea deformației ultime.

Grinzile din beton precomprimat parțial cu armare mixtă sunt considerate a avea o bună comportare la solicitări ciclice alternante. Această calitate poate fi anticipată prin asigurarea unor valori mici pentru cei doi indici despre care mai sus s-a scris (ξ^* , ω).

Fiecăruia din cele două concepte i se asociază în mod implicit caracteristici specifice legate de solicitări și de variația nivelului acestora pentru diferite zone sau secțiuni pe deschiderea elementului. Urmare a acestora, modul de alcătuire și cerințele de comportare pot diferi în cele două concepte de realizare a betonului precomprimat parțial după nivelul și caracterul solicitării și poziția secțiunilor solicitate la maximum.

CAPITOLUL 4

REGLEMENTĂRI DE CALCUL SI ALCĂTUIRE

Betonul precomprimat parțial (BPP) reprezintă cea mai recent adoptată soluție constructivă dintre acelea utilizate la betonul structural. Bunele calități etalate au făcut relativ repede ca BPP să reprezinte varianta potrivită de rezolvare pentru elemente structurale în condiții specifice precizate (referitoare la deschideri aplicabile, mod de încărcare și intensitatea încărcării, condiții de mediu și exploatare, etc.). Au fost permanente preocupările manifestate de către specialiști pentru elaborarea și perfecționarea normelor naționale și internaționale necesare calculului și alcătuirii elementelor din BPP. Parcurgând capitolul 2, cititorul va sesiza și existența unei idei care urmărește apariția și dezvoltarea principalelor norme despre care s-a făcut referire mai sus.

În prezentul capitol se vor face precizări și unele comentarii asupra unor prevederi ale normelor naționale și internaționale vizând elementele din BPP. Trimiteri, aprecieri și chiar prevederi ale acestora se găsesc în prezenta lucrare în capitolele 2, 5 și 6. Se insistă asupra aspectelor constituind obiective ale programului experimental și anume: fisurare, deformații, capacitate portantă, alcătuire și durabilitate.

4.2.

4.1. Prevederi pentru materiale durabile și alcatuire.

Specifică betonului precomprimat parțial este utilizarea materialelor de calitate superioară. Normele românești STAS 10107/0-90 [S.1.] precizează că clasa minimă de beton ce se admite a fi utilizată la elementele din BPP cu armătură trefilată este Bc30. Normele internaționale EUROCOD nr.2 [E.2.] prevăd pentru elemente cu armătură posttensionată utilizarea unui beton de clasă minimă C25/30, iar pentru elementele cu armătură preantinsă un beton de cel puțin C30 /37 (vezi tabelul 2.4.). Diagramele de calcul efort unitar - deformare specifică pentru beton și oțel (pretensionat și nepretensionat), recomandate de normele [S.1.] și [E.2.] sunt prezentate în paragraful 2.5. (figurile 2.5. până la 2.10.).

În ceea ce privește forma secțiunii transversale, ea va fi adaptată la tipul elementului (bară, de suprafață). Optimizarea proiectării elementelor din beton precomprimat solicitate la încovoiere a condus la recomandarea unor forme svelte, cele mai utilizate fiind secțiunile I, T, Π, care satisfac următoarele deziderate:

- arie mare în zona comprimată în exploatare (serviciu),
- arie mică (minimă) în zona de înglobare a armăturilor longitudinale de rezistență, permițând totodată îngroșarea, realizându-se bulbul (din condiții impuse de alcatuire),
- consum mic de beton pentru realizarea unui cât mai mare brat al cuplului interior (între rezultatele compresiunilor în beton și întinderilor în armătura longitudinală),
- este posibilă îngroșarea în zonele de capăt unde armătura transversală este alcătuită în concordanță cu rolul deosebit pe care îl are.

Formele chesonate sunt recomandabile pentru lucrările ingineresti (de artă) deoarece pe lângă problemele mai sus prezentate rezolvă în mare parte și pe cea funcțională.

Forma dreptunghiulară sau inelară este potrivită elementelor din beton precomprimat solicitate la compresiune excentrică cu mare excentricitate.

Problema formei a mai fost comentată în paragraful 2.6., iar exemplificări se vor mai face în capitolul 6.

În forma sa de redactare din anul 1992, Eurocod nr.2 [E.2.] formulează la nivel de "principiu" (afirmații și definiții generale pentru care nu există alternativă sau cerințe și modele analitice de calcul pentru care nu se permite alternativă decât dacă se menționează special) cerința de durabilitate care pentru procesul de proiectare (calcul) va fi asigurată corelând efectele și importanța posibilă a acțiunilor cu cerințele pentru acoperirea cu beton a armăturii și cu cerințele generale pentru materiale și execuție. Sunt specificați și alți factori considerați în calcul și alcatuire care trebuie să cuprindă: adoptarea formei structurale, dimensiunea, forma și detaliile de alcatuire a elementelor și structurii. Soluțiile vor fi astfel adoptate încât să minimalizeze absorbția apei sau expunerea la umiditate.

De remarcat frecvența mare cu care cerința de durabilitate revine în normele internaționale [E.2.], fapt care denotă o nouă orientare datorită deosebitei importanțe pe care în proiectare, aceasta trebuie să o aibă.

Criteriile de calcul conform [E.2.] obligă prin intermediul principiilor la asigurarea unui beton durabil și la protecția la coroziune a armăturii prin respectarea cerințelor

4.3.

conținute în următoarele clauze: condiții de efort unitar, fisurare, deformație, cerințe generale de durabilitate, acoperirea cu beton, prevederi constructive pentru armătură, protecția oțelului pretensionat la toate acțiunile agresive.

Pentru clasele de expunere 1-4, secțiunile precomprimate trebuie verificate la fisurare.

Prevederi ale normelor [E.2.] asupra durabilității și alcătuirii elementelor din BPP sunt prezentate în detaliu în paragrafele 2.5. (paginile 2.31.-2.33.) și 2.6. (paginile 2.34.-2.35.), unde în paralel sunt arătate și câteva recomandări conținute în normele americane [A.5.].

Autorul a prezentat reglementări de calcul și alcătuire și în capitolul 2 deoarece au putut fi încadrate în contextul mai larg al prezentării generale și au putut fi asociate comentariilor și interpretărilor unor specialiști din domeniul BPP.

În ceea ce privește aranjarea armăturilor pretensionate, normele [E.2.] enunță principiul separării astfel încât distanțele dintre armături preîntinse sau canale să permită ca turnarea sau compactarea betonului să se efectueze satisfăcător și să se obțină o bună aderență între beton și armătură.

Pentru armătura pretensionată prin preîntindere se prezintă în figura 4.1. distanțele minime pe orizontală și verticală.

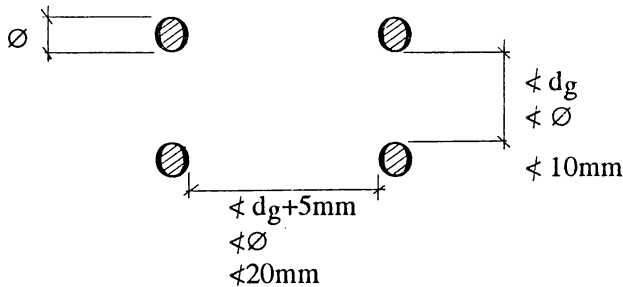


Figura 4.1. [E.2.] Distante minime între armături preîntinse

Pentru armătura pretensionată prin postîntindere, distanța minimă între canalele individuale trebuie să fie:

pe orizontală: \varnothing dar nu mai mic ca 40 mm,

pe verticală: \varnothing dar nu mai mic ca 50 mm,

unde \varnothing indică diametrul canalului.

Standardul românesc STAS 10107/0-90 [S.1.] precizează că la proiectarea elementelor din beton precomprimat, pentru asigurarea durabilității lor, trebuie să se țină seama de regimul de expunere la intemperii și la umiditate, de gradul de agresivitate a mediului și de condițiile specifice de exploatare. În funcție de acești factori, proiectantul va stabili soluția optimă privind: calitatea betonului, modul de alcătuire a elementelor și eventualele măsuri de protecție suplimentară a acestora. Prevederi ale normelor [S.1.] privind alcătuirea elementelor din BPP sunt prezentate în paragraful 2.5. (pagina 2.29.) și în paragraful 2.6. (pagina 2.35.).

4.4.

Sunt precizate procentele minime de armare pentru armătura nepretensionată (0,05-0,20%), diametrul minim al acesteia (8 mm) și distanța minimă între bare (15d). Amplasarea celor două tipuri de armătură, pretensionată și respectiv nepretensionată complementară, în secțiunile transversale ale elementelor din BPP solicitate la încovoiere se va face la nivele diferite, cea mai apropiată de fibra întinsă în exploatare fiind cea de-a doua.

Prevederile specifice alcătuirii elementelor cu armătură preîntinsă vizează durabilitatea, amplasarea barelor în secțiune, deflecția acestora. În tabelul 4.1. sunt prezentate valorile grosimii minime a stratului de acoperire cu beton a armăturilor preîntinse din elementele amplasate în medii fără agresivitate [S.1.].

Tabelul 4.1.

Tipul elementului	Tip armătură preîntinsă	Grosimea minimă a acoperirii cu beton [mm]
Plăci cu grosime ≤ 100 mm	SBP și SBPA	15
Celelalte elemente		20
Plăci cu grosime ≤ 100 mm	TBP	20
Celelalte elemente		25
Plăci cu grosime ≤ 100 mm	PC	$\geq d$; ≥ 15
Celelalte elemente		$\geq d$; ≥ 20

Aceste grosimi minime indicate vor fi majorate :

- cu 5mm la elemente neprotejate supuse intemperiiilor,
- la 50 mm pentru elementele în contact cu pământul .

Pentru elementele lucrând în medii agresive diametrul minim al armăturii pretensionate utilizate va fi de:

- 4 mm în cazul sârmelor independente ,
- 3mm în cazul sârmelor în toroane .

Transferul se recomandă a se executa lent pentru elemente solicitate la oboseală s-au prin tăierea succesivă a armăturilor într-o ordine astfel stabilită încât să nu fie depășite eforturile unitare admise (la transfer brus).
 În figura 4.2. se prezintă distanțele minime dintre armăturile plasate în zona inferioară față de direcția de betonare.

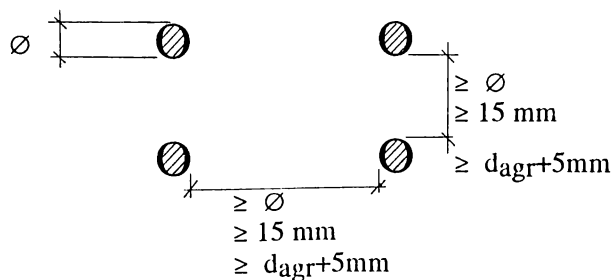


Fig.4.2.[S.1.]Distanțe minime între armături preîntinse.

4.5.

Unghiul de deviere la deflectarea armăturilor nu va depăși :25° pentru SBP si TBP ,15° pentru PC cu diametrul ≤ 20 mm,10 ° pentru PC cu diametrul >20mm.

Prezentarea se oprește la acest nivel deoarece acestea au fost prevederile de alcătuire interesante pentru grinzile din programul experimental propriu prezentat în capitolul 5. Termenul de “durabilitate” este frecvent utilizat în normele internaționale [E.2.] unde prin intermediul condițiilor de utilizare (prezentate în această lucrare în paragrafele 2.5,2.6, 4.1.,5.1.) este asociat criteriilor de verificare, calcul și proiectare (prezentate în lucrare pentru BPP în paragrafele 2.5.,5.1. și capitolul 4.). Studiul acestor norme, [E.2.], a indus autorului impresia că întregul calcul și alcătuire a elementelor din beton structural, urmărește prioritar asigurarea durabilității. În literatura de specialitate se întâlnesc termeni asociați celui de “durabilitate” cum sunt: “ bună”, “corespunzătoare”, “comparabilă”, “necesară”, niciunul nefiind consacrat prin norme, iar utilizarea lor făcându-se funcție de context.

Prezentul capitol a tratat mai întâi probleme de alcătuire deoarece s-a avut în vedere specificul proiectării elementelor din beton precomprimat.

4.6.

4.2.Recomandări privind unele probleme de calcul al elementelor din BPP.

Pentru betonul precomprimat partial cu precomprimare moderată (BPP cu PM) și armare mixtă,mai mult tratat și recomandat în prezenta lucrare decât cel cu precomprimare limitată (BPP cu PL) ,specifică este prezenta armăturii nepretensionate complementare notată cu A_a sau A_s .Aceasta are un rol favorabil asupra fisurării ,deformațiilor ,ductilității elementelor din BPP solicitate la încovoiere,dar se opune precomprimării prin prezența ei.Normele țin seama de acest fapt și prevăd reducerea efortului de precomprimare datorită influenței armăturii nepretensionate complementare în modul în care este prezentat în conformitate cu [S.1.] și[E.2.] în paragraful 2.5.(pagina 2.26. și 2.27.). În normele internaționale precizări pentru BPP sunt făcute în anexa A.1.2.[E.2.].

STAS 10107./0-90 limitează efortul unitar de control și efortul unitar în faza finală la valorile:

$$\sigma_{pk} \leq R_p \text{ și respectiv } 0,5 R_p \leq \bar{\sigma}_p \leq 0,85 R_p \quad 4.1.;4.2.$$

Aceste conditii sunt valabile la armături pentru care $R_{pk} = R_{rk}$.

Efortul unitar în faza finală se determină ținând seama de efectul încărcărilor de exploatare prin inetrmediul cresterii efortului unitar în armătura pretensionată $\Delta \sigma_p$ față de $\bar{\sigma}_{po}$ sub actiunea solicitărilor exterioare :

$$\bar{\sigma}_p = \bar{\sigma}_{po} + \Delta \sigma_p \quad 4.3.$$

σ_{po} este efortul în armătura pretensionată în faza finală după consumarea pierderilor reologice.

Standardul [S.1.]limitează creșterea efortului unitar în A_p prin conditia :

$$\Delta \sigma_p \leq \Delta \sigma_{\bar{\varphi}} + (\Delta \sigma_r - \Delta \sigma_{ri}) \quad 4.4.$$

Respectarea conditiei 4.4. asigură că sub actiunea încărcărilor de exploatare nu se ating deformatii remanente în armătura pretensionată,ceea ce ar provoca reducerea precomprimării Faptul că $\Delta \sigma_p$ nu trebuie să fie depășit din contractie și curgere lentă este argumentat prin demonstrație în [D.5.], [P.4.].

Variatia efortului unitar $\Delta \sigma_a$ din armătura nepretensionată, datorită contracției și curgerii lente se determină cu relațiile precizate în anexa H[S.1.], dar se țin seama de această armătură doar dacă aria sectiunii ei depășește $0,25 A_p$.

Deoarece în prezenta lucrare pe lângă referirile care se fac la normele românești și la normele europene, se fac referiri și la normele americane ,în continuare se va face, pe scurt,un comentariu asupra filozofiei proiectării în SUA.Conceptul de proiectare la stări limită (SL) este foarte bine stabilit în practica americană și el include:

- starea limită ultimă(ULS) privește proiectarea la rezistența ultimă corespunzător la capacitatea portantă maximă la diferite încărcări,
- starea limită de serviciu corespunzătoare la criteriile ce guvernează utilizarea normală(fisurare ,oboseală ,deformatie,etc).

4.7.

Proiectarea la rezistențele admisibile (WSD), folosită la betonul precomprimat este o proiectare la SL bazată pe limitarea tensiunilor (eforturilor). Obiectivul proiectării la SL este acela de a asigura că există o probabilitate acceptabilă pentru ca structura să nu atingă nici o stare limită. Pe această bază factorii de încărcare curenți și factorii de reducere a rezistențelor din codul ACI au fost stabiliți. Deși orice stare limită poate controla proiectarea, două procedee principale pot fi identificate în SUA pentru proiectarea elementelor încovoiate din beton structural. Primul se bazează pe proiectarea la rezistența ultimă, iar al doilea pe proiectarea la tensiuni (eforturi) în serviciu (WSD). Proiectarea grinzilor din beton precomprimat se bazează cel mai mult pe WSD (working stress design) în timp ce starea limită de rezistență trebuie să fie satisfăcută. Proiectarea grinzilor din BA se bazează cel mai mult pe calculul la rezistența ultimă în timp ce proiectarea la tensiuni de serviciu (WSD) este o alternativă acceptabilă. Proiectarea grinzilor din BPP se situează între cele două. Precomprimarea parțială nu este foarte larg utilizată în SUA și proiectarea ei este mai slab specificată în codul ACI. Totuși codul implică faptul că orice structură din beton trebuie să satisfacă cerințele de rezistență și să realizeze o performanță acceptabilă, deci capacitate de utilizare (serviciu). De aceea se pare că acest concept al proiectării la SL este în mod special potrivit pentru BPP [N.1]. Aceasta presupune un proces de proiectare care începe cu calculul la rezistența ultimă și este urmat de verificări pentru diferite criterii de serviciu (incluzând verificarea compresiunilor admisibile). Ca și pentru BA nu este necesar să se considere tensiuni de întindere limită (nu este necesar să se verifice tensiuni de întindere) [N.1].

4.8.

4.2.1.Recomandări privind fisurarea .

Din motivele precizate în prezenta lucrare (în capitolele trecute și în cele ce urmează),starea limită de fisurare este de maximă importanță pentru elementele din BPP pentru care este chiar principal criteriu de clasificare .

În paragraful 5.1. (paginile 5.3.-5.7.) sunt prezentate recomandările cu caracter general privind fisurarea cuprinse în normele internaționale CEB - FIP [C.10.],[C.11],[C.12.],Eurocod nr.2 [E.2.] și în normele românești STAS 10107/0-90[S.1.],iar la punctul 5.3.5.1. se fac referiri la reglementări de calcul din[S.1.].În cele ce urmează se vor face prezentări ale unor prevederi de calcul întâlnite în norme .

Euorcod nr.2.[E.2.] recomandă următoarea relație de calcul pentru evaluarea ariei minime de armare cerute pentru asigurarea controlului la fisurare într-un element care poate fi supus la eforturi unitare de întindere datorită împiedicării deformațiilor impuse:

$$A_s = k_c k f_{ct,ef} A_{ct}/\sigma_s \quad 4.5.$$

unde : A_s este aria armăturii în zona întinsă,

A_{ct} este aria de beton din zona întinsă (până la apariția primei fisuri),

σ_s este efortul maxim admis în armătură imediat după apariția primei fisuri (poate fi 100% din limita de curgere a armăturii, f_{yk})

k_c este coeficient ce ține seama de natura distribuției efortului în secțiune imediat înainte de apariția fisurilor($k_c=0,4$ pentru încovoiere , $k_c=1$ pentru întindere pură),

k este coeficient ce ia în considerare efectul neuniformităților autotensiunilor ($0,5 \leq k \leq 1$),

$f_{ct,ef}$ este rezistența la întindere a betonului la timpul apariției fisurilor(se poate lua 3 N/mm^2)

Armătura minimă pentru controlul fisurilor nu este necesară în zonele unde betonul rămâne comprimat sub gruparea rară de acțiuni și valoarea caracteristică estimată a pretensionării .

Armăturile pretensionate pot fi luate în considerare ca armătură minimă în interiorul unui pătrat cu latura de 300 mm ce înconjoară armătura cu condiția luării în considerare a comportării diferite la aderență a armăturii pretensionate și nepretensionate (se poate considera eficiență 50% pentru A_p).

Aceleași norme [E.2.]permit controlul fisurării fără un calcul direct în următoarele condiții :

- la plăci precomprimate de grosime până la 200 mm solicitate la încovoiere și pentru care s-au respectat prescripțiile pentru plăci pline turnate în situ,

- dacă este asigurată cel puțin armarea minimă dată cu relația 4.5. și se limitează distanțele între bare și /sau a diametrelor barelor conform valorilor precizate în tabelele 4.2. și 4.3.(se asigură deschidere a fisurii până la 0,2 mm).

4.9.

Pentru secțiunile din beton precomprimat eforturile unitare în armătură trebuie calculate considerând pretensionarea ca o forță exterioară fără a ține seama de creșterea efortului în armătură datorită încărcării exterioare.

Tabelul 4.2.

Efort unitar în armătură [MPa]	Dimensiunea maximă a barei [mm]	
	Secțiuni din BA	Secțiuni din BP și BPP
160	32	25
200	25	16
240	20	12
280	16	8
320	12	6
360	10	5
400	8	4
450	6	-

Tabelul 4.3.

Efort unitar în armătură [MPa]	Distanța maximă între bare [mm]		
	Încovoire pură	Întindere pură	BP, BPP (încovoiere)
160	300	200	200
200	250	150	150
240	200	125	100
280	150	75	50
320	100	-	-
360	50	-	-

La grinzile mai înalte de 1 m unde armătura principală este concentrată pe o mică înălțime se va prevedea armătură de piele pentru controlul fisurării pe fețele laterale ale grinzii. Aria acestei armături nu va fi mai mică decât cea rezultată din relația 4.5., se va distribui între nivelul armăturii întinse și axa neutră și se va amplasa în interiorul etrierilor. Normele românești prevăd dispunerea armăturii de piele [S.1.], argumentarea fiind făcută de profesorul A. Popăescu în [P.4.]

Prin calcul conform [E.2.] deschiderea fisurii se determină cu relația :

$$W_k = \beta \cdot s_{rm} \cdot \varepsilon_{sm} \quad 4.6.$$

unde : s_{rm} este distanța medie finală între fisuri,

ε_{sm} este deformația medie sub gruparea relevantă ținând seama de aderență , contracție , etc.

β este un coeficient care face legătura dintre deschiderea medie a fisurii și valoarea ei de calcul ($\beta = 1,7$ pentru secțiuni cu dimensiunea cea mai mică de peste 800 mm și $\beta = 1,3$ pentru secțiuni având cea mai mică dimensiune de cel mult 300 mm).

4.10.

ϵ_{sm} se poate calcula cu relația:

$$\epsilon_{sm} = \frac{\sigma_s}{E_s} \left[1 - \beta_1 \beta_2 \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 \right] \quad 4.7.$$

unde : σ_s este efortul în armătura întinsă calculat pe baza unei secțiuni fisurate,

σ_{sr} este efortul în armătura întinsă calculat pe baza unei secțiuni fisurate în condițiile încărcării care cauzează apariția primei fisuri,

β_1 este coeficient ce ține seama de proprietățile de aderență ale barelor ($\beta_1=1,0$ pentru bare de înaltă aderență și $\beta_1=0,5$ pentru bare netede),

β_2 este coeficient ce ține seama de durata încărcării sau de încărcarea repetată ($\beta_2=1,0$ pentru o singură încărcare de scurtă durată și $\beta_2=0,5$ pentru o încărcare de lungă durată sau pentru mai multe cicluri de încărcări repetate).

Distanța medie finală dintre fisuri pentru elemente supuse în principal la încovoiere sau întindere poate fi calculată cu relația :

$$s_{fm} = 50 + 0,25k_1k_2\varnothing / \rho_r \quad 4.8.$$

unde: \varnothing este diametrul barei în mm ,iar pentru cazul când sunt în aceeași secțiune mai multe dimensiuni de bare se va utiliza o dimensiune medie,

k_1 este coeficient care ia în considerare proprietățile de aderență ale barelor ($k_1=0,8$ pentru bare de înaltă aderență și $k_1=1,6$ pentru bare netede),

k_2 este coeficient care ia în considerare forma distribuției deformației ($k_2=0,5$ pentru încovoiere și $k_2=1,0$ pentru întindere pură)

ρ_r este coeficientul efectiv de armare , $A_s/A_{c,ef}$ unde A_s este aria armăturii

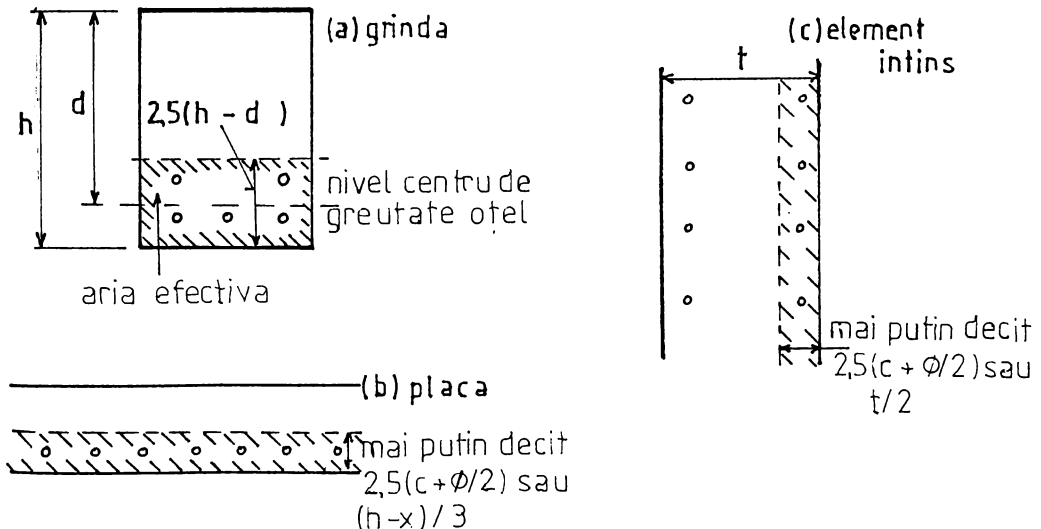


Figura 4.3.[E.2.]Aria întinsă efectivă .

4.11.

conținute în aria zonei întinse efective $A_{c,ef}$. Aria întinsă efectivă este în general aria betonului ce înconjoară armătura întinsă, cu înălțimea egală cu 2,5 ori distanța de la fața întinsă la centrul de greutate a secțiunii armăturii, figura 4.3.

Pentru plăci sau elemente precomprimate unde înălțimea zonei întinse poate fi mică, înălțimea ariei întinse efective nu va fi luată mai mare decât $(h-x)/3$. Valoarea rezultată pentru s_{m} va fi în mm..

Armăturile pot fi luate în considerare în calculul distanțelor dintre fisuri într-o arie pătrată cu latura de 300 mm ce înconjoară armătura cu condiția ca să se țină seama de proprietățile de aderență ale armăturilor. Valorile corespunzătoare pentru k_1 pentru armăturile folosite trebuie obținute din încercări, dar în absența altor informații poate fi luată valoarea 2,0.

Dacă sunt folosite mai multe tipuri de armături pretensionate și sunt prezente și armături nepretensionate (elemente din BPP), produsul $k_1 \varnothing$ din relația 4.8. poate fi înlocuit cu $\sum k_1 \varnothing / n$, unde $\sum k_1 \varnothing$ este suma diametrelor tuturor barelor nepretensionate și armăturilor pretensionate din aria considerată, fiecare multiplicat cu coeficientul său corespunzător de aderență iar n este numărul total de bare nepretensionate și armături pretensionate.

Dacă fisurile formează un unghi semnificativ ($> 15^\circ$) cu direcția armăturii în elemente armate pe două direcții ortogonale, distanțele dintre fisuri pot fi calculate cu relația:

$$s_{rm} = \frac{1}{\frac{\cos \theta}{s_{rmx}} + \frac{\sin \theta}{s_{rmy}}} \quad 4.9.$$

unde θ este unghiul dintre armătura pe direcția x și direcția efortului de întindere principal,

s_{rmx}, s_{rmy} sunt distanțele calculate în direcția x și respectiv y utilizând relația 4.8.

Relația 4.6. permite calculul deschiderilor de calcul ale fisurilor din zona apropiată armăturii aderente, adică în aria întinsă efectivă.

Valorile obținute cu 4.6. sunt valori maxime ale deschiderii fisurilor spre deosebire de recomandările normelor românești [S.1.] care conduc la valori medii ale deschiderii fisurilor. Reglementările din [E.2.] prezentate prin relațiile 4.6., 4.7., 4.8. au la bază recomandările CEB FIP [C.12.]. În lucrarea [L.10.] la care se face referire în paragraful 5.2. se arată că valorile obținute cu aceste relații de calcul pentru w_k sunt în bună concordanță cu valorile experimentale.

Prevederile normelor românești STAS10107 /0-90 [S.1.] privind stările limită la care se efectuează calculul la fisurare a elementelor din BPP și clasele de condiții de verificare la fisurare sunt prezentate în paragraful 5.1. Reglementările de calcul conform [S.1.] vor fi prezentate în cele ce urmează mai jos și la punctul 5.3.5.1., dar nu se va insista cu multe detalii considerându-se cunoscute de către cititorul avizat.

Verificarea închiderii fisurilor normale se face punând condiția ca eforturile unitare în secțiuni normale să fie numai de compresiune și egale cel puțin cu valorile

4.12.

maxime admise. Elementele solicitate la încovoiere sau întindere / compresiune excentrică se verifică cu relația:

$$\sigma_b = \frac{\overline{M}_{(s)}^o - M_{(s)}^E}{w_i} \geq \sigma_b^{\text{lim}} \quad 4.10.$$

Semnificația termenilor este prezentată în lucrare la paragraful 2.3. relația 2.19 și explicațiile însoțitoare. Valoarea σ_b^{lim} se ia 0,1 din efortul maxim de compresiune la transfer sub acțiunea precomprimării dar cel mult 1 N/mm².

Verificarea la deschiderea fisurilor normale conform [S.1.] se face prin limitarea deschiderii medii determinată cu relația 5.3., în care $\Delta\sigma_p$ se calculează în secțiunea fisurată iar $\psi = 0,8$ (pentru armătura preîntinsă).

Pentru elemente din BPP cu PL având armături pretensionate de tip SBP, SBPA sau TBP și etrieri distanțați la a_c (uzual) se poate considera $\lambda_f = a_c$

Pentru elemente din BPP cu PM având armătura preîntinsă de tip PC 90 se calculează λ_f și ψ utilizând relațiile de la betonul armat date în [S.1.] înlocuind σ_{sc} cu $\Delta\sigma_p$.

Mărimea deschiderii medii a fisurilor determinată cu relația 5.3. [S.1.] va trebui să îndeplinească condițiile de verificare precizate în același normativ (punctul 5.5.3.1.- tabelul 19) și prezentate în paragraful 5.1. al prezentei lucrări. Tot aici se prevede că aceste verificări se pot efectua numai prin limitarea lui $\Delta\sigma_p$ la valorile 100 N/mm² sau 30 N/mm² (pentru limitarea deschiderii și respectiv închiderea fisurilor normale).

Verificarea la starea limită de deschidere a fisurilor înclinate se efectuează cu relația 5.4. aplicabilă clasei II de verificare la fisurare [S.1.]. Eforturile unitare principale în beton se determină cu relația:

$$\sigma_{b_{12}} = \frac{\sigma_b}{2} \mp \sqrt{\left(\frac{\sigma_b}{2}\right)^2 + \tau_b^2} \quad 4.11.$$

Prevederile referitoare la verificarea deschiderii fisurilor normale prin limitarea lui $\Delta\sigma_p$ și la verificarea deschiderii fisurilor înclinate sunt citate după [S.1.], demonstrația și argumentarea fiind făcute în [P.4.].

Verificarea la apariția fisurilor longitudinale paralele cu direcția compresiunilor maxime în beton la transfer se face prin limitarea eforturilor unitare de compresiune în beton la valorile date în tabelul 4.4.

Tabelul 4.4.

Clasa de beton	Bc25	Bc30	Bc35	Bc40	Bc50	Bc60
Valori limită ale eforturilor unitare de compresiune la transfer. [N/mm ²]	14	16,5	19	21	25	29

4.13.

Efortul unitar principal de compresiune în beton sub solicitările datorită încărcărilor de exploatare trebuie să rămână mai mic decât rezistențele de calcul la compresiune.

Normele americane ACI Code (1971,1977,1983) [A.5.]și ACI Committee224 [A.8.]recomandă pentru calculul valorii deschiderii maxime a fisurilor la elemente din BPP următoarea relație:

$$w_{\max} = 7,6 \times 10^{-5} \beta f_s \sqrt[3]{d_c A_b} \quad 4.12.$$

Relatia de calcul 4.12.este dată pentru unitățile de măsură [in,ksi],iar pentru SI [mm,N/mm²],ea se va multiplica cu 0,1451 . Termenii din relatie au următoarea semnificație:

f_s este variația (creșterea) efortului unitar în oțel ,

d_c este acoperirea cu beton plus 0,5 din diametrul armăturilor primului rând,

A_b este aria de beton solicitat la întindere pentru o bară ,

β este raportul distanțelor dintre fața întinsă și respectiv centrul de greutate al armăturilor și axa neutră.

Normele [A.5.]recomandă multiplicarea valorii obținute cu relația 4.12.cu factorul 1,5 pentru cazul când toroanele se află în apropierea fibrei întinse.

4.14.

4.2.2.Recomandări privind deformațiile .

Recomandări cu caracter general cuprinse în normele internaționale și naționale referitoare la deformații sunt prezentate în paragraful 5.1. (paginile 5.8- 5.11.),iar unele reglementări de calcul vor fi precizate în cele ce urmează.

Normele Eurocod nr.2.[E.2.]acceptă două condiții limită pentru deformația secțiunilor din beton :

condiția de nefisurare când armătura și betonul acționează elastic atât la întindere cât și la compresiune ,

condiția de fisurare completă când influența betonului întins este ignorată .

Elementele supuse în principal la încovoiere la care este posibilă fisurarea se vor comporta într-o manieră intermediară și o valoare adecvată a comportării este dată de relația:

$$\alpha = \zeta \alpha_{II} + (1 - \zeta) \alpha_I \quad 4.13.$$

unde : α este parametrul considerat (ex:deformație ,curbură,rotație),

, α_I, α_{II} sunt valorile parametrului calculat pentru condiția de nefisurare respectiv de fisurare completă,

ζ este coeficient de distribuție care poate fi calculat cu relația:

$$\zeta = 1 - \beta_1 \beta_2 (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2 \quad 4.14.$$

unde semnificațiile termenilor sunt aceleași cu ai relației 4.7.($\zeta = 0$ pentru secțiuni fisurate).

Pentru calculul deformațiilor sub încărcare se vor folosi dintre caracteristicile materialelor ,rezistența la întindere și modulul efectiv de elasticitate al betonului(f_{ctm} - rezistența betonului la întindere ,de calcul ,egală cu $0,30 f_{ck}^{2/3}$ și respectiv $E_{c,ef}$ calculabil cu relația 4.15.).

$$E_{c,ef} = E_{cm} / (1 + \emptyset) \quad 4.15.$$

unde : \emptyset este coeficientul de curgere lentă ,

E_{cm} este modulul de elasticitate secant

În [E.2.]se apreciază că cea mai riguroasă metodă de evaluare a săgeților utilizând metoda dată mai sus este calculul curburilor în numeroase secțiuni de-a lungul elementului și apoi calculul săgeții prin integrare numerică ,dar în mod normal efortul depus este nejustificat ,motiv pentru care se acceptă calculul săgeții în ipotezele de nefisurare respectiv fisurare completă și apoi utilizarea relației 4.13.

Așa după cum s-a mai arătat , normele [E.2.]admit că nu este , în general , necesar calculul explicit al săgeților deoarece controlul deformațiilor se poate face prin respectarea unor reguli simple despre care s-a scris în prezenta lucrare în capitolele 2 și 5.

În ceea ce privește prevederile normelor românești STAS 10107/0-90[S.1.]asupra

4.15.

deformațiilor ,s-a făcut prezentarea aspectelor generale în paragraful 5.1. și au fost făcute referiri asupra metodelor de calcul la punctul 5.3.5.2.

Problema importantă rămâne aceea a determinării modului de rigiditate (EI),care pentru elemente din BPP cu PM armate cu SBP ,SBPA sau TBP combinate cu PC60 sau PC52 se calculează după [S.1.]cu relațiile :

–pentru cazul când $M < \bar{M}_{(s)}^0$:

- sub încărcări temporare de scurtă durată:

$$\text{în faza inițială: } (EI)_s = 0,85 E_b I_b \quad 4.16.$$

$$\text{în faza finală: } (EI)_s = 0,85 E_b I_b \quad 4.17.$$

- sub încărcări permanente și temporare de lungă durată:

$$(EI)_d = 0,85 \frac{E_b I_b}{1 + \frac{\varphi}{2}} \quad 4.18$$

–sub acțiunea $M^E - \bar{M}_{(s)}^0$:

$$(EI)_{II} = \beta E_a A_{ar} h_{ot}^2 \quad 4.19.$$

unde :

$$A_{ar} = A_p \cdot \frac{E_p}{E_a} + A_a \quad 4.20.$$

$$\beta = \frac{\zeta(1-\xi)}{\psi} \quad 4.21.$$

h_{ot} este înălțimea utilă a secțiunii corespunzătoare notată cu \hat{A}_{at} , iar $\psi=0,8$ pentru armătură pretensionată preântinsă.

Valorile deformațiilor elementelor din BPP sub solicitări date de încărcările de exploatare se vor limita la valori admise precizate în [S.1.] în funcție de tipul elementului structural și utilizarea lui. Aceste valori admise sunt mai severe decât cele prevăzute de normele [E.2.].

O analiză detaliată a stării de deformație a elementelor din BPP este cuprinsă în capitolul 5 (paragraful 5.1. și punctul 5.3.5.2.).

Pentru evaluarea rigidității (EI) recomandări americane date în manualul de proiectare PCI (PCI Committee on Allowable Stresses) dau următoarea relație de calcul a momentului de inerție a secțiunii fisurate:

4.16.

$$I_{cr} = nA_{ps}d^2(1 - \sqrt{\rho_p}) \quad 4.22.$$

unde :n este raportul modulelor de elasticitate a oțelului și betonului E_s / E_c ,

A_{ps} este aria armăturii pretensionate din zona solicitată la întindere (în exploatare),

d este distanța de la fibra cea mai comprimată de beton la centrul de greutate al armăturii întinse ,

ρ_p este coeficientul de armare dat de armătura pretensionată A_{ps} / bd

Considerându-se ca fiind de restrânsă aplicabilitate (doar pentru secțiuni fisurate) ,normele americane ACI recomandă în locul lui I_{cr} utilizarea unui moment de inerție efectiv I_e situat ca valoare între primul și momentul de inerție al întregii secțiuni de beton I_g

$$I_e = I_{cr} + \left(\frac{f_r}{f_{tm}} \right)^3 (I_g - I_{cr}) \leq I_g \quad 4.23.$$

unde : f_r este rezistența la întindere a betonului ,

f_{tm} este efortul de întindere“aparent ”provocat între nivelul de solicitare cu forța totală de precomprimare a betonului P_{ce} și momentul încovoietor cu care se face calculul M_a .

Momentul de inerție efectiv I_e se consideră constant pe toată lungimea grinzii.

În privința deformațiilor de durată , ACI Committee 435 [A.7.]recomandă în vederea cuantificării influenței armăturii nepretensionate ,utilizarea următorului raport:

$$1 / (1 + A_s / A_{ps}) \quad 4.24.$$

unde : A_s este aria armăturii nepretensionate.

CAPITOL 5

PROGRAM EXPERIMENTAL

5.1. Aprecieri generale cu referire la obiectivele programului experimental

Aplicarea rațională și eficientă a precomprimării parțiale utilizând armarea mixtă a fost întotdeauna precedată de analiza aprofundată pe elemente concrete, finalizată prin studii experimentale. La o parte a acestora s-a făcut referire sau trimitere pe parcursul capitolului 2 al prezentei lucrări. La o altă parte se vor face referiri în cuprinsul capitolului 6 și chiar cu insistență asupra unor detalii care au făcut recomandabile ori aplicabile, în condiții tehnico-economice avantajoase, studiile de soluții pentru betonul precomprimat parțial (BPP).

Analiza programelor experimentale desfășurate în timp, pune în evidență evoluția cronologică, funcție de interesul predominant al etapei, diferitele obiective urmărite:

- definirea BPP și gasirea locului sau în largul spectru al betonului structural,
- fundamentarea teoretică și practică a unor recomandări de calcul și alcatuire,
- comportarea sub sarcini de exploatare (serviciu),
- comportarea în timp,
- influențe ale diferiților factori,
- verificarea și perfecționarea prescripțiilor elaborate,
- evidențierea oportunității utilizării în anumite condiții,
- interpretarea calitativă comparativă a rezultatelor studiilor prin prisma diferitelor norme.

Programele experimentale care vor fi prezentate nu au vizat obiective caracteristice primei perioade de studiu al BPP, **criteriul pe baza căruia autorul le-a selectat fiind acela al apropierii de obiective ale propriului program experimental**. În esență, aspectele vizate prin propriul program experimental sunt fisurarea, deformațiile, cedarea, durabilitatea și economicitatea elementelor din BPP cu precomprimarea moderată și armarea mixtă solicitate la încovoiere. Pentru acest tip de solicitare, secțiunile pot fi tratate ca unele din beton armat supuse încovoierii (produse de încărcările exterioare) și compresiunii excentrice (produse de forța axială din precomprimare). În figura 5.1.[D.4.] sunt reprezentate diagrame de eforturi unitare și deformații specifice în faza inițială când secțiunile normale sunt solicitate doar la încovoierea dată de greutatea proprie și la eforturi axiale date de forța de precomprimare.

Diagramele a,b și uneori c sunt caracteristice precomprimării totale, iar d și e corespund precomprimării limitate și moderate. La valori mici ale intensității încărcării permanente și sub efectul curgerii lente, diagramele d și e pot suferi modificări de felul:

fisurare respectiv mărirea deschiderii fisurilor, luând forma f. În figura 5.2. sunt reprezentate diagrame de eforturi unitare și deformații specifice în secțiuni transversale în faza finală, când încovoierea este dată de încărcările de exploatare (serviciu) totale sau de lungă durată, iar compresiunea este dată de forța de precomprimare rămasă după

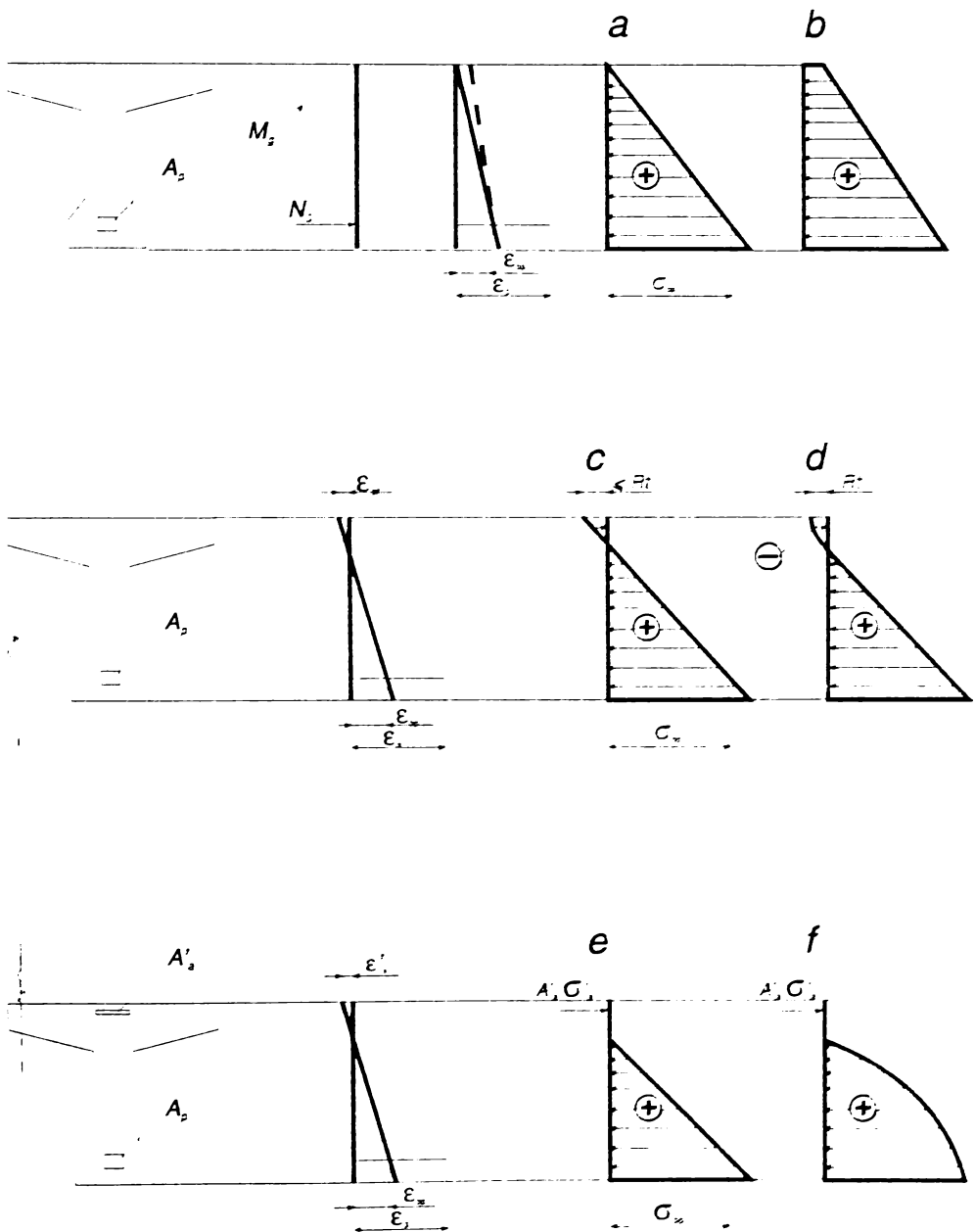


Figura 5.1. [P.4.] Diagrame de eforturi unitare și deformații specifice în secțiuni transversale în faza inițială.

5.3.

producerea pierderilor de tensiune [D.4.]. Diagramele g și h corespund precomprimării totale (BP) sub încărcări totale de exploatare (M^L). Diagramele i și j sunt caracteristice precomprimării limitate (PL) la acțiunea încărcărilor totale de exploatare (după fisurare, i nu mai este reală). Sub încărcări de exploatare de lungă durată (M_{ld}^L) fisurile trebuie să se închidă (diagramele g și h cu linie punctată).

Pentru precomprimare moderată (PM) cu armarea mixtă starea de eforturi și deformații în secțiuni normale este cea din figura 5.2. k. Chiar dacă gradul de precomprimare este cel mai mic, armătura nepretensionată face ca $\Delta\sigma_p$ și α_f să fie de același ordin de mărime ca în cazul precomprimării limitate (PL).

Diagramele n și p caracterizează precomprimarea moderată realizată cu armătura pretensionată din bare laminate cu profil periodic.

La starea limită ultimă, comportarea elementelor din beton precomprimat este asemănătoare betonului armat (BA). Explicația constă în faptul că precomprimarea nu este efectul unei forțe exterioare, ci al unei forțe interioare rezultată dintr-o “deformație impusă” [D.4.].

Stările mai sus prezentate sunt caracteristice unor anume grade de precomprimare și sunt influențate de o serie de factori prezentați și analizați în capitolul 2. Mai puține referiri s-au făcut asupra aspectelor legate de fisurare și deformații cu intenția declarată acolo, de a se reveni cu detalii în prezentul capitol. Motivul este că aceste două aspecte au constituit parte importantă a obiectivelor urmărite în propriul program experimental. Considerații asupra stării limită ultime, a durabilității și economicității se vor face predominant cu referire la programul experimental și mai puțin la aspectul general și teoretic, analizate consistent în capitolele anterioare.

Procesul de fisurare, urmărit de la apariția fisurilor și până la închiderea și redeschiderea lor, sub aspect calitativ și/sau cantitativ, este prezent în studiile vizând BPP și constituie decisiv termen de comparație între acesta și BP. Cauzele apariției și a variației deschiderii fisurilor nu țin numai de caracteristicile acțiunilor, ci în mare parte și de condițiile de mediu, de condițiile de alcătuire, de deformațiile în timp ale materialelor, de modificarea condițiilor de rezemare.

Normele internaționale CEB-FIP și EC2 [C.10.], [C.11.], [C.12.], [E.2.] precizează că fisurile sunt inevitabile în betonul structural solicitat la încovoiere, tăiere, torsiune sau întindere, dar mărimea deschiderii lor trebuie limitată pentru asigurarea condițiilor normale de utilizare. Existența fisurilor, distanța dintre acestea și mărimea deschiderii lor sunt parametrii care influențează funcționalitatea, durabilitatea și aspectul elementelor și structurilor din beton.

Recomandările CEB-FIP [C.10.] apreciază procesul fisurării prin următoarele trei stări limită (SL):

- SL de decomprimare când eforturile unitare de compresiune în fibra extremă se anulează;
- SL de formare a fisurilor când efortul unitar de întindere în fibra extremă este cel mult egal cu rezistența la întindere a betonului;
- SL de deschidere a fisurilor când deschiderile calculate se limitează la valori prescrise.

5.4.

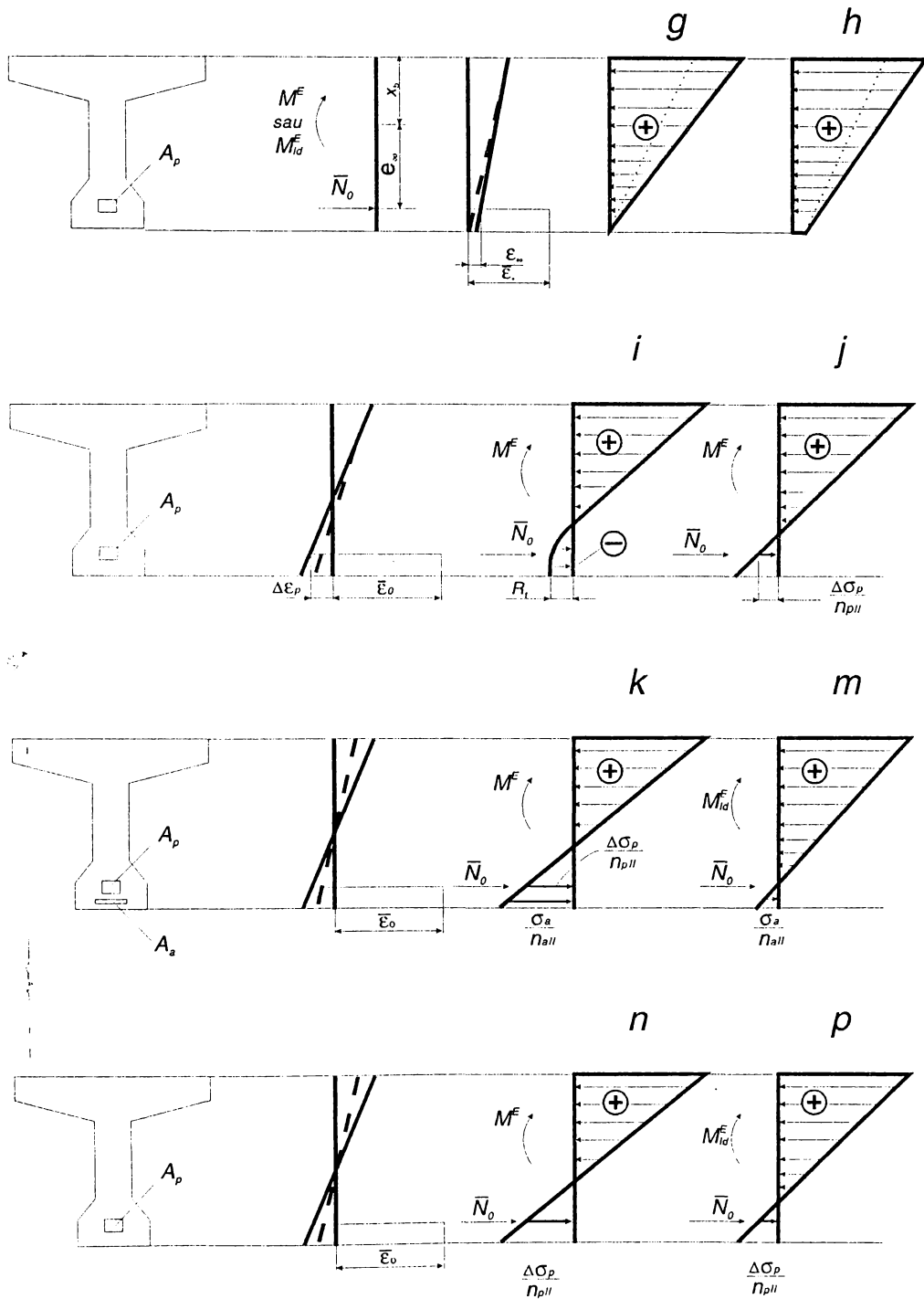


Figura 5.2. [P.4.] Diagrame de eforturi unitare și deformații specifice în secțiuni transversale în faza finală.

5.5.

Limitarea deschiderii fisurilor se poate asigura printr-una din următoarele două modalități:

- (i) asigurarea unei alcătuirii constructive conform unor prescripții existente,
- (ii) asigurarea unui corespunzător grad de precomprimare și armare mixtă cu scopul controlului procesului de fisurare prin armătura nepretensionată.

Eurocad nr. 2 [E.2.] precizează că fisurarea trebuie limitată în consens cu clientul, ținând seama de funcționalitatea și natura structurii și de costuri. În aceste norme aprecierile privind limitarea fisurării se fac în funcție de soluția structurală adoptată și de clasa de expunere, tab. 2.5. Pentru clasele de expunere 2÷4 sunt considerate în general satisfăcătoare limitele din tabelul 5.1.

Tabelul 5.1.

Clasă de mediu	Deschiderea de calcul a fisurii, w_k , sub combinația frecventă de încărcări [mm]	
	Postîntindere	Preîntindere
1.	0,2	0,2
2.	0,2	decompresiune
3.	decompresiune sau	
4.	peliculizarea armăturii și $w_k = 0,2$	

w_k reprezintă deschiderea maximă a fisurii spre deosebire de normele noastre care se referă la deschiderea medie α_f . Limita de decompresiune din tabelul 5.1. cere ca sub gruparea frecventă a încărcărilor toate porțiunile armaturilor sau canalelor să se afle cel puțin la 25 mm distanță de limita betonului comprimat. Pentru clasa 5 de expunere pot fi necesare măsuri speciale de limitare a fisurilor funcție de natura substanțelor chimice implicate.

Limitarea fisurilor la deschideri acceptabile se obține prin asigurarea unei cantități minime de armătură aderentă care să preîntâmpine curgerea armaturii la atingerea încărcării de fisurare și prin măsuri constructive de alcătuire (distanțe între bare și diametrele lor, paragraf 2.6.). Armaturile pretensionate pot fi luate în considerare ca armătură minimă în interiorul unui patrat cu latura de 300 mm cu condiția aprecierii diferențiate a comportării la aderență în raport cu armătura nepretensionată.

Într-o corespunzătoare aproximare se poate considera o eficiență de 50 % pentru A_p .

Normele românești [S.1.], [P.10.] de calcul, prevăd următoarele trei stări limita de verificare la fisurare :

- închiderea fisurilor normale și înclinate sub solicitările de exploatare (corespondentul primei stări limita din [C.10.]);
- deschiderea fisurilor normale și înclinate sub solicitările de exploatare;
- apariția fisurilor longitudinale paralele cu direcția compresiunilor maxime în beton, la transfer.

5.6.

În funcție de gradul de asigurare considerat necesar față de efectele defavorabile ale fisurării, standardul [S.1.] prevede trei clase de verificare la fisurare.

Clasa I cuprinde elementele cu armătură pretensionată de orice tip la care se impun condiții de impermeabilitate sau care sunt situate în medii cu agresivitate medie și la care sunt necesare măsuri suplimentare de protecție. Pentru această clasă sunt prevăzute cele mai severe condiții de verificare și anume :

- închiderea fisurilor normale și înclinate sub sarcinile totale de exploatare;
- limitarea deschiderii fisurilor înclinate când precomprimarea transversală nu s-a aplicat;
- limitarea eforturilor unitare de întindere în beton la valoarea R_t pentru zonele fără armătură pretensionată;
- limitarea deschiderii fisurilor la 0.1 mm sau a eforturilor unitare în beton la valoarea R_t pentru elementele plane precomprimate după o direcție, atunci când se face verificarea după cealaltă direcție.

Clasa II cuprinde elemente din BPP având următoarele grade de precomprimare și rezolvări a alcatuirii :

(i) elemente din BPP cu PL ($1.0 \geq K > M_{ld}^E / M^E$) armătura pretensionată fiind de tip SBP, SBPA, TBP și armătură nepretensionată constructivă (fără rol de rezistență) situate în medii fără agresivitate sau cu agresivitate foarte slabă sau slabă la care se aplică prevederi constructive și protecții suplimentare.

(ii) elemente din BPP cu PM ($M_{ld}^E / M^E \geq K \geq M_{perm}^E / M^E$) cu armătura pretensionată de tip SBP, SBPA, TBP și armătură nepretensionată complementară de tip PC52 sau PC60 situate în medii fără agresivitate sau cu agresivitate foarte slabă sau slabă la care se aplică prevederi constructive și protecții suplimentare.

Condițiile de verificare pentru clasa II sunt mai puțin severe decât pentru clasa I și sunt următoarele :

- limitarea deschiderii fisurilor normale la 0.1 mm pentru elementele cu PL la acțiunea încărcărilor de exploatare totale; se permite verificarea acestei condiții prin limitarea variației efortului unitar în armătura pretensionată la 1000 N/mm^2 ($\Delta\sigma_p \leq 1000 \text{ N/mm}^2$); în zone fără A_p se vor respecta condițiile de la BA și $\alpha_f \leq 0.2$ mm; pentru elementele bidimensionale precomprimate doar după o direcție, pe cealaltă direcție limitarea fisurilor este 0.1 mm sau se limitează efortul în beton prin $\sigma_t \leq R_{tk}$;
- la elementele cu PM sub încărcări de exploatare de lungă durată se verifică :
 - închiderea fisurilor normale și înclinate,
 - limitarea deschiderii fisurilor normale la 0.03 mm, permițându-se efectuarea verificării și numai prin condiția $\Delta\sigma_p \leq 30 \text{ N/mm}^2$ și prin respectarea condițiilor constructive de alcatuire; pentru elementele bidimensionale se procedează ca în cazul PL.

Clasa III cuprinde elemente din BPP cu PM ($M_{ld}^E / M^E \geq K \geq M_{perm}^E / M^E$) realizate cu armături pretensionate de tip PC90, utilizate în medii fără agresivitate sau în medii

5.7.

cu agresivitate foarte slabă sau slabă la care se aplică protecții suplimentare.

Condițiile de verificare pentru clasa III sunt cele mai permissive, constând din :

- limitarea deschiderii fisurilor normale sub încărcări de exploatare totale la valorile:
 - 0.15 mm în medii cu agresivitate slabă
 - 0.20 mm în medii cu agresivitate foarte slabă sau în medii fără agresivitate;
- limitarea fisurilor înclinate sub încărcări de exploatare totale;
- limitarea fisurilor normale în zonele fără A_p la valorile specifice BA;
- limitarea fisurilor normale la 0.2 mm pentru direcția neprecomprimată a elementelor bidimensionale precomprimată după o direcție.

Cu toate că nu este prevăzută în norme [S.1.] verificarea la starea limită de formare a fisurilor, prezintă interes, pentru verificarea la starea limită de deschidere a fisurilor, cunoașterea ariei întinse de beton a secțiunii în momentul apariției fisurilor. În lucrarea [0.1.] se apreciază că pentru studiul comportării de ansamblu a BPP la fisurare, este utilă cunoașterea momentului încovoietor de fisurare M_f , a capacității betonului de a se alungi înainte de fisurare ϵ_{lu} și a rezistenței aparente a betonului la întindere R_t .

Fisurarea, prin întregul complex proces, se recomandă a fi cea mai căutată, studiată și interpretată stare a BPP. Insistența manifestată de specialiști are totală justificare deoarece :

- starea de fisurare este unul din termenii de comparație dintre BPP și celelalte soluții constructive de realizare a betonului structural (BA și BP) , astfel încât sugerează unele asemănări ale BPP cu BA, respectiv constituie principala deosebire dintre BPP și BP;
- fisurarea determină o modificare bruscă în comportarea elementelor din BPP, lucru expresiv ilustrat printr-o diagramă efort-săgeată; comportarea elastică până la fisurare și neelastică după (ex.: inițierea și dezvoltarea deformațiilor permanente);
- fisurarea influențează în mod hotărâtor durabilitatea elementelor din BPP caracterizată printr-o alcătuire cu beton și oțel cu sensibilitate sporită la coroziune;
- fisurarea este socotită atât de importantă încât a constituit criteriu unic de clasificare a elementelor realizate din beton și oțel în “nefisurate” și “fisurate” [C.10.], [A.5.];
- fisurarea influențează capacitatea portantă a unui element încovoiat prin reducerea înălțimii zonei comprimate datorită împingerii axei neutre spre fibra cea mai comprimată ca urmare a propagării fisurii (creșterea înălțimii h_f);
- existența fisurilor reduce importanța betonului situat sub axa neutră , atribuindu-i, după unii specialiști, unicul rol important de asigurare a brațului de pârghie al cuplului interior dat de rezultantele eforturilor unitare de compresiune în beton și întindere în oțel.

Un alt obiectiv al programului experimental a fost starea de deformație a elementelor din BPP. Așa după cum s-a arătat, în capitolul 2 s-au făcut referiri la acest aspect, urmând ca ceea ce va fi în continuare expus, să completeze prezentarea.

Forma principală a diagramei reprezentând relația efort-deformație pentru elementele din beton precomprimat parțial (BPP), este prezentată în figura 5.3. Zona A-B corespunde anulării contrasăgeții, iar A-C corespunde efortului produs de încărcarea

moartă. Comportarea elastică a elementului se manifestă pe porțiunea (segment de dreaptă) A-D. Punctul D pe diagramă, corespunde apariției microfisurilor,

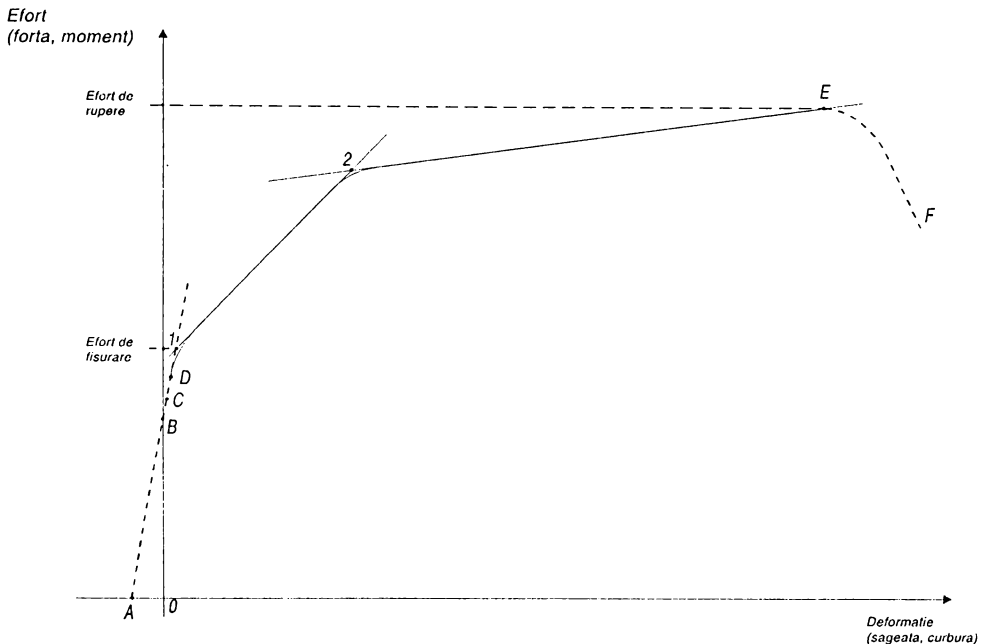


Figura 5.3. Forma principală a diagramei efort-deformație pentru BPP.

practic invizibile cu ochiul liber. Punctul 1 de intersecție al prelungirilor segmentelor diagramei înainte, respectiv după fisurare, indică apariția fisurilor vizibile, moment după care comportarea elementului suferă o remarcabilă modificare, diagrama își modifică sensibil panta și indică accentuarea creșterii deformațiilor. Acest fenomen atrage după sine o creștere a deschiderii fisurilor. Punctul 1 nu este situat pe diagramă, ca în această zonă este curbă, făcând racordul între segmentele precedând, respectiv urmând fisurării.

Punctul 2 corespunde începutului producerii deformațiilor permanente. Existența acestor deformații face ca la descărcare fisurile să nu se închidă complet.

Se apreciază că această situație se produce la valori ale sarcinii de încărcare reprezentând 80 ÷ 90 % din sarcina de rupere. Așa după cum s-a arătat în capitolul 2, unii specialiști apreciază că din cauza prezenței armaturii nepretensionate, chiar în cazul unui nivel de solicitare inferior celui precizat mai sus, fisurile nu se mai închid complet, prezentând o foarte mică deschidere la descărcare.

Comportarea elementelor din BPP, după atingerea punctului notat cu 2 pe diagramă, este asemănătoare cu cea a elementelor din BA, deformațiile cresc cu o viteză mai mare (panta tangentei la curbă este mai mică). Această situație, (la creșteri relativ mici ale efortului se produc deformații consistente), conduce elementul din BPP spre rupere,

5.9.

punctul E. Acest palier lipsește în diagramele trasate pentru elemente supraarmate, la care ruperea are caracter fragil, producându-se începând cu zdrobirea betonului.

Diagrama având forma din figura 5.3. caracterizează elemente cu procente de armare mici și mijlocii; la care ruperea se produce începând cu armătura.

Palierul E-F corespunde situației când deformațiile elementului cresc chiar dacă intensitatea efortului scade.

Comportarea la deformații a BPP depinde de o serie de factori care trebuie cunoscuți, pentru ca prin intermediul lor să se poată controla deformațiile.

Motivul pentru care fenomenul producerii și dezvoltării deformațiilor trebuie stăpânit se leagă de funcționalitate, aspect, deteriorări provocate altor elemente. Verificarea la starea limită de deformație a elementelor din BPP constă din următoarele:

(i) calculul săgeților sub solicitări de exploatare și comparația cu valorile maxime admise;

(ii) calculul simplificat raportând înălțimea secțiunii la deschiderea elementului.

Prima verificare se aplică elementelor pentru care deformațiile au deosebită importanță, iar cea de-a doua se aplică elementelor pentru care deformațiile au o importanță secundară. Similar fisurării se vor face în ceea ce urmează aprecieri generale prin prisma unor norme cu referire la deformații. Având în vedere multitudinea factorilor care influențează nivelul deformațiilor, prescripțiile internaționale CEB-FIP [C.10.] acceptă că valorile calculate ale deformațiilor pot diferi de cele reale. Diferențele apar cu siguranță în situațiile când valorile momentului încovoietor ce solicită secțiunea și a momentului de fisurare sunt apropiate. În figura 5.4. sunt reproduse diagramele prezentând variația posibilă a săgeții față de valoarea medie a ei.

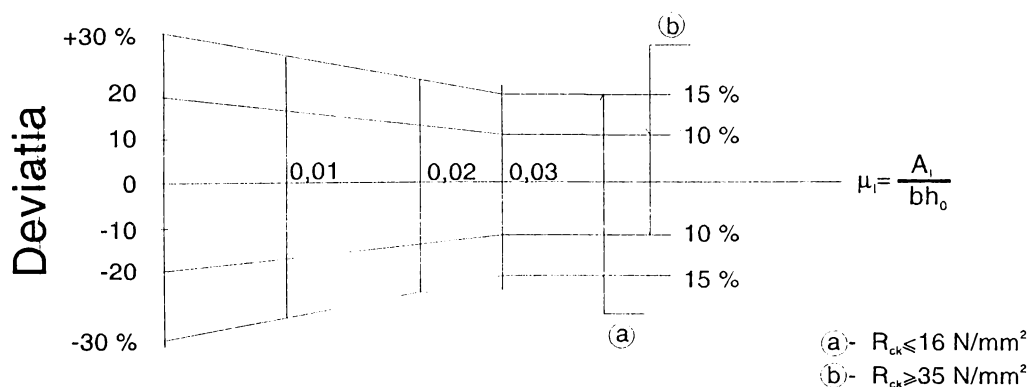


Figura 5.4. [C.10.] Diagrame cu deviația posibilă a săgeților față de valorile medii.

Curbele sunt prezentate în sistemul plan de axe, având în ordonată deviația în procente, funcție de valorile din abscisă ale coeficienților de armare longitudinală pentru două categorii de calitate a betonului. Mărimea deviației este funcție de o serie de parametrii

5.10.

de mare varietate : materiale, mediu, încărcări, reazeme.

După [C.10.], prezentate în [0.1.], principalele metode de limitare a deformațiilor sunt următoarele :

- sporirea înălțimii secțiunii transversale a elementului,
- utilizarea betoanelor de calitate superioară, și aplicarea încărcărilor doar după ce acesta a dobândit o corespunzătoare rezistență,
- reducerea zonelor fisurate prin precomprimare,
- reducerea eforturilor unitare de întindere prin sporirea armăturii longitudinale întinse,
- armarea zonei comprimate în situații cu eforturi mari din încărcările de lungă durată,
- utilizarea sistemelor constructive hiperstatice.

Eurocodul nr. 2 [E.2.] precizează că valorile limită potrivite pentru săgeți se vor stabili împreună cu clientul, având în vedere natura structurii, a finisajelor, pereți despărțitori, dar și funcția structurii. Este apreciat că aspectul și utilitatea generală a structurii pot fi afectate când săgeata calculată depășește $L/250$. Limitarea trebuie să fie mai severă în situațiile în care deformația ar fi defavorabilă, afectând elemente nestructurale provocându-le deteriorarea. Pentru asemenea situații limita maximă a săgeții este $L/500$.

Normativul [E.2.] acceptă verificarea și prin utilizarea unor reguli simple, ca de exemplu limite ale raportului deschidere/înălțime, nefiind necesar calculul explicit al săgeților.

Acolo însă, unde calculul este considerat necesar, deformațiile vor fi calculate în condiții de încărcare corespunzătoare scopului verificării, iar metoda de calcul adoptată va reprezenta comportarea reală a structurii.

Asemănător cu [C.10.], aceste norme [E.2.] apreciază că deformarea elementelor din beton precomprimat este influențată de un număr mare de factori, niciunul nefiind cunoscut cu precizie, iar rezultatul calculat nu va fi considerat ca o valoare precisă a săgeții așteptate. Din acest motiv, utilizarea metodelor excesiv de sofisticate se evită.

Stasul 10107/0-90 [S.1.], fără a face aprecieri generale asupra stării limită de deformație, trece direct la precizarea modului de determinare a modului de rigiditate al elementelor din beton precomprimat, aspect asupra căruia se va reveni. Deformațiile elementelor din beton precomprimat, sub solicitările date de încărcările de exploatare în faza inițială și în faza finală se limitează la valori indicate, cuprinse între $L/250$ și $L/700$ funcție de tipul de element (planșee, grinzi de rulare) și caracteristicile de utilizare ale acestuia. Limitarea amintită mai sus este aceeași și pentru elementele din BA.

Una dintre cele mai semnificative reprezentări grafice a evoluției deformațiilor cu implicarea influenței asupra acestora a unor multipli parametrii, este cea din figura 5.5. Parametrii regăsiți în cele două reprezentări sunt : timpul, gradul de precomprimare, tipul solicitării, fisurarea, soluția constructivă de precomprimare. În prima reprezentare este arătată evoluția în timp a contrasăgeții grinzilor supuse unei singure acțiuni : precomprimarea. Contrasăgeata se reduce în timp numai pentru grade de precomprimare relativ mici $K < 0.7$, transferul sau post-tensionarea făcându-se la vârsta betonului de cel puțin 14 zile. În a doua reprezentare este arătată evoluția săgeților sub încărcări de lungă durată, aplicate la vârsta de 28 zile, care provoacă o fină fisurare

5.11.

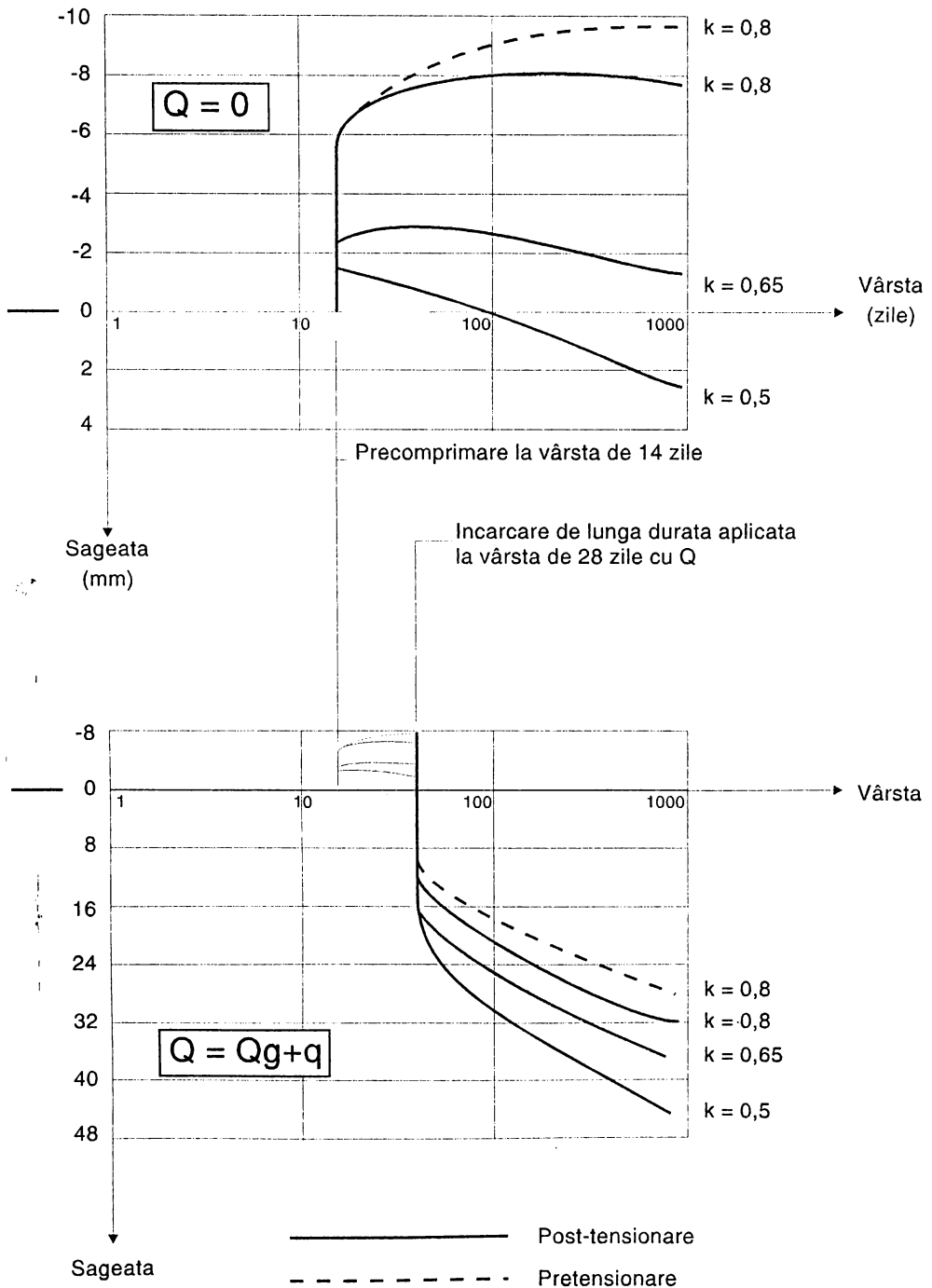


Figura 5.5. [C.7.] Evoluția în timp a săgeții la mijlocul deschiderii.

5.12.

chiar de la început. Gradul de precomprimare de $0,65 \div 0,70$ asigură cele mai mici deschideri de fisuri și este necesar unei limitări la 0,1 mm. Săgețile cresc, în timp, cu valori mai mari pentru grade de precomprimare mai mici.

Starea limită ultimă a fost deasemenea urmărită în programul experimental. Ruperea are un rol important în concepția elementelor din BPP cu PM și armare mixtă deoarece bună, este socotită varianta care conduce la concomitentă epuizare a capacităților portante a celor două tipuri de armături (pretensionată A_p respectiv nepretensionată A_u , A_s). Ruperea (sau cedarea sau colapsul) se produce la elementele din BPP în mod asemănător cu cea a elementelor din BA prezentând două posibile variante funcție de procentul total de armare. Pentru cazul utilizării unui procent obișnuit de armare (mijlociu sau mai mic), ruperea este inițiată prin armatura creându-se o articulație plastică propriu-zisă. Un număr mic de fisuri normale se deschid vizibil, iar săgeata crește exagerat producând fenomenul de preaviz. Pentru cazul utilizării unui procent mare de armare (supraarmare), ruperea este inițiată prin beton. Prin strivirea betonului comprimat ruperea are un caracter casant și se produce fără preaviz. Acesta este cazul nefavorabil.

Aprecierile făcute mai sus, se refera la grinzi din BPP solicitate la încovoiere și completează pe acelea făcute în capitolul 2.

Asupra stărilor limită de fisurare, de deformație și ultimă se va reveni cu aspecte ale calculului, pe parcursul prezentării programului experimental propriu.

Durabilitatea elementelor din beton precomprimat parțial impune cerințe din faza de proiectare, continuând cu execuția și terminând cu asigurarea condițiilor de utilizare și urmărire în timp a comportării în exploatare. Asupra acestor probleme s-a insistat în paragraful 2.5. Un studiu experimental având durabilitatea ca obiectiv, presupune un sporit grad de dificultate cauzată de extinderea duratei de desfășurare și de necesitatea existenței unor solide cunoștințe din domeniul materialelor de construcții și chiar a chimiei și a fizicii.

Chiar de la începutul tratării durabilității ca problema distinctă, constituind criteriu important în concepția, execuția și exploatarea betonului structural, s-a făcut asocierea ei cu starea de fisurare a elementelor.

Normele CEB-FIB stabileau [C.10.] exigențele relative la durabilitatea elementelor din beton precomprimat funcție de următorii parametri : condiții de mediu, combinații de încărcări, sensibilitatea la coroziune a armăturilor și deschiderea maximă a fisurilor, tabelul 5.2.

Din punctul de vedere al betonului se manifesta totală încredere cu condiția asigurării compactității corespunzătoare (omogenitate, continuitate). Cele două tehnici de realizare a BPP (pre și post-întindere), diferențiază chestiunea durabilității armăturilor pretensionate în betonul fisurat. În cazul preîntinderii, betonul de acoperire este unica protecție a armăturilor, dar pentru acesta și celelalte roluri, cum sunt aderența și ancorarea, sunt la fel de importante. În cazul postîntinderii, betonul de acoperire are un rol mai mic deoarece armătura pretensionată este amplasată în teaca imediat umplută,

Tabelul 5.2.

Grupa de exigență	Condiții de mediu	Combi-nații de acțiuni	Sensibilitatea la coroziune a ară-măturii			
			foarte sensibilă		puțin sensibilă	
			starea limită	$w_k(*)$	starea limită	$w_k(*)$
a	nesevere	frecvente	deschiderea fisurilor	$\leq w_2$	deschiderea fisurilor	$\leq w_3$
		cvasipermanente	decompresiune sau deschiderea fisurilor	$\leq w_1$		
b	severitate moderată	frecvente	deschiderea fisurilor	$\leq w_1$	deschiderea fisurilor	$\leq w_2$
		cvasipermanente	decompresiune			
c	severe	rare	deschiderea sau apariția fisurilor	$\leq w_1$	deschiderea fisurilor	$\leq w_2$
		frecvente	decompresiune			sau

(*) Valori convenționale calculate cu o metodă indicată. Limitele indicate în tabel sunt :
 $w_1=0.1$ mm; $w_2=0.2$ mm; $w_3=0.4$ mm

prin injectare cu pastă de ciment, după tensionare. Dar în ultima perioadă, protecția armăturilor pretensionate s-a reușit a fi complet separată de fisurare prin adoptarea soluției cablurilor exterioare în cazul unor noi construcții de poduri [C.9.]. Pentru soluțiile structurale clasice, din punctul de vedere al fisurării, căile de urmat cu scopul asigurării protecției armăturilor înglobate sunt :

- prevenirea riscului de fisurare sub încărări permanente,
- limitarea fisurării în combinațiile rare de încărări și măsuri restrictive la combinațiile frecvente de încărări.

Cu toate că există conservatorism în unele norme naționale în privința celei de-a doua măsuri, se remarcă o schimbare de optică asupra coroziunii. Cauzele sunt diverse și țin în egală măsură de semnalarea unor exemple de durabilitate nesatisfăcătoare și de rezultatele noilor studii întreprinse, îndeosebi experimentale.

5.2. Studii experimentale efectuate în țară și în străinătate .

Prezentul subcapitol nu va epuiza totalitatea experimentărilor prezentate în această lucrare, deoarece capitolul 6 va cuprinde analize, aprecieri și rezultate ale unor încercări experimentale necesare fie verificării unor studii teoretice, fie înlăturării unor deficiențe apărute în timpul sau succesiunea execuției, fie încercării în practică a unor soluții noi înlocuitoare a altora.

În literatura studiată, autorul a întâlnit prezentare de studii experimentale răspunzând practic tuturor obiectivelor posibil interesante domeniului betonului precomprimat parțial (stările limită, tipuri de acțiuni și tipuri de solicitări produse de acestea, optimizare, economicitate, alcătuire, ductilitate, durabilitate, soluții constructive, scheme statice și rezemare). Mai multă atenție s-a acordat acelor încercări experimentale care au vizat obiective asemănătoare celor din propriul program experimental. Din motive ce țineau de orientarea industriei construcțiilor și a investițiilor din acea perioadă, de orientarea și coordonarea cercetării, de resursele economico-financiare existente, de dotarea cu aparatură-utilaje-bibliografie, programul experimental propriu s-a derulat pe grinzi din BPP simplu rezemate, simplu armate, solicitate la încovoiere.

Aspectele urmărite se referă la comportarea sub sarcini și-n special fisurarea, deformațiile, cedarea. Economicitatea și durabilitatea constituie alte două subiecte abordate în studiu. Având posibilitatea unei priviri de ansamblu pentru un mare volum de literatură studiată, autorul apreciază că nu trebuie acceptat criteriul economicității ca fiind cel dominant într-o alegere de soluție constructivă din cele oferite de betonul structural. În capitolul 6 se vor prezenta situații în care BPP se recomandă a fi cea mai potrivită soluție constructivă pentru anume condiții, independent de criteriul economicității.

Durabilitatea privită în studiile experimentale consultate, se regăsește cercetată pe două căi, una a condițiilor de mediu create în mod artificial în laborator și alta a condițiilor naturale de mediu. Cea de-a doua necesită perioadă mai lungă de timp pentru urmărire și observații.

În țară, studii experimentale s-au efectuat de îndată ce BPP s-a prezentat ca o soluție alternativă concurentă a BP sau BA. La București, Cluj, Iași și Timișoara, în laboratoarele institutelor de cercetare (INCERC, ICCPDC) și ale facultăților de construcții, s-au derulat programe experimentale care au contribuit substanțial la promovarea betonului precomprimat parțial. România face parte din grupul primelor țări care au introdus în normele naționale prevederi de calcul și alcătuire pentru această relativ nouă soluție constructivă pentru betonul structural.

O bună parte a studiilor experimentale efectuate au contribuit nu numai la elaborarea, verificarea sau perfecționare normelor ci au avut o imediată aplicare prin definitivarea proiectului de detalii de execuție (DE) în varianta încercată și introducerea în producție.

Grinda transversală de 24 m deschidere pentru hale industriale era proiectată în varianta de precomprimare limitată (PL) - proiect IPCT nr. 5029. Elementul a fost

reproiectat [P.9.] în varianta precomprimării parțiale cu precomprimare moderată (PM) cu armare mixtă. Soluția de armare conform figurii 5.6. prevede ca armătura longitudinală pretensionată 26 toroane TBP12 și nepretensionată complementară 6 bare PC60, $\varnothing 10$. Din cele 6 bare amplasate pe un singur rând sub armătura pretensionată (A_p), la 3 cm distanță de fibra inferioară de beton, două sunt dispuse pe toată lungimea elementului, două sunt dispuse în câmp pe lungime de 17 m, iar celelalte două pe lungime de 13 m.

Armătura nepretensionată prevăzută a înlocuit o parte din armătura pretensionată a variantei de precomprimare limitată, dar cu condiția ca încărcările capabile p_1 , p_2 , p_3 să fie acoperitoare. Clasa prescrisă a betonului este Bc40(B500), iar execuția este realizabilă cu utilizarea tiparelor existente. Grinda prezenta înainte de încercare o contrasăgeată de 14 cm la mijlocul deschiderii. Schema statică adoptată pentru încercare a fost grindă simplu rezemată $L=23.6$ m (ca în calcul), încărcată cu cinci forțe concentrate care aproximau încărcarea uniform distribuită.

Măsurătorile efectuate au vizat: săgețile în secțiunile de acțiune a forțelor, mărimea deschiderii fisurilor și deformațiile specifice ale betonului la compresiune (ϵ_b ‰) în secțiunile critice la 4,5 m și 1,5 m distanță de mijlocul deschiderii. Etapele de încărcare-descărcare au fost stabilite în concordanță cu recomandările indicativului C181-76 [C.30.], unele dintre acestea adaptându-se la specificul elementelor din BPP (ex: s-a urmărit nu închiderea fisurilor [C.30.], ci deschiderea medie și maximă a acestora sub încărcări de exploatare de lungă durată).

S-au stabilit următoarele etape de încărcare-descărcare:

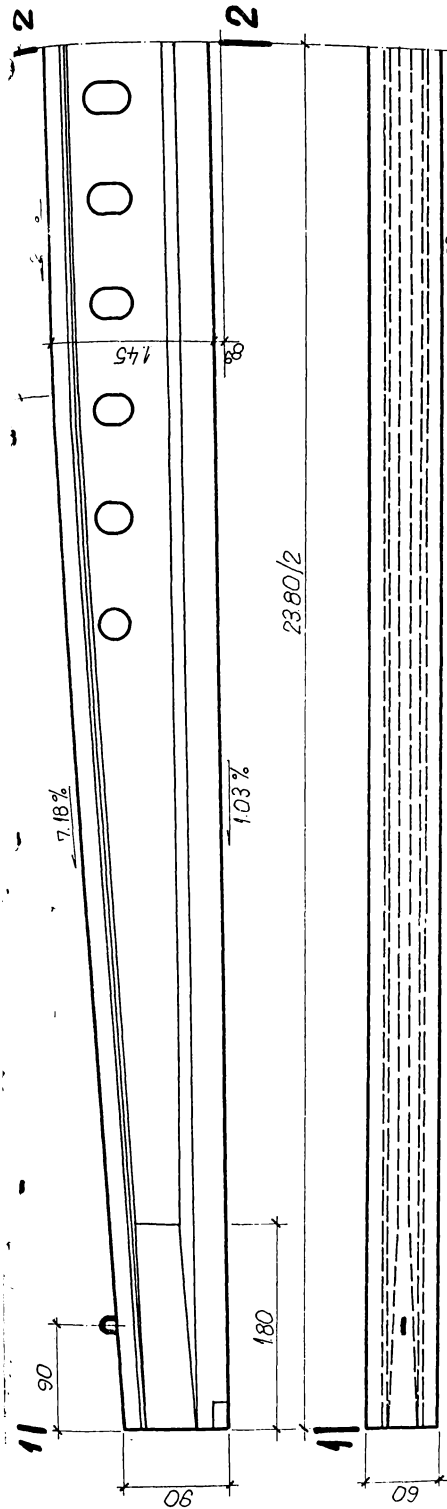
- încărcare de exploatare (P^E) în cel puțin patru cicluri,
- încărcare corespunzând la $\alpha_{fmax}=0,1$ mm măsurată în dreptul armăturii pretensionate ($P_{0,1max}$), cel puțin un ciclu,
- încărcare corespunzând la $\alpha_{fmax}=0,15$ mm ($P_{0,15max}$), un ciclu,
- încărcare limită un ciclu.

Sub încărcările de exploatare de lungă durată, deschiderea medie și maximă a fisurilor s-a urmărit la următoarele etape:

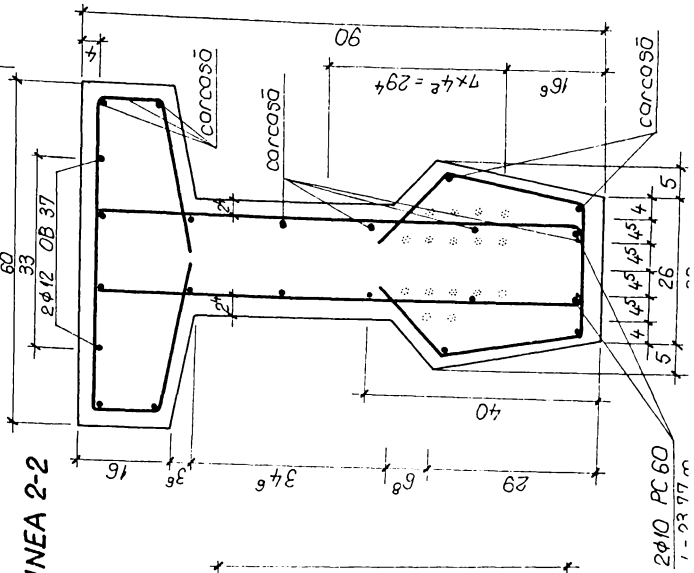
- descărcarea de la P^E ciclul 1,
- încărcarea și descărcarea de la P^E ciclul 4,
- descărcarea de la $P_{0,1max}$ și $P_{0,15max}$.

Mărimea deschiderii fisurilor s-a determinat la nivelul ambelor tipuri de armătură (A_p și A_a) condiția de acceptare fiind ca sub încărcarea de exploatare de lungă durată să nu fie depășite valoarea medie 0,03 mm, respectiv valoarea maximă de 0,05 mm.

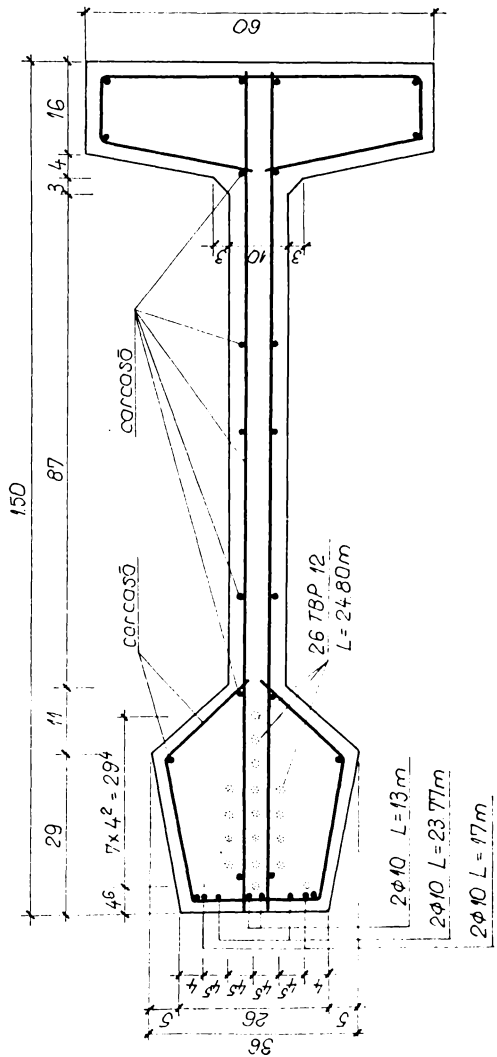
Încărcarea totală de exploatare (p_{2cap} , P^E) s-a aplicat în trepte, una dintre acestea fiind încărcarea de lungă durată (p_{1cap}). Măsurătorile au indicat că nu s-au depășit valorile limită admise pentru α_f , iar săgețile au fost de cel mult $L/390$, constatându-se o relație liniar-elastică între forță și săgeată până la nivelul P^E . Creșterea încărcării peste P^E a condus la apariția fisurilor înclinare în inima grinzii în zonele de capăt, iar deschiderile acestora au fost cuprinse între 0.07 și 0.15 mm. La descărcarea la P_{1d}^E de la $P_{0,1max}$,



SECTIUNEA 2-2



SECTIUNEA 1-1



$P_{0.15\max}$ și $P^C(p_{3\text{cap}})$ fisurile normale nu au prezentat deschideri mai mari de 0.05 mm.

Săgețile au crescut sub acțiunea încărcărilor depășind P^E cu o rație mai mare decât rația de creștere a forțelor și au ajuns pentru treapta $P^C(p_{3\text{cap}})$ la valoarea $L/243$. S-au aplicat creșteri ale intensității încărcării până la treapta de $2.23 P^E$ înregistrându-se creșteri considerabile ale săgeții până la $L/78$ și ale deschiderii fisurilor normale până la 0.8 mm la nivelul A_p și 0.9 mm la nivelul A_a . Deformația specifică a betonului comprimat la treapta $2.23 P^E$ a fost de $\epsilon_b=1.8 \text{ } ^0/_{00}$.

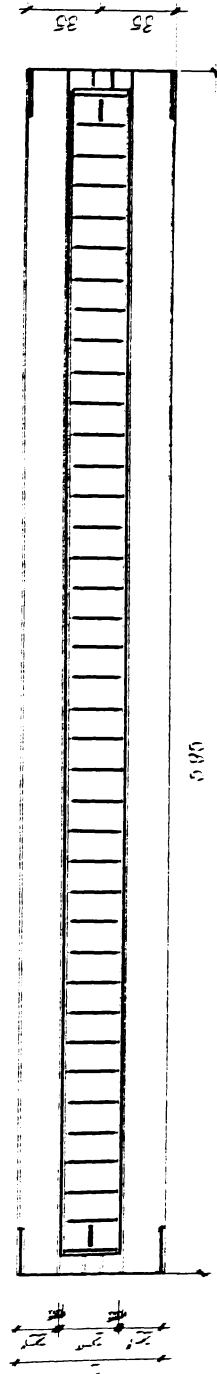
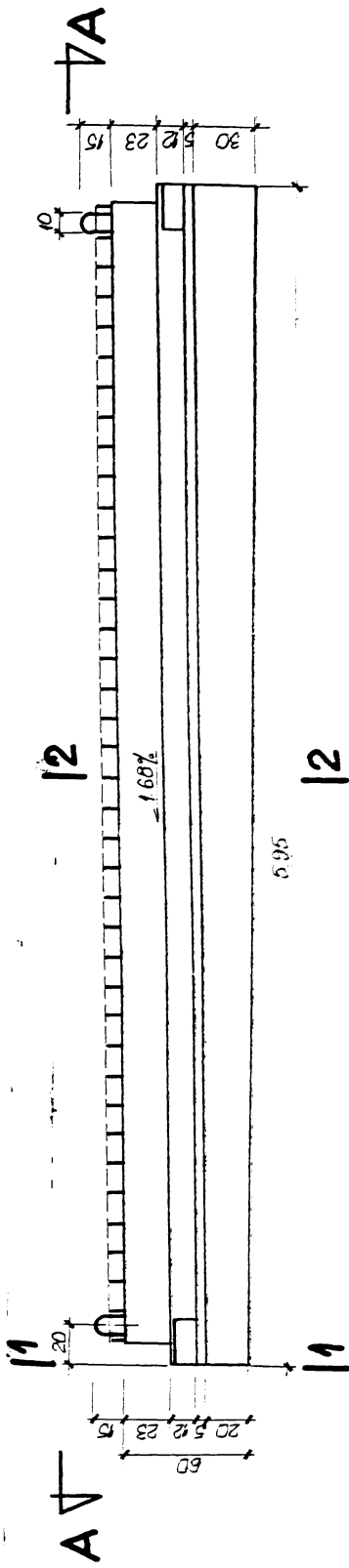
Încărcarea de rupere a fost $P_r^{\text{exper}}=2.73 P^E$, iar săgeata la rupere a fost $f_r=L/49$. Momentul încovoietor de control M_r^c (de rupere teoretic), calculat cu valorile caracteristicilor de calcul ale materialelor, determinate experimental, a condus la coeficienții : $M_r^{\text{exper}}/M_r^c=1.09$ și $M_r^{\text{exper}}/M^E=2.30$, care alături de săgeata la rupere $f_r=L/49$ indică o bună comportare, în încercare, a grinzii din BPP.

În concluzie s-a recomandat definitivarea proiectului în faza DE în varianta experimentală și introducerea elementului în producția de serie. Pentru o mai ușoară și mai rapidă înțelegere a rezultatelor încercării, autorul prezentei lucrări le prezintă sintetic în tabelul 5.3.

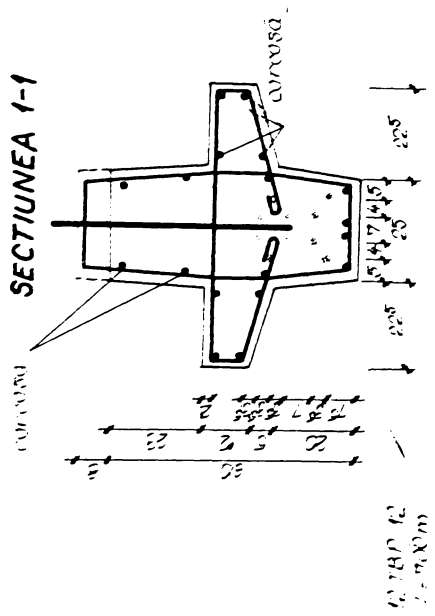
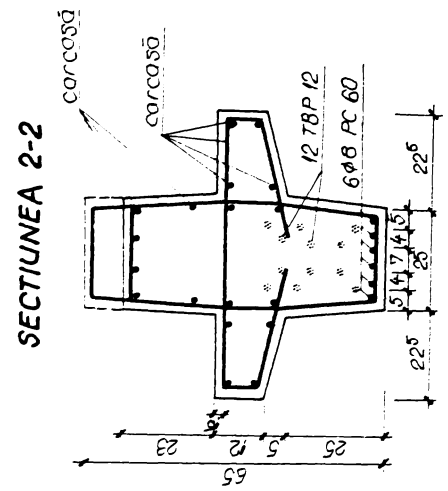
Tabelul 5.3.

Treapta de încărcare		α_f [mm] pentru :				Săgeata f	$\epsilon_b \text{ } ^0/_{(m)}$
		nivelul armăturii A_p	nivelul armăturii A_a	încălate	maxim		
Descărcare la $P_{ld}(p_{1\text{cap}})$ de la treapta :	$P^E(p_{2\text{cap}})$	0.03	0.04				
	$P_{0.01\max}$	0.04	0.05				
	$P^C(p_{3\text{cap}})$	0.04	0.05				
încărcare $P^E(p_{2\text{cap}})$ în ciclul :	1	0.02	0.02			L/414	
	2				0.07		
	4					L/390	
$P_{0.1\max}$			0.07±0.15				
$P^C(p_{3\text{cap}})=P_{0.15\max}$						L/243	
încărcare la $2.23P^C$			0.35			L/78	
încărcare la rupere $P_r^{\text{exper}}=2.73P^E$					1.5÷2	L/49	
$M_r^{\text{exper}}/M_r^c=1.09; M_r^{\text{exper}}/M^E=2.30$							

Un studiu experimental asemănător s-a efectuat pentru grinda longitudinală Gψ6-18pp [I.7.] pentru a cărei soluție de armare mixtă era făcută propunerea în [P.4.]. În figura 5.7. este prezentată grinda Gψ6-18pp. Aceasta este varianta în soluția precomprimării moderate (PM) cu armare mixtă a unei grinzi din beton precomprimat aflată în fabricație de serie și armată cu 16 TBP12. În urma reproiectării, pentru varianta PM armătura longitudinală a fost stabilită la 12 TBP12 ca armătura pretensionată și 6ø8 PC60 ca armătura nepretensionată complementară. S-a prevăzut beton Bc30(B400). Înainte de încercare, elementul a fost suprabetonat pe 8 cm înălțime. Încărcarea s-a



SECTIUNEA 1-1



aplicat concentrat în trei puncte, intensitatea forțelor fiind stabilită prin echivalență de momente în funcție de încărcările uniform distribuite capabile, precizate în proiect.

Etapele de încărcare-descărcare sunt la fel stabilite ca pentru încercarea grinzii G24-1-pp, mai sus prezentată, la fel și modul de colectare a datelor.

În tabelul 5.4., se prezintă sintetic rezultatele încercării experimentale pentru stările limită de fisurare, deformație și ultimă.

Din punctul de vedere al fisurării, comportarea grinzii din BPP este corespunzătoare până la descărcarea (la încărcarea) de lungă durată, nivel la care mărimea deschiderii fisurilor depășește valoarea maximă admisă.

Tabelul 5.4.

Treapta de încărcare		α_f [mm] pentru :			Sageata f
		nivelul armăturii A_p	nivelul armăturii A_a	maxim	
Descărcare la $P_{ld}^E(p_{1cap})$ de la treapta :	$P^E(p_{2cap})$			0.06÷0.08	
	$P_{0,01max}$				
	$P^C(p_{3cap})$	0.09÷0.11			
încărcare la $P^E(p_{2cap})$ în ciclul :	1	0.01÷0.02	0.03÷0.05		L/816
	3	0.03	0.05		
	5				
$P_{0,1max}$	reîncărcare		0.13÷0.14		L/766
încărcare la rupere P_r^{expr}				1.5÷2.0	L/61
$M_r^{exper}/M_r^C=0.97; M_r^{exper}/M^E=2.3$					

Neajunsul ar putea fi eliminat fie prin redistribuirea armaturii pretensionate, fie prin suplimentarea armaturii nepretensionate cu încă două bare $\varnothing 8$ amplasate la nivelul primului rând de toroane. Comportarea la deformații a fost apreciată ca bună, sagetile nefiind exagerate în condițiile în care asigură și o corespunzătoare avertizare.

Și sub aspectul capacității portante rezultatele au fost satisfăcătoare, oferind un bun coeficient de siguranță. Cedarea s-a produs, de altfel ca și în cazul grinzii G24-1-pp, începând cu zdrobirea betonului comprimat.

S-a considerat că respectând recomandările făcute se poate trece la proiectarea în faza DE în vederea introducerii în fabricație de serie.

Un program experimental deosebit este prezentat în lucrarea [P.4.], cu multe elemente experimentale încercate, cu multiple obiective și importante rezultate, analize și concluzii. Cercetarea a vizat elemente din BPP solicitate la încovoiere, având armatura preîntinsă cu sau fără armatura nepretensionată. Obiectivele programului experimental au fost următoarele :

- studiul comportării la fisurare a elementelor din BPP cu PL și PM având secțiuni transversale de formă dreptunghiulară și T,
- analiza posibilităților de utilizare a armării mixte la grinzi și elemente de acoperiș la scara naturală,

5.20.

- studiul efectului armăturii nepretensionate asupra deformațiilor de durată a elementelor din BPP,
- cerințe de durabilitate la elementele din BPP.

Inercările experimentale s-au efectuat cu elemente la scară naturală și cu modele prin reducerea primelor la scara 1/2 sau 1/3, încărcate cu forțe concentrate sau cu greutate. Măsurătorile au vizat săgețile, regimul de fisurare, deformațiile specifice ale betonului și oțelului. Rezultatele experimentale sunt prezentate sub forma diagramelor M-f, a releveelor fisurilor după rupere, a tabelelor de concordanță între mărimea solicitărilor și nivelul datelor culese. Valorile de control pentru M_f , $M_{desc.}$, $M_{inc.}$ s-au calculat conform prevederilor normelor.

Din punct de vedere al fisurării, concluzia finală este favorabilă elementelor din BPP cu PM și armare mixtă și se bazează pe următoarele constatări:

- distanța dintre fisuri scade cu aproximativ 40% ceea ce atrage după sine reducerea deschiderii fisurilor,
- deschiderea fisurilor crește mai încet decât la elementele fără armătură nepretensionată.

Sub aspectul deformațiilor, precomprimarea moderată (PM) cu armare mixtă aduce avantaje în privința contrasăgeților, care datorită prezenței armăturii nepretensionate, sunt relativ mai reduse. Situația avantajează în mod deosebit elementele suple și cu mare flexibilitate.

Soluția realizării cu armare mixtă este avantajoasă și din punct de vedere economic, deoarece :

- face posibilă reducerea clasei betonului utilizat,
- face posibilă reducerea grosimii inimii,
- conduce la reducerea consumului de oțel superior cu până la 33% și uneori a consumului total de oțel (7%). Acest program experimental [P.4.] a folosit la verificarea unor prescripții normative, conducând în final la corectarea sau completarea unor prevederi.

Studiul experimental al grinzilor din BPP în străinătate s-a efectuat constant în timp, acolo unde au existat preocupări în domeniu și funcționau școli de recunoscută valoare. Condiții deosebite au fost asigurate prin alocarea unor resurse considerabile. Programe experimentale desfășurate în Europa, Asia și America, prezintă utilizarea unor serii de ordinul zecilor de elemente experimentale încercate.

Un program experimental bine fundamentat, gândit să cuprindă observarea influențelor a cât mai mulți parametri asupra comportării grinzilor încovoiate din BPP, a fost pus în aplicare în Belgia la Laboratorul Magnel.

În prezenta lucrare se vor face referiri la aspectul fisurării [L.10.]. Experimentările s-au efectuat pe 12 grinzi simplu rezemate având deschiderea de 8 m pentru care au fost variate următoarele :

- gradul de precomprimare λ (0.8; 0.65 și 0.5)
- modul de realizare a precomprimării pentru grad $\lambda=0.8$ (cu armătură preîntinsă din sârme - indicativ S și cu armătură postîntinsă din cabluri - indicativ C),

- tipul încărcării:

- patru grinzi pentru încărcările statice aplicate începând cu vârsta de 28 de zile, indicativ ST,
- opt grinzi pentru încărcări de lungă durată, indicativ LT, din care patru încarcate în permanență pe o perioadă de cinci ani și șase luni (1.645 zile), $M=M_{ser}$, timp după care au fost descărcate și lăsate în această stare încă șase luni, iar celelalte patru grinzi au rămas, în toată această perioadă, descărcate; după scurgerea celor șase ani cele opt grinzi LT au fost supuse încărcărilor statice până la rupere.

În figura 5.8. sunt prezentate secțiunile transversale ale grinzilor mai sus menționate.

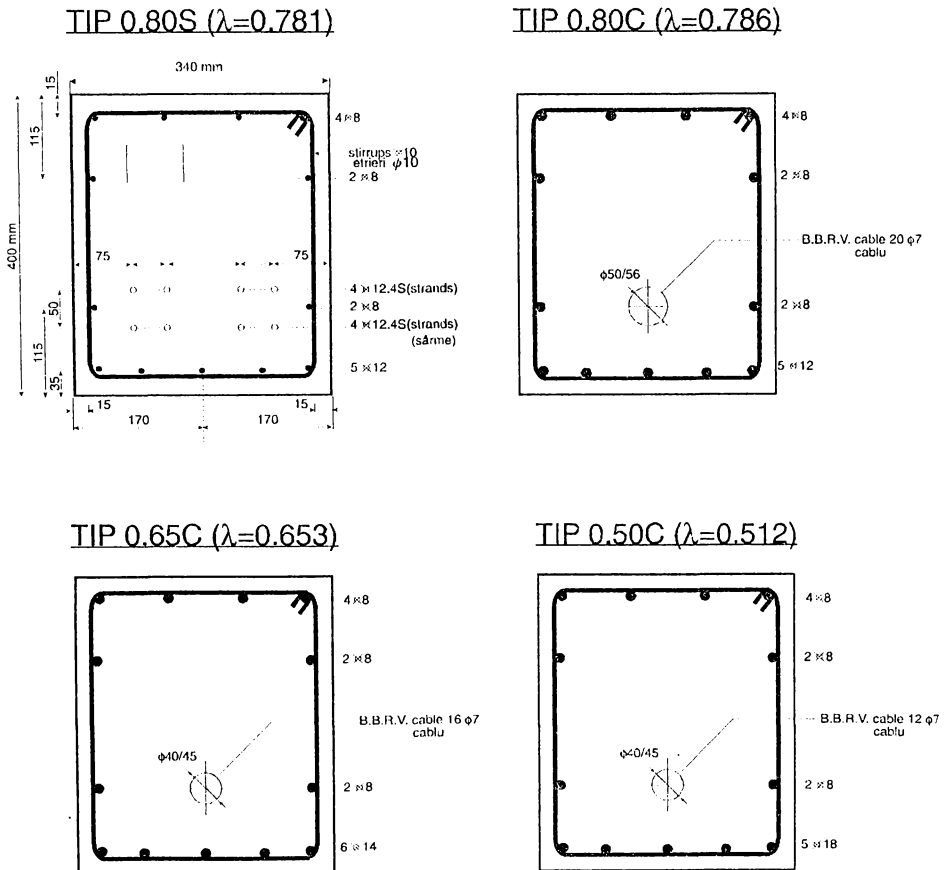


Figura 5.8. [L.10.] Secțiuni transversale la mijlocul deschiderii grinzilor încercate

Rezultatele experimentale sunt prezentate sub forma graficelor și în tabele. Pentru fisurare se prezintă în figura 5.9. variația deschiderii medii a fisurilor pentru grinzile cu grad de precomprimare $\lambda=0.8$ armate cu sârme (S), respectiv cabluri (C), funcție de

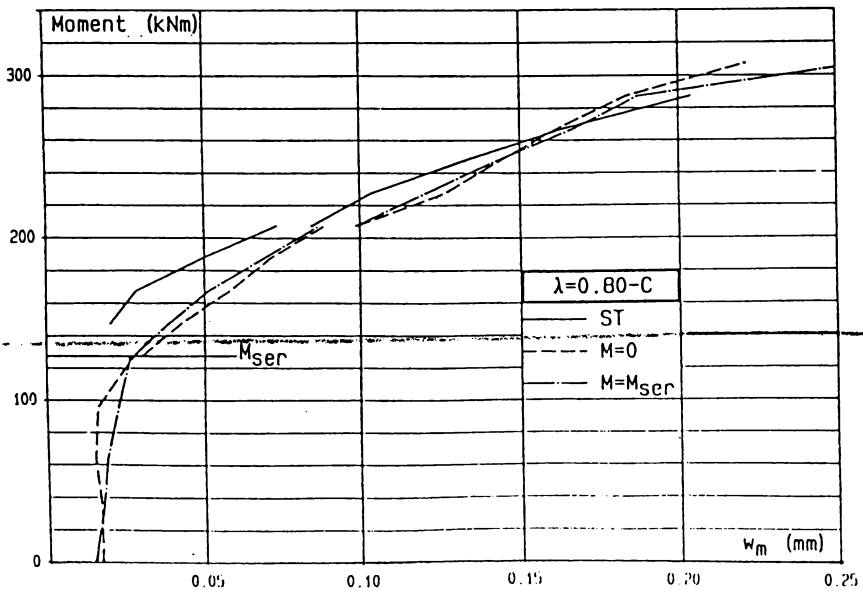
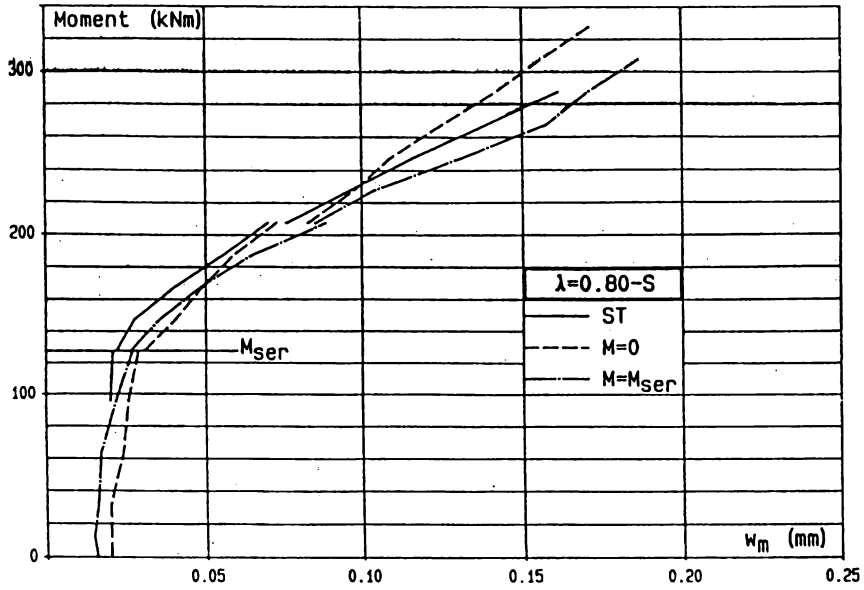


Fig. 5.9. [L.10.] Deschiderea medie a fisurilor pentru grinzile tip 0,8S si 0,8C.

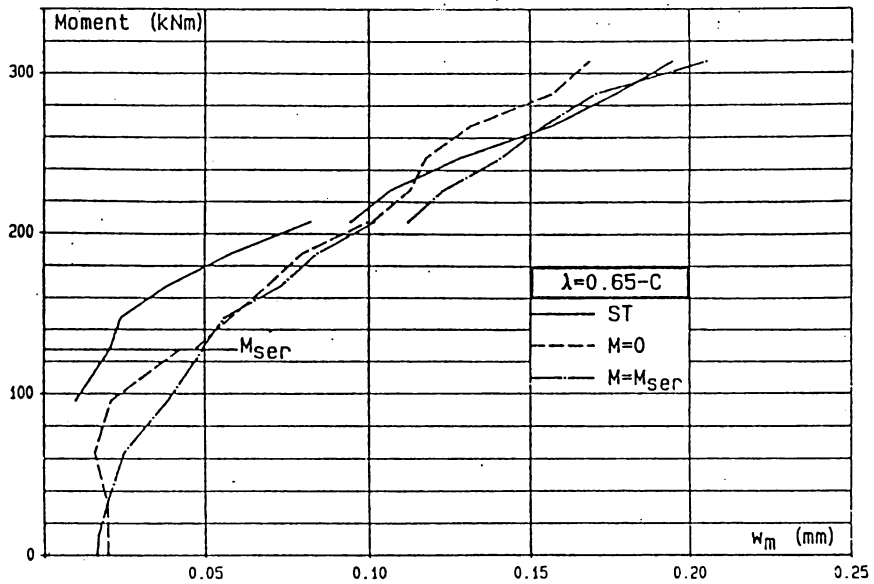


Figura 5.10. [L.10.] Deschiderea medie a fisurilor la grinzile de tip 0.65 C.

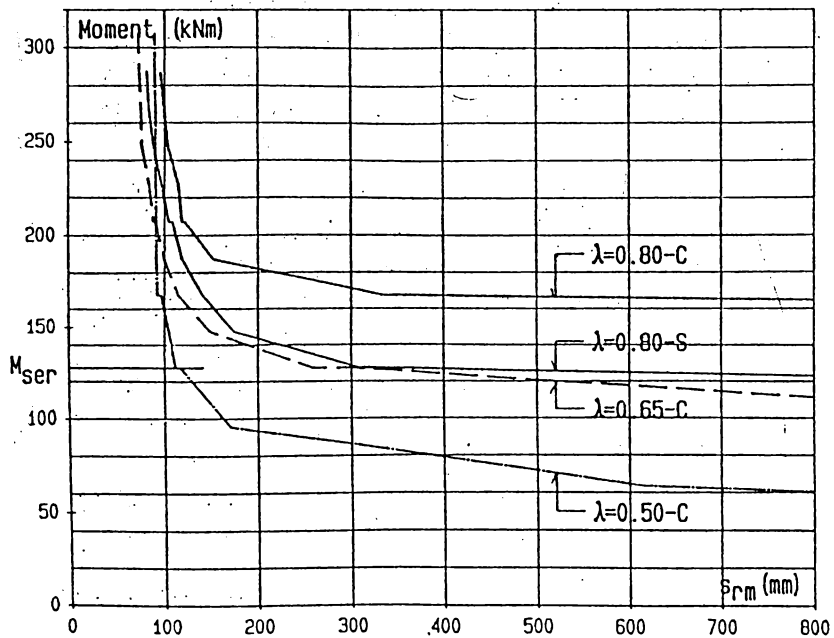


Figura 5.11. [L.10.] Distanța medie între fisuri la grinzile încercate la 28 zile.

5.24.

efortul M . Pentru observarea influenței gradului de precomprimare, în figura 5.10. se prezintă cazul grinzii 0.65C.

În figurile 5.11. și 5.12. se prezintă variația distanței medii dintre fisuri la grinzile încercate la 28 de zile funcție de efortul M , respectiv variația numărului fisurilor funcție de timp la grinzile menținute încărcate 4,5 ani.

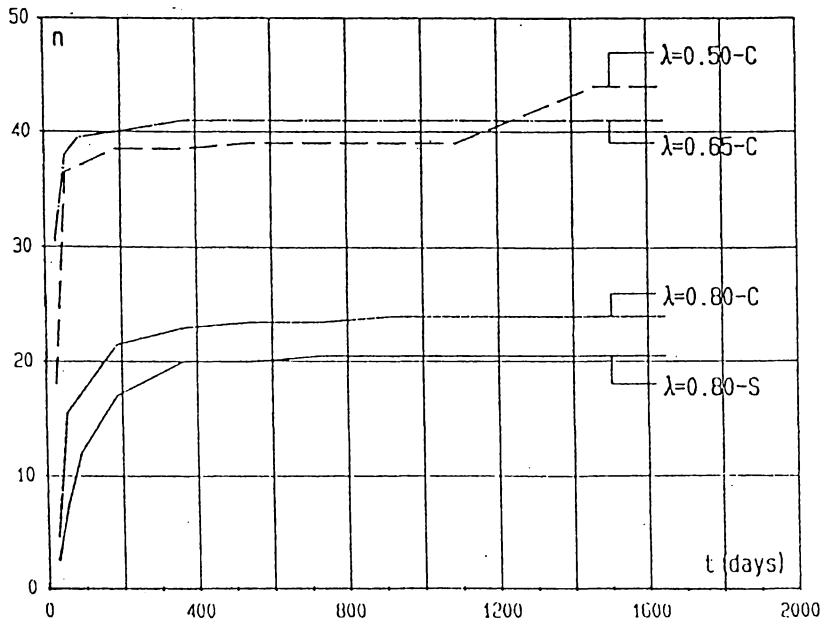


Figura 5.12. [L.10.] Numărul fisurilor la grinzile încărcate 4,5 ani.

În tabelul 5.5. [L.10.], este prezentată comparația între starea de fisurare produsă sub încărcări la vârsta de 28 de zile și cea la 1.645 zile.

Tabelul 5.5.

Grinda	n_{1645}/n_{28}	$w_{m,1645}/w_{m,28}$	w_{1645}/w_{28}	$h_{cr,1645}/h_{cr,28}$
0.80S	8.20	2.50	3.63	2.82
0.80C	5.33	2.75	3.11	2.39
0.65C	2.44	2.33	3.43	3.10
0.50C	1.34	3.92	4.53	1.95

Rezultatele experimentale obținute în studiul mai sus prezentat, au servit și la verificarea unei metode de calcul a mărimii deschiderii fisurilor, propusă de autori.

Desfășurat la Universitatea Osaka, Japonia un alt program experimental [S.6.] a cuprins investigarea a 14 grinzi asupra cărora se prezintă date în tabelul 5.6.

Obiectivul cercetării l-a constituit verificarea pe cale experimentală a unei metode simplificate rapide pentru calculul mărimii deschiderii fisurilor. Etapa a doua a studiului a mai cuprins experimentări pe un alt lot de șase grinzi. O reprezentativă prezentare comparativă, a rezultatelor experimentale cu rezultatele obținute prin calcul cu metoda propusă și alte nouă metode, se face în figura 5.13.

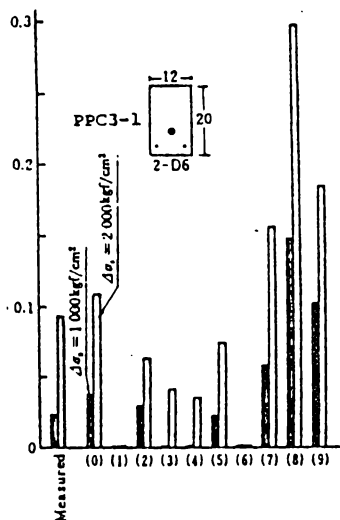
Tabelul 5.6.

Tipul grinzii	Numărul și diametrul armăturii nepretensionate	Diametrul sârmelor tensionate [mm]	Forța inițială de precomprimare [to]	Efort inițial din precomprimare în fibra extremă de beton [Kgf/cm ²]	Vârsta de încărcare [zile]	
BA-	1	2 ø13	-	-	39	
	2	1 ø 6			45	
	3				129	
BPP1-	1	3 ø10	ø 6.2	2.78	20.4	38
	2			2.81	20.6	44
	3			2.76	20.2	128
	4			2.75	20.2	38
BPP2-	1	2 ø10	ø 7.9	4.36	32.7	37
	2	1 ø 6		4.43	33.3	43
	3			4.35	32.6	129
BPP3-	1	2 ø 6	ø10.8	8.40	67.3	36
	2			8.22	65.8	42
	3			8.34	66.8	130
	4			8.10	64.9	36

În China, la Dalian University of Technology, un program experimental a cuprins încercarea a 33 grinzi din BPP având secțiune dreptunghiulară și armare mixtă cu armătură pretensionată neaderentă și două grinzi din BPP cu secțiune T armată mixtă cu armătură pretensionată neaderentă cu traseu curb, figura 5.14. [Z.1.].

A fost urmarit modul în care anumiți factori cum sunt : raportul de deschidere/înălțime, procentul de armare (nepretensionată și pretensionată), influențează comportarea sub sarcini a grinzilor încovoiate din BPP. Principalele observații desprinse în urma încercărilor sunt:

- la grinzile cu procentul armăturii nepretensionate mic (0.21%) nu sunt decât câteva fisuri importante a căror deschidere și înălțime cresc foarte repede, iar distanța dintre fisuri este cea mai mare, fiind cuprinsă între 190 și 335 mm. În situația pastrării aceleași armături pretensionate neaderente dar suplimentând armatura nepretensionată aderentă se obține o vizibilă îmbunătățire al comportamentului la fisurare (ex : distanța între fisuri se reduce la 90÷138 mm);
- la grinzile cu armare mixtă, odată cu sporirea cantității de armatura pretensionată, apariția și creșterea deschiderii fisurilor este întârziată, dar după fisurare armatura



- | | | |
|-----------------------|------------------|------------------------------|
| (0) Proposed Equation | (4) Kakuta | (7) CEB-FIP (1970) Class III |
| (1) CEB-FIP (1970) | (5) Gergely-Lutz | (8) Navy-Huang |
| (2) CEB-FIP (1978) | (6) CP 110 | (9) Bennett |
| (3) Morita | | |

Figura 5.13. [S.6.] Comparație a deschiderii fisurilor determinata prin diferite metode.

ensionată nu are o influență semnificativă asupra fisurilor, armatura nepretensionată aderentă fiind factorul principal în îmbunătățirea comportamentului la fisurare;

- creșterea procentului armăturii nepretensionate conduce la scaderea valorii raportului dintre media momentului de fisurare și media momentului ultim, acest lucru însemnând că armătura nepretensionată poate mari capacitatea de a controla propagarea fisurii, iar în această situație chiar și cedarea se produce în timp mai îndelungat;

- absența totală a armăturii aderente provoacă o rapidă creștere a deschiderii și înălțimii fisurilor, ruperea producându-se repede, iar sistemul final de fisuri prezintă un număr mic de fisuri având forma Y (cu distanțele mari între ele);

- când armături aderente nepretensionate sunt înglobate cu procent de armare de cel puțin minimul unei grinzi obișnuite din BA, forța de restrângere (aderența) crește și în consecință distanța între fisuri și deschiderea acestora scad, comportamentul la fisurare fiind îmbunătățit.

Metoda de calcul a deschiderii fisurilor propusă în [Z.1.] utilizează coeficienți ai căror evaluare s-a făcut cu ajutorul programului experimental mai sus prezentat.

Planșeele au constituit și ele subiecte pentru studii în domeniul BPP, dar încercările experimentale nu sunt atât de numeroase ca în cazul grinzilor. Studii de soluții pentru planșee vor fi prezentate în capitolul 6, dar acelea nu au fost însoțite de investigații experimentale.

5.27.

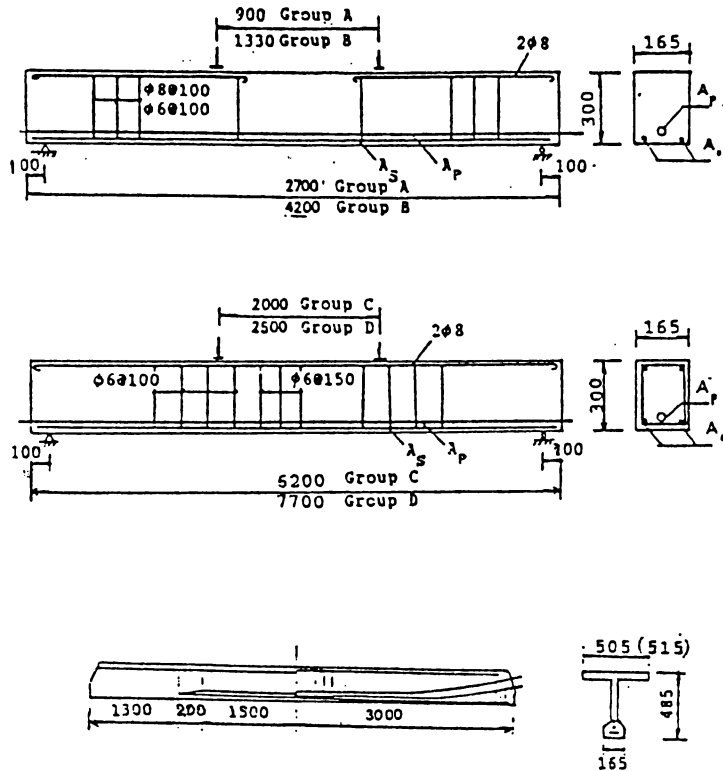


Fig. 5.14. [Z.1.] Detalii ale grinzilor testate

În țară, un program experimental conceput și aplicat pentru planșee precomprimate s-a desfășurat la Iași [C.24.] și a cuprins încercări experimentale pentru două variante de concepție structurală :

- planșeu casetat deschis,
- planșeu casetat închis.

Programul s-a extins și asupra studiului tehnologiilor de preîntindere a unor familii de armături paralele dispuse după una sau două direcții, realizându-se, experimentându-se și utilizându-se o instalație concepută pentru acest scop.

Primul tip de planșeu casetat cu nervurile distanțate la 1.2 m pe o direcție, și 1.5 m pe cealaltă direcție și cu dimensiuni în plan de 6.0x6.0 m, a fost fragmentat pe linia mediană în două semipanouri astfel încât continuitatea nervurilor transversale se asigură prin postcomprimare. Nervurile longitudinale sunt precomprimate utilizând toroane preîntinse TBP9 și TBP12. Comportarea sub sarcini a fost calificată ca bună pentru toate stările limită urmărite (fisurare, deformare și ultimă) și s-a apreciat că acest sistem are mari rezerve de rezistență motiv pentru care se pot adopta grosimi mai mici și se pot acoperi deschideri mai mari.

Al doilea sistem studiat a fost planșeu casetat închis precomprimat bidirecțional alcătuit din placa inferioară precomprimată pe două direcții utilizând lițe, corpuri de umplutură în zona mediană și o placă monolită din BA turnată pe șantier și în care se

înglobează armătura pe reazeme. În zona mediană pe grosimea stratului de umplutură au fost prevăzute nervuri distanțate la 70 cm pe ambele direcții care făceau legătura prin intermediul conectorilor cu placa superioară. Incercarea experimentală s-a desfășurat în cele două faze : de montaj și în exploatare, urmărindu-se aspectele caracteristice privind fisurarea și refisurarea, conlucrarea dintre zona prefabricată și suprabetonare, precum și modul de rupere. Rezultatele experimentale obținute au fost considerate corespunzătoare.

Structura a fost gândită să lucreze fără fisuri în exploatare, motiv pentru care prezentarea se oprește la acest nivel. Pentru instalația existentă și variantele constructive prezentate ar fi posibilă luarea în discuție și a soluției constructive cu BPP.

Așa după cum s-a arătat, din punct de vedere al cercetării experimentale, durabilitatea aduce în discuție și problema duratei, în special pentru cazul când mediul natural este luat în considerare. Alte dificultăți se leagă de dimensiunile relativ mari ale elementelor și de dificultatea reproducerii stadiilor de lucru corespunzătoare exploatarei. Acestea din urmă au putut fi eliminate prin :

(i) efectuarea investigațiilor pe elemente realizate la scară redusă (modele) dar care au fost astfel concepute încât să păstreze proprietățile elementelor reale,

(ii) asigurarea existenței și persistenței unor stadii de lucru, care pot apare pe durata exploatarei, prin încărcare sau prin menținerea unei stări de deformare [P.4.] [C.15.].

Cercetarea în acest domeniu mai beneficiază de intuiția (previziunea) unor specialiști, materializată prin amorsarea în urmă cu peste 30 de ani a unor studii și expunerea elementelor în condiții diferite de mediu cu scopul cercetării lor în perioada prezentă și în cea viitoare [C.15.]. Oportunități în cercetarea durabilității au mai apărut, în timp, cu ocazia dezafectării unor construcții care, în parte, au fost aduse în această situație chiar de nemaisatisfacerea unor criterii de durabilitate [C.15.].

În laboratorul Departamentului CCIA din Timișoara, s-a desfășurat un program experimental asistat de cadre didactice de la disciplinele de Beton Armat și Precomprimat și Materiale de Construcții, program care a avut ca principal obiectiv studiul durabilității unor elemente din beton armat cu vârsta de 80 de ani și a unor elemente din beton precomprimat având vârsta de 18 până la 30 de ani. În toată această perioadă elementele au fost în contact direct cu condițiile mediului natural urban, cele din beton precomprimat fiind păstrate pe platforma exterioară neacoperită a Departamentului [C.15.].

Pentru grinzile din beton precomprimat având 18 ani vechime, calculul adâncimii de carbonatare prin metoda propusă în [B.16.] a rezultat de 8.4÷9.1 mm, iar investigațiile experimentale au indicat o adâncime de 5÷10 mm. La etrierii având stratul de acoperire cu beton de 6÷11 mm s-a constatat un început clar de coroziune, iar la armătura pretensionată longitudinală s-a observat existența unor pete de rugină la un număr limitat de lițe. Această situație se datorește distrugerii pasivității suprafeței oțelului datorită scăderii indicelui pH sub valoarea 9. Trecerea hidroxidului de calciu Ca(OH)_2 în carbonat de calciu CaCO_3 și reacțiile chimice dintre silicații de calciu și

bioxidul de carbon provoacă reducerea alcalinității betonului până la completa carbonatare a pietrei de ciment, pentru care indicele pH are valoarea 8.3. Coroziunea armăturii începe atunci când betonul stratului de acoperire s-a carbonatat și constă într-un proces electrochimic în care oțelul are rol de conductor electric, iar apa din pori împreună cu oxigenul din atmosferă are rol de electrolit, producții reacției fiind hidroxizii și oxizii de fier (rugina). Din punctul de vedere al betonului, carbonatarea nu-i este dăunătoare deoarece nu-i afectează în mod defavorabil rezistențele mecanice și nici proprietățile de deformabilitate [B.16.] [P.4.].

Cele trei grinzi din beton precomprimat având vârsta de 18 ani au fost supuse încercării la încărcări statice. Rezultatele obținute pentru fisurare indică o sensibilitate mai ridicată la descărcarea la M_{ld}^E , dar se apreciază că aceste sporuri nu prezintă pericol pentru durabilitatea elementului cu condiția ca armătura pretensionată să nu fi fost atacată de agenți corozivi. Ruperea elementelor s-a produs prin zdrobirea betonului comprimat după ce câteva sârme au cedat. Valoarea momentului încovoietor de rupere a fost aproape dublul celui determinat cu 18 ani în urmă, iar mărimea săgeților la rupere a fost de L/76.2; L/88 și L/45.5.

După ruperea elementelor s-a procedat la dezvelirea armăturilor și s-au făcut următoarele constatări:

- existența petelor de rugină mai ales în zona de tangență a sârmelor ce formează lița,
- corodări ale sârmelor, preponderent în zonele cu etrieri, pe lungimi de până la 5 mm și adâncimi de până la 1 mm, fenomen ce a favorizat ruperea unor sârme înaintea zdrobirii betonului.

O concluzie foarte importantă a acestui studiu este aceea că o coroziune inițială a etrierilor favorizează ulterior coroziunea armăturilor pretensionate, motiv pentru care asigurarea unei protecții a etrierilor printr-un strat de acoperire corespunzător, este necesară.

Programul experimental a cuprins studiul unei alte grinzi din beton precomprimat de 10 m deschidere și având vechime de 25 ani, păstrată în condiții similare primelor (rețezată la capete la 20 cm deasupra platformei în mediul natural urban, neîncărcată). Grinda a fost încercată la încărcări statice și nu au rezultat date care ar fi putut afecta în sens defavorabil durabilitatea.

Elementele experimentale anterior prezentate au făcut parte, cu 18 respectiv 25 de ani înaintea studiului experimental descris, dintr-un program experimental prin care s-a urmărit apariția și dezvoltarea fisurilor la solicitări statice și dinamice. În figura 5.15. se prezintă secțiuni transversale ale acestor grinzi și modul de încărcare.

Două grinzi din beton precomprimat având 5 m deschidere au fost păstrate în aceleași condiții, mai sus descrise, timp de 19 ani, după care în anul 1988 luna aprilie, au fost încărcate simultan, prin cuplare utilizând doi tiranți, până când fisurile au avut deschiderea de 0.1 mm și în această stare au fost expuse în condițiile celorlalte grinzi. Periodic se fac măsurători ale deschiderii fisurilor urmând ca în viitor să fie încercate la încărcări statice până la rupere, după care armăturile pretensionate vor fi descoperite și se vor face observațiile și investigațiile asupra celor două materiale : beton și oțel

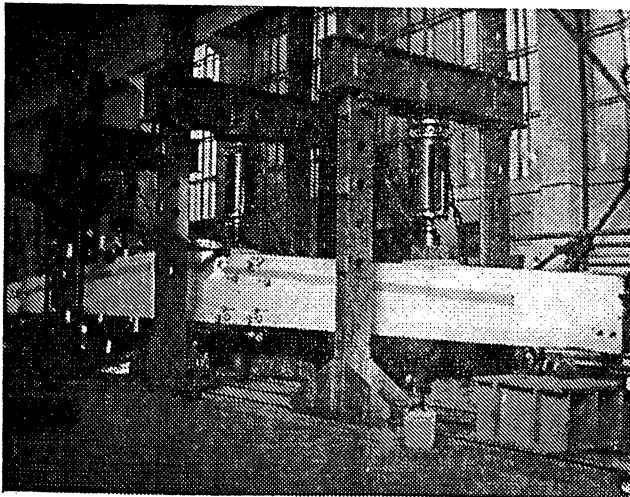
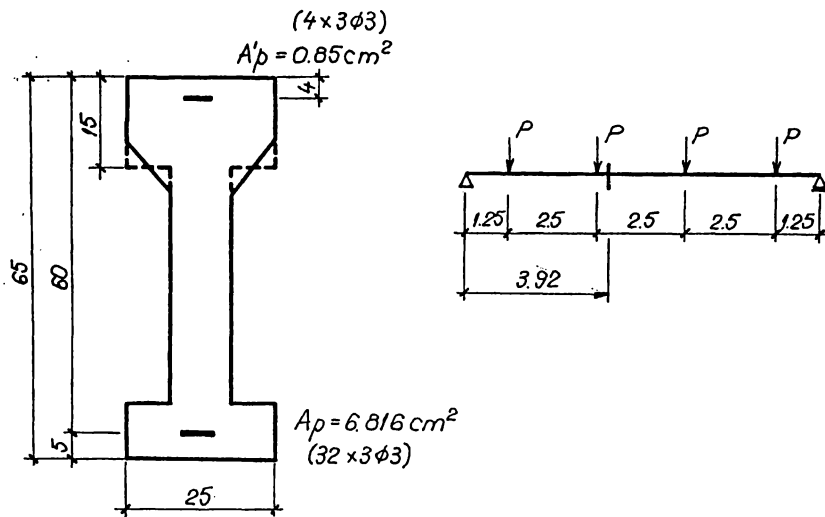


Fig. 5.15. [C.15.] Sectiune transversala si mod de incarcare



pentru studiul influenței diferitelor cerințe asupra durabilității lor și a elementelor în ansamblu. În figura 5.16. se prezintă modul și datele cuplării celor două grinzi.

Lucrarea [C.15.] a prilejuit comparația între durata de exploatare determinată prin

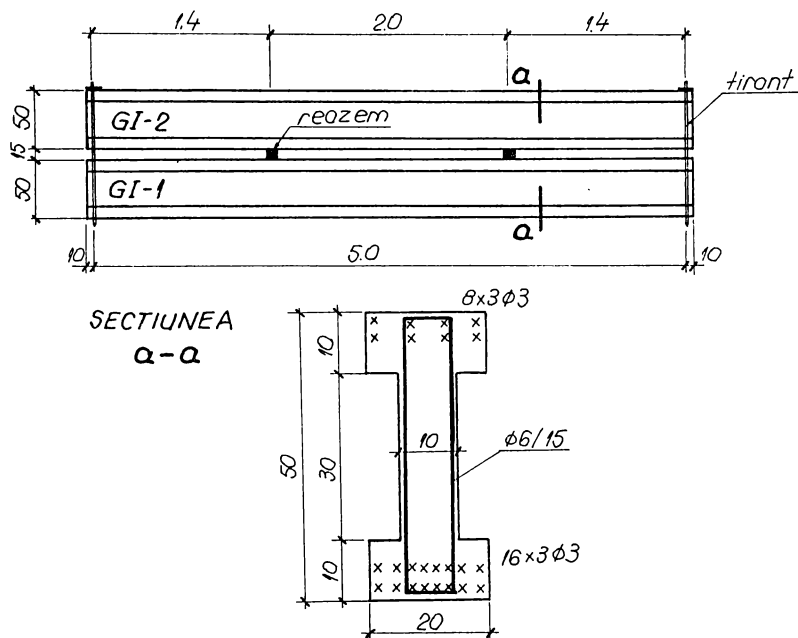


Figura 5.16. [C.15.] Modul și datele cuplării a două grinzi pentru fisurare.

calcul și cea reală limitată de producerea unor grave fenomene de degradare pentru stâlpi din beton precomprimat LEA (transport energie electrică). Calculul perioadei de inițiere reprezentând durata de timp până la care se distruge pasivitatea armăturii ca urmare a carbonatării betonului (sau penetrarea de cloruri la suprafața armăturii) s-a efectuat cu relația propusă de prof. Bob C. [B.16.]. Perioada de propagare reprezentând durata de timp de la declanșarea procesului de coroziune și până la realizarea unor produse expansive de coroziune (rugina) într-un volum care provoacă fisurarea betonului, s-a stabilit funcție de principalii parametri de influență prin intermediul vitezei de coroziune de 0.05 mm/an. Insumarea celor două perioade calculate pe baza datelor valorice realizate la execuție, diferite de cele precizate la proiectare, au condus la durata de exploatare apropiată de cea reală.

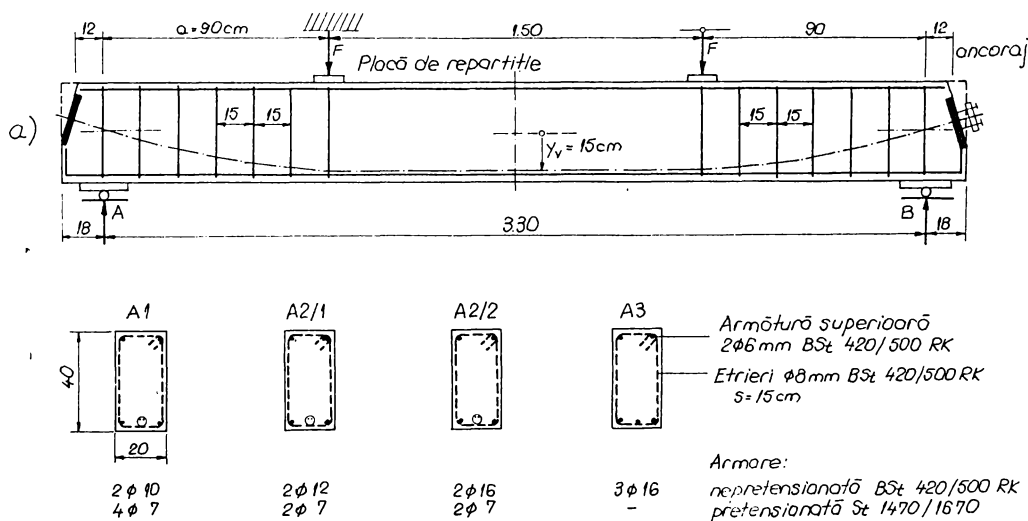
Principalele concluzii desprinse din acest program vizează :

- covârșitoarea importanță a stratului de acoperire cu beton compact nu numai a armăturii pretensionate dar și a etrierilor,
- importanța pe care mărimea deschiderii fisurilor o are asupra perioadei de inițiere,
- importanța factorilor ce influențează carbonatarea betonului în perspectiva depasivizării armăturii,

5.32.

- sporurile la deschiderea fisurilor pentru încărcări-descărcări repetate se încadrează în valori ce nu periclitează sănătatea armăturii aflate într-un mediu normal de exploatare,
- importanța supravegherii severe a execuției,
- rapida apreciere a duratei de serviciu utilizând modelul teoretic prezentat.

La Universitatea Tehnică Braunschweig din Germania, profesorii Schelling G. și Rotasy S., în cadrul studiului efectuat asupra grinzilor din BPP, au pus în aplicare un program experimental având ca obiective urmărirea comportării la fisurare și coroziunea sub efectul atacului chimic. Grinzile testate au fost astfel proiectate încât capacitatea lor portantă la încovoiere să fie în mare parte egală. În figura 5.17. și tabelul 5.7. sunt prezentate datele asupra dimensiunilor, gradului de precomprimare, armarea fiecărei grinzi experimentale și valori de calcul și efecte ale experimentării.



S-a ales secțiunea dreptunghiulară 20x40 cm care corespunde unei dale pline cu consum ridicat de armatură și la care este aplicabilă precomprimarea parțială, iar din punct de vedere al fisurării este critică, deosebindu-se într-o oarecare măsură de secțiunea T cu zona întinsă puternic armată.

În formula 5.1., după normele germane DIN 4227, M_0 și N_0 sunt partea din eforturile secționare care conduc la deformarea nulă (decompresiune) la marginea zonei întinse, comprimată inițial; k_0 este distanța W_k/A_b de la limita sâmburelui central la marginea zonei întinse, comprimate inițial față de centrul de greutate al secțiunii betonului; M și N sunt mărimi ale eforturilor secționare din încărcări exterioare (de exploatare) care duc la cea mai mare alungire la marginea zonei întinse, inițial comprimate.

După betonare, grinzile și epruvetele sunt supuse unui regim de tratare umedă timp de 7 zile.

Tabelul 5.7.

		A1	A2/1	A2/2	A3
Secțiune transversală		Secțiune transversală dreptunghiulară b/d=20/40			
Armătura					
BSt 420/500 Rk		2ø10 mm	2ø12 mm	2ø16 mm	3ø16 mm
Oțel pretensionat					
St 1470/1670		4ø7 mm	2ø7 mm	2ø7 mm	-
Teaca Ø _a /Ø _i		42.5/38.2 mm	42.5/38.2 mm	37.4/32.5 mm	-
A _s (cm ²)		1.62	2.24	4.04	6.06
A _v (cm ²)		1.54	0.77	0.77	-
A _s +A _v (cm ²)		3.16	3.01	4.81	6.06
Coeficient de armare					
μ=A/bh μ _s (%)		0.225	0.311	0.561	0.842
cu h=36 cm μ _v (‰)		0.214	0.107	0.107	-
μ _s + μ _v (%)		0.439	0.418	0.668	0.842
Poziția armăturii					
h _s (cm)		(36.5)/36.7	(36.5)/36.2	(36.5)/37.1	(36.8)/37.1
h _v (cm)		(35.5)/35.0	(35.0)/34.0	(35.0)/34.0	-
Strat de acoperire cu beton					
c _s (cm)		(3.0)/2.8	(2.9)/3.2	(2.7)/2.1	(2.7/1.8)/2.0
c _v (cm)		(3.5)/4.2	(4.3)/5.6	(4.5)/5.5	-
Grad de precomprimare					
formula (5) λ ₁		0.773	0.551	0.405	0
tab.2.3. λ ₂		0.763	0.527	0.404	0
Grad de precomprimare după DIN 4227 partea 2,*)					
x		0.593	0.433	0.295	0
Alungirea de pretensionare ε ₀		4.8 ‰	5.0 ‰	4.8 ‰	0
Forța de pretensionare V ₀ (KN)		153.75	80.0	76.8	0
Forța de pretensionare după epuizarea pierderilor până la începerea experimentării: (KN)		147.90	78.0	74.8	-
Rezultate ale experimentării :					
- încărcarea de fisurare F _R (KN)		50.8	28.1	28.1	21.2
- efort unitar în fibra marginală la F _R (Mn/m ²)		+2.56	+1.58	+1.72	+3.58

λ₁ s-a calculat cu limite de curgere nominale

λ₂ s-a calculat cu realele limite de curgere

$$*) x = M_0 + N_0 k_0 / (M + N k_0)$$

5.1.

Concomitent cu pretensionarea armăturilor, grinzile vor fi încărcate cu o greutate suplimentară 2G₀ pentru ca eforturile unitare de întindere în fibra superioară, din precomprimare, să nu fie prea mari, dar avându-se grijă ca la grinda neprecomprimată A3 să nu fie depășită rezistența la întindere a betonului în fibra inferioară.

Betonul pus în operă a avut următoarele caracteristici, prezentate în tabelul 5.8. :

Tabelul 5.8.

	A1	A2/1	A3	A2/2
Grupa de granulație agregat:				
0-3 mm	695 Kg/m ³			
3-7 mm	280 Kg/m ³			
7-15 mm	495 Kg/m ³			
15-30 mm	465 Kg/m ³			
Ciment PZ 35F	240 Kg/m ³			
Apă	185 Kg/m ³			
Beton proaspăt				
raport apă/ciment W/Z	0.77			
densitate	2350 Kg/m ³			
Rezistența betonului la 28 de zile pe cub β_w [N/mm ²]	27.5			28.0
Vârsta în zile la începerea încercării	57	62	65	28
Rezistența β_w la data încercării	28			28
Rezistența la compresiune pe prisme β_p [N/mm ²]	25			22
Modulul E [N/mm ²]	26000			25000
Rezistența la întindere din încovoiere β_{BZ} [N/mm ²]	3.9			2.9
Rezistența la întindere prin despicare β_{SZ}	3.1			2.3

Elementele experimentale din BPP se realizează prin postcomprimare, armătura pretensionată fiind introdusă prin teaca metalică cu grosimea peretelui de 0.2 mm.

Pentru stabilirea sarcinilor critice s-au făcut următoarele aproximări :

- diagrama σ - ϵ idealizată pentru oțel netensionat și tensionat, având limita de curgere nominală $\beta_s = 420$ N/mm² respectiv 1470 N/mm²,

- alungirea critică a oțelului sub sarcini $\epsilon = 5$ ‰,

- valoarea de calcul a rezistenței betonului $\beta_R = 0.7 \beta_w$

Valorile astfel determinate pentru eforturi sunt :

Tabelul 5.9.

	A1	A2/1	A2/2	A3
M_{critic} (rupere) [KN·m]	95	58	97	85
$M_{adm.} = M_{critic}/1.75$ [KN·m]	54	39	55	49

Pentru notațiile noastre relația este $M_{expl.} = M_{rup.}/1.75$.

În figura 5.17. este prezentată schema de rezemare și de încărcare a grinzilor (simplă rezemare respectiv două forțe concentrate).

Desfășurarea în timp a experimentului este reprezentată în figura 5.18.

Vârsta elementelor și caracteristicile betonului la momentul încercării sunt precizate în tabelul 5.8. Pentru perioada scurtă (o oră) necesară montajului în stand, grinzile au fost total descărcate. Sarcina de exploatare admisibilă s-a aplicat fiecărei grinzi în 6 trepte diferind de la o grindă la alta și având intensitățile F date în tabelul 5.10.

Imediat, la sfârșitul încărcării statice, grinzile au fost supuse unor încărcări ciclice

6. Grindă întoarsă, fisuri sus.

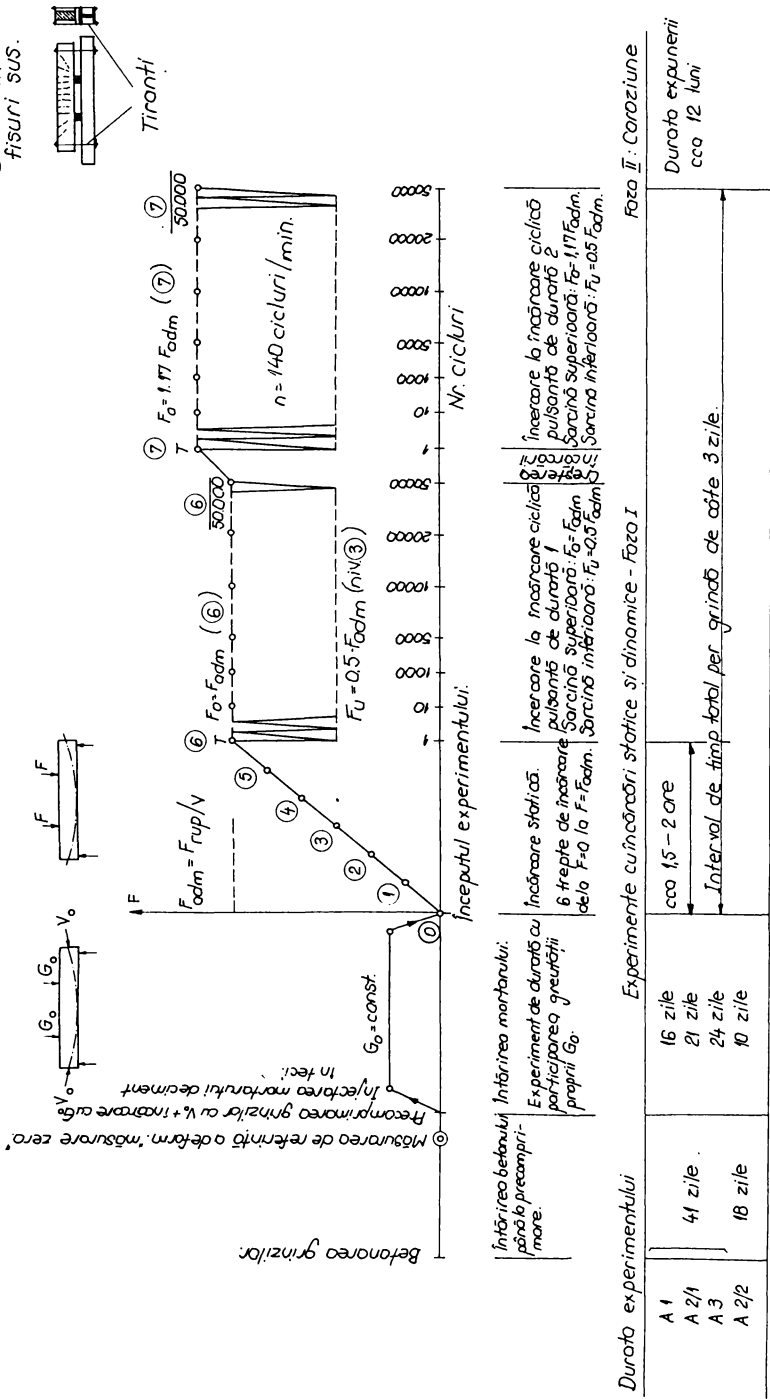


Figura 5.18 [s.4] Desfășurarea în timp a încercării.

Tabelul 5.10.

Treapta de încărcare	Sarcina F [kN]				
	A1	A2/1	A2/2	A3	
0	0	0	0	0	
1	10.2	10.2	9.7	9.0	
2	20.3	20.3	19.4	18.0	
3	30.5	30.5	29.0	27.1	
4	40.7	40.7	38.7	36.1	
5	50.8	(43.3) 50.8	48.4	45.1	
6	61.0	61.0	58.0	54.2	$=F_{admis}$
7	71.2	71.2	67.7	63.2	Creșterea sarcini după prima probă de încovoiere de durată
F_{rupere} (critic)	105.5	75.6	101.2	94.5	Valoarea calculată

pulsante de durată, de la o sarcină redusă (treapta de încărcare 3, adică 50% din sarcina de exploatare) la o sarcină superioară (de exploatare, treapta 6). Primele 10 alternanțe ale sarcinii s-au efectuat manual cu $n=2$ cicluri de sarcină pe minut, iar următoarele cu un generator de impulsuri cu $n=140$ cicluri de sarcină pe minut. Incercarea a fost întreruptă pentru efectuarea măsurătorilor după 1000, 5000, 10000, 20000 și 50000 cicluri de sarcină.

În final a fost efectuată o a doua încercare ciclică pulsantă de durată cu 50000 de cicluri, dar cu sarcină superioară corespunzătoare treptei de încărcare 7. Modul de desfășurare a fost identic cu al primului experiment. Întregul experiment a durat trei zile pentru o grindă.

În figura 5.19. este indicată poziția punctelor de măsurare. S-au efectuat

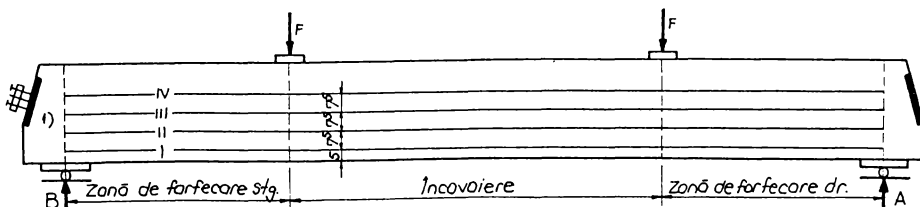
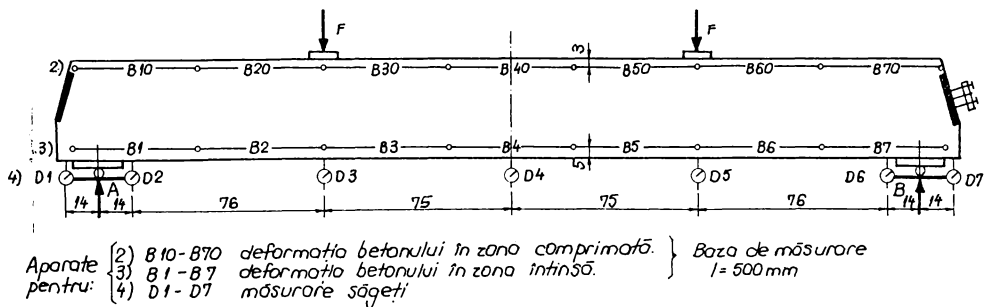


Figura 5.19. [S.4.] Poziția punctelor de măsurare.

următoarele măsurători :

- deformația betonului în zona întinsă la nivelul axei longitudinale a armăturii, la 5 cm deasupra marginii inferioare (punctele B1÷B7 și baza de măsurare $l_u = 500$ mm) neluându-se în considerare fisurile pentru a se obține în mod indirect alungirea armăturii,
- săgețile în secțiunile cu aparatele D1÷D7,
- mărimea deschiderii fisurilor pe fața laterală a grinzii în lungul diferitelor linii de măsurare I÷IV.

Măsurătorile de referință (măsurarea zero) a deformării betonului s-a efectuat la încărcarea G_0 înainte de pretensionare când toate grinzile se comporta la fel. Sub încărcarea G_0 și sub efectul precomprimării apar tensiunile de calcul la marginile inferioară și superioară a betonului (σ_{i0} , σ_{ru}) și tensiunile respectiv deformațiile specifice ($\sigma_0, \sigma_u, \epsilon_0, \epsilon_u$) pentru beton la nivelul punctelor de măsurare (calculul a utilizat modulul E precizat în tabelul 5.8.). Rezultatele sunt valori medii ale celor trei mărimi pe fiecare linie de măsurare pe porțiunea cu $M = \text{constant}$.

În timpul încărcării propriuzise, valoarea forței F a crescut de la zero la valoarea admisă. În figura 5.20. se prezintă comparativ, pentru grinzile încercate, variația deformațiilor betonului sub acțiunea încărcărilor (valori măsurate).

Deformațiile cauzate de precomprimare, contracție și curgere lentă sunt diferite de la grindă la grindă și nu încep în reprezentarea din figura 5.20. de la $\epsilon=0$.

Începând cu sarcina de fisurare, deformațiile la întindere ale betonului (ϵ_u) cresc cu o rație mai mare decât au crescut în stadiul I. Măsurătorile făcute la nivelul axei longitudinale a armăturii (5 cm de la fibra inferioară) au fost extrapolate pentru nivelul marginii inferioare pentru ca să ofere o apreciere mai exactă a alungirii la întindere a betonului. Pentru sarcinile care au determinat fisurarea, rezultă următoarele alungiri a betonului la întindere :

Grinda	ϵ_{R0} (‰)	ϵ_{RV} (‰)
A1	-0.02	+0.19
A2/1	0	+0.10
A2/2	0	+0.13
A3	+0.13	+0.09

Aceste date arată că atât valorile ϵ_{R0} (totalitatea deformațiilor începând din momentul pretensionării grinzii) cât și deformația betonului începând cu creșterea încărcării, ϵ_{RV} , nu sunt criteriile determinante în ceea ce privește ruperea betonului. Se pare că deformațiile suferite de beton sunt influențate de pretensionare, contracție și curgere lentă deoarece capacitatea de deformare la întindere este influențată de creșterea încărcării. În cazul grinzii A3 (BA) deformațiile calculate corespund deformației de rupere la tracțiune a betonului. Astfel, tensiunile de întindere în beton, calculate din

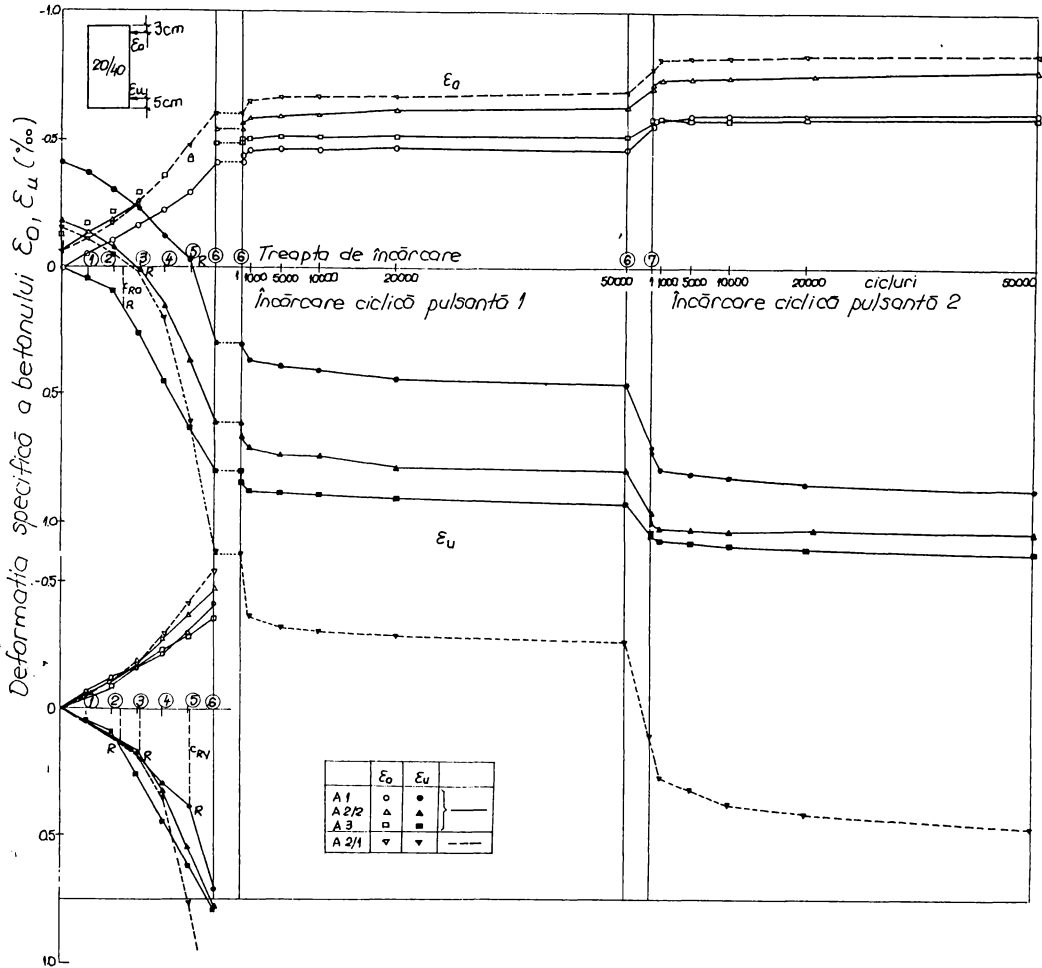


Figura 5.20. [S.4.] Variația deformațiilor betonului sub încărcări.

sarcinile care determină fisurarea (F_R) au ca rezultat valori dispersate (fără greutate proprie). σ_{bR} este tensiunea calculată la marginea inferioară a betonului.

După cum arată comparațiile efectuate între sarcinile de fisurare măsurate F_R cu sarcinile admisibile (exploatare) pentru F_{adm} , din tabelul 5.10, în cazul tuturor grinzilor s-a instalat stadiul II.

Grinda	σ_{bR} [MN/m ²]	F_R [kN]
A1	2.56	50.8
A2/1	1.58	28.1
A2/2	1.72	28.1
A3	3.58	21.2

Sub încărcări dinamice deformarea betonului în zona comprimată, pentru grinzile încercate, avea valori apropiate. Diferență de 10 % se constată pentru grinda A3 datorită capacității portante reduse. Deformațiile betonului măsurate pe fibra întinsă ϵ_u sub încărcări dinamice, fără a se lua în considerare fisurile, se deosebesc încă considerabil atunci când se atinge valoarea sarcinii admisibile (treapta de încărcare 6), deoarece diferitele tensiuni din pretensionare au efect asupra deschiderii fisurilor. Situația se schimbă la creșterea sarcinii în cazul experimentului de încărcare 2 (de la $0.5 F_{adm.}$ la $1.17 F_{adm.}$) când deformațiile la întindere se aseamănă, atingând valori apropiate. Cea mai consistentă creștere a deformațiilor se produce în cazul primului experiment de încărcare (între $0.5 F_{adm.}$ și $F_{adm.}$) după care rata creșterii scade. Experimentele au fost oprite la 50000 de oscilații chiar dacă deformația într-o măsură redusă, creștea. Pentru grinda cu cel mai mic procent de armare treapta de încărcare 6 reprezintă de 1.4 ori sarcina de exploatare, iar treapta de încărcare 7 reprezintă de 1.65 ori sarcina de exploatare. La această grindă, A2/1, deformația betonului ϵ_u crește mai mult și atinge în treapta de încărcare 7, valori la care în armătura obișnuită și în cea tensionată s-a depășit granița proporționalității.

Săgețile grinzilor la mijlocul deschiderii sunt reprezentate în figura 5.21.

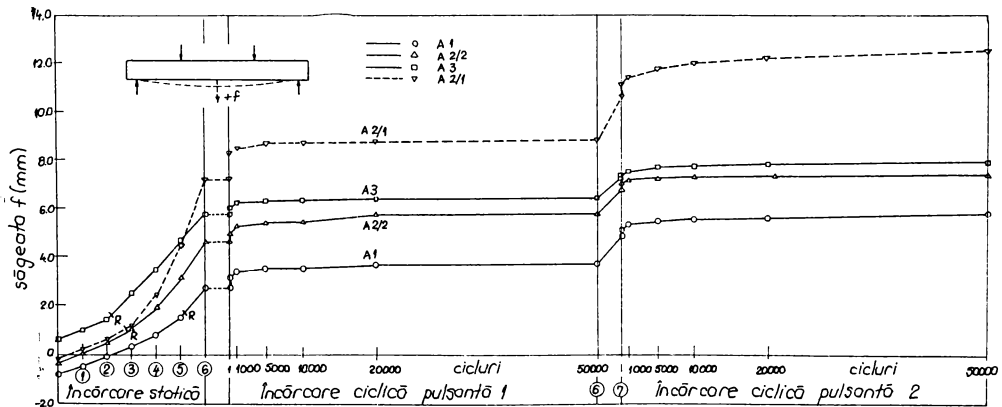


Figura 5.21. [S.4.] Variația săgeților la mijlocul deschiderii grinzilor.

Ca punct de referință, măsurătoarea zero a fost efectuată înainte de pretensionarea și încărcarea grinzii cu G_0 . La începutul experimentului cu încărcări statice, grinzile A1, A2/1 și A2/2 prezentau contrasăgeți. Săgețile măsurate la grinzile din BPP indică o mai mare rigiditate la încovoiere decât a grinzii din BA (A3).

Fisurarea s-a produs la nivele diferite de încărcare F_R , fiind influențată de gradul de precomprimare. Tensiunea de întindere în beton, calculată în momentul fisurării ar trebui să coincidă în cazul grinzilor cu aceeași rezistență la încovoiere și cu același regim de tratare a betonului după turnare. Tensiunile calculate nu sunt însă egale, cele două grinzii A2 prezentând cele mai mici valori ale tensiunii în beton la fisurare.

În zona de încovoiere, formarea fisurilor a fost caracterizată de următoarele:

5.40.

- la grinda A1, fisurile au avut aproape aceeași înălțime și au fost repartizate în mod egal pe lungimea de încovoiere (între forțe - 1,5 m) având o traiectorie aproape dreaptă;
- la grinda A2/2 fisurile au fost ceva mai înalte decât la A1, dar la nivelul liniei de măsură I majoritatea s-au ramificat astfel încât acolo, mărimea deschiderii medii a fost mai mică decât la nivelul liniei de măsură II situată deasupra;
- la grinda A3 a lipsit precomprimarea care previne o deschidere prematură a fisurilor; s-au distins două tipuri de fisuri:
 - fisuri distanțate la aproximativ 25 cm, formate prin încărcări mici, care spre sfârșitul încărcării s-au deschis aproape toate până la 2/3 din înălțimea grinzii;
 - între aceste prime fisuri s-au format una sau două fisuri noi până la 1/3 din înălțimea grinzii;
- la grinda A2/1 fisurile urcă cel mai mult și în plus în dreptul nivelului I de măsurare s-au format fisuri secundare orizontale, în lungime, cauza fiind aceea de supraîncărcare; grinda A2/1 a fost, din acest motiv, eliminată din această privire comparativă.

Pentru comparație se prezintă înălțimea pe care fisurile s-au deschis la treptele de încărcare 6 și 7 :

	A1	A2/2	A3	A2/1
Treapta 6	0.54 h	0.68 h	0.68 h	0.73 h
Treapta 7	a.64 h	0.76 h	0.74 h	0.80 h

În zonele de forfecare (cuprinse între reazeme și forțe - câte 90 cm) s-au prevăzut etrieri $\varnothing 8$ la 15 cm pentru toate grinzile, formarea diferită a fisurilor datorându-se influenței favorabile a pretensionării ce reduce forța tăietoare (forma parabolică a traseului cablurilor cu ridicare în apropierea reazemelor).

În figura 5.22. sunt reprezentate valori medii w_m , valori maxime max_w și suma mărimii deschiderii fisurilor Σ_w pentru zona de încovoiere a grinzilor A1, A2/2 și A3.

La încheierea primei serii de încărcări ciclice pulsante de durată s-au înregistrat următoarele :

la grinda A1 : $max_w=0.10$ mm

la grinda A2/2 : $max_w=0.14$ mm

la grinda A3 : $max_w=0.18$ mm

La creșterea încărcării ce a urmat și la încărcările ciclice pulsante de lungă durată (a doua și ultima serie), la grinda A1 s-au deschis cu preponderență fisurile existente deja, în timp ce la grinzile A2/2 și A3 multe fisuri s-au ramificat formându-se noi fisuri (deschiderea maximă crescând foarte puțin). Din această cauză la grinda A2/2 precomprimată parțial, s-au măsurat cele mai mici valori maxime ale mărimii deschiderii fisurilor :

la grinda A1 : $max_w=0.21$ mm

la grinda A2/2 : $max_w=0.17$ mm

la grinda A3 : $max_w=0.21$ mm

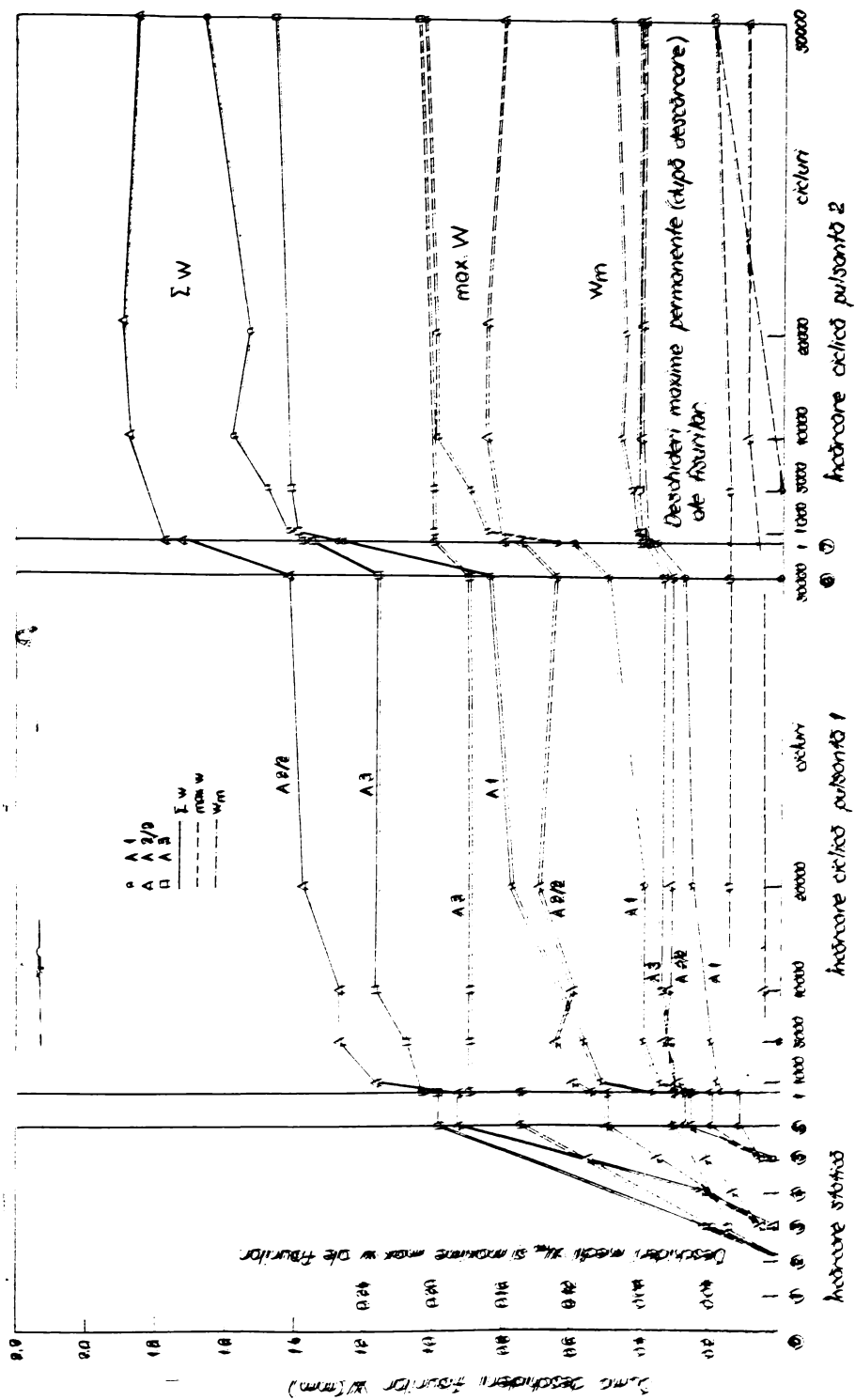
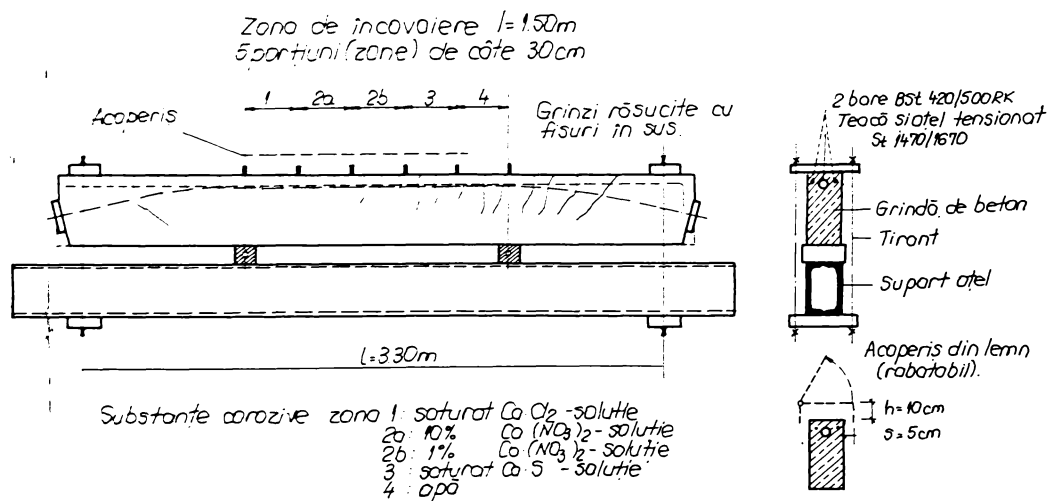


Figura 5.22 [5.12] Mărimile deschiderii fibrurii la nivelul armăturii.

Grinzile din BPP prezintă și avantajul închiderii mai puternice a fisurilor după descărcare. Cele mai mari deschideri ale fisurilor în zona de încovoiere după descărcarea grinzilor au avut următoarele valori :

Grinda	Mărimea deschiderii fisurilor după descărcare [mm]	
	după prima serie de încărcări ciclice pulsante	după a doua serie de încărcări ciclice pulsante
A1	0	0.04
A2/2	0.01	0.02
A3	0.03	0.04

După încheierea încercărilor la încărcarea până acum prezentată (fig. 5.18.), cele patru grinzi au fost depozitate timp de aproape un an în stare de încărcare și au fost supuse unei încercări la coroziune de scurtă durată. Grinzile au fost sprijinite invers, punctele de aplicare a încărcărilor din etapa încercărilor mai sus prezentate au devenit puncte de reazem, iar reazemele inițiale din extremități au devenit puncte în care prin intermediul unor tiranți s-a acționat provocând aceeași stare de deformare care a existat la treapta de încărcare 7 (fig. 5.18.). Modul de așezare a grinzilor pe timpul încercărilor la coroziune este prezentat în figura 5.23.



Încovoiere și deschideri ale fisurilor corespunzătoare treptei de încărcare 7.

Figura 5.23. [S.4.] Poziția grinzilor pentru încercarea la coroziune

Partea de sus, fisurată, a fost protejată împotriva impurităților (polen, frunze). Deschiderea maximă a fisurilor pentru grinzi A1, A2/2, A3 avea valoarea de $max_w=0.2$ mm, iar la grinda A2 /1 $max_w=0.55$ mm. Sub influența variațiilor de temperatură, tiranții de la extremitățile grinzilor au suferit deformații de alungire și

scurtare producând o variație a deschiderii fisurilor de $\Delta w = \pm 0.02$ mm, nu mai mare decât variația înregistrată pentru același nivel de solicitare la repetate cicluri de încărcare-descărcare.

Incălcările de coroziune au fost planificate cu o durată de un an, considerată scurtă pentru un studiu de durabilitate. Din acest motiv s-a procedat la o intensificare a condițiilor de corodare. Zona de moment încovoietor constant (1.5 m între punctele de rezemare în această fază a experimentului) a fost împărțită în cinci compartimente de 30 până la 50 cm lungime fiecare, figura 5.23., cuprinzând fiecare minimum trei fisuri rezultate din încovoiere. În compartimentele astfel stabilite s-a aplicat suprafețelor fisurate de beton un tratament cu soluțiile mai jos precizate, de două ori pe săptămână (în total de 110 ori în 380 de zile):

- compartimentul 1 : soluție saturată CaCl_2 (clorură de calciu),
- compartimentul 2a : soluție 10 % $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (168.1 g azotat de calciu în 1000 g apă),
2b : soluție 1 % $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (14.6 g nitrat de calciu în 1000 g apă),
- compartimentul 3 : soluție saturată CaS (sulfură de calciu),
- compartimentul 4 : aeraj liber și umezire suplimentară cu apă.

Soluțiile pătrund repede prin fisuri, iar o parte se scurg datorită porozității, astfel că după o oră de la umezire suprafața betonului era uscată. Consumul de soluții la diferitele procedee de coroziune poate fi urmărit în tabelul 5.11.

Depunerile care ar fi putut obtura fisurile au fost îndepărtate periodic la intervale de 80 zile prin spălare.

Tabelul 5.11.

Procedeu de coroziune	Consum total [cm ³]	Suma înălțimilor fisurilor [cm]	Procedeu de măsurare a consumului [cm ³] pe număr zile de testare și înălțimea fisurii [cm]
Soluție CaCl_2	18 692	280	0.61
Soluție 10 % $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	17 224	270	0.58
Soluție 1 % $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	16 751	250	0.61
Soluția CaS	16 461	250	0.60
Întemperii apă	25 592	287	0.81

În paralel cu grinzile au fost expuse și tratate prin același procedeu de coroziune bucăți de armătură $\varnothing 7$ mm St1470/1670 și țevă de acoperire (teacă).

Observațiile făcute în timpul testelor au arătat că atât la armătură cât și la teacă coroziunea s-a produs aproximativ la fel. Chiar de la început, după prima udare cu soluție de CaCl_2 , oțelul a început să ruginească. La 23 zile, adică după 10 udări, toate barele prezintă semne de coroziune, dar cu o comportare distinctă funcție de diferenții agenți. La 380 zile de la începutul experimentului, barele de oțel erau acoperite de produșii coroziunii care pe alocuri aveau forma de solzi. Teaca tratată cu soluția de CaCl_2 a prezentat într-un loc o ruptură. În celelalte zone nu apăreau urme de rugină. Stabilirea gradului în care armătura pretensionată a fost afectată, de coroziune, prin simpla apreciere după aparențe a suprafețelor este imposibilă.

Suprafețele de beton tratate chimic au suferit modificări ale culorii în următorul mod :

- în nuanțe de gri și verde în porțiunile 1 și 2a,
- în aproape alb (prin depunere de CaS) în porțiunea 3,
- schimbări nesemnificative ale culorilor în porțiunile 2b și 4.

În lungul fisurilor de pe suprafețele laterale ale grinzilor, primele pete de rugină au apărut prin prelingere după primele 10 zile, mai intens în zona 1(cu clorură) și mai slab în zona 4(cu apă). La suprafețele superioare rugina a apărut pentru prima dată după 20 zile la grinda A2/2. Surprinzător a fost faptul că erau vizibile numai puține urme de rugină la grinzile A3(cu cea mai mică acoperire cu beton a barelor de $\varnothing 16$ mm) și A2/1(cu deschiderea fisurilor de până la 0.44 mm, dar cu acoperire cu beton mare).

La toate grinzile s-au observat și fisuri orizontale de aproximativ 30 cm lungime, cauzate de efectul expansiv al coroziunii (formarea ruginii).

Experimentul a fost oprit după 380 zile de expunere, atunci când teaca expusă paralel cu grinzile, a fost distrusă prin coroziunea produsă și întreținută de CaCl_2 .

Descărcarea grinzilor și detensionarea armăturilor s-a făcut în etape, iar armătura a fost dezvelită prin cioplirea acoperirii cu beton.

S-a urmărit și apariția și producerea fenomenului de carbonatare a betonului. A fost utilizată soluția de 1 % fenolftaleină cu ajutorul căreia s-a stabilit că la suprafața de beton aflată în contact cu exteriorul de 570 zile carbonatarea a pătruns pe 2 mm în adâncime, iar la suprafața de beton rezultată prin fisurare în urmă cu 390 de zile nu s-a produs carbonatarea.

Analiza armăturilor dezvelite arată că la grinzile A1, A2/2, A3 unde mărimea deschiderii fisurilor era de până la 0.2 mm s-au produs coroziuni prin intensă ruginire în porțiunea 1(cu clorură). În porțiunea 2b (cu nitrat) s-au găsit alte două locuri mai mici ruginite. Etrierii, pe lungimea brațului aflat în zona întinsă și în dreptul unei fisuri, au fost corodați, mai tare în porțiunea 1 și mai slab în porțiunea 4. La grinda A2/1 cu deschideri de fisuri de până la 0.55 mm, oțelul nepretensionat și tecile au fost afectate în măsură mai mare în porțiunea 1 (teaca a fost în două locuri complet roasă de rugină) și mai puțin în celelalte porțiuni unde local au apărut suprafețe ruginite.

Starea armăturilor pretensionate s-a putut analiza doar după secționarea pe lungime(după generatoare) a tecilor de la grinzile A1, A2/2 și A2/1(tecile 2,5 și 11). Inceputuri de rugină s-au găsit în locurile unde din cauza lipsei mortarului de injecție armătura pretensionată făcea atingere cu teaca. Nu s-a putut constata dacă fisurile pornite de la suprafața betonului continuau și prin mortarul injectat în teacă.

La grinda A2/1 s-au găsit patru puncte corespunzând porțiunii 1 tratate cu CaCl_2 în care atacul coroziv s-a produs foarte tare(cu adâncimi cuprinse între 0.12 și 0.75mm) asupra armăturii pretensionate.

Analiza roentgenofluorescentă a permis următoarele constatări, care se urmăresc împreună cu tabelul 5.12. [S.4.] :

- dintre substanțele corozive doar soluția de CaCl_2 a pătruns până la armătura pretensionată străbătând prin fisurile având mărimea deschiderii între 0.2 și 0.44 mm prin teacă și prin mortarul injectat; în zona fisurilor cu deschidere de până la 0.2 mm

teaca era ruginită în parte dar nu s-au identificat ioni de clor în interiorul ei și nici în oțelul pretensionat;

- sulf a fost găsit doar pe suprafața exterioară a tecii;
- în faza inițială a ruginirii în puncte nu s-au găsit ioni de clor sau sulf pe armătura pretensionată.

Tabelul 5.12.

Denumirea probelor		Locul provenienței probelor				Evidența elementelor	
		grinda	teaca	bara	câmp(zona)	Cl	S
Oțel preten-sionat	1	A2/1	11	1	1	da*	nu
	2	A2/1	11	1	1	da*	nu
	3	A2/1	11	1	2a	nu	nu
	4	A2/1	11	1	2b	nu	nu
	5	A2/1	11	1	3	nu	nu
	6	A2/1	11	1	4	nu	nu
	7	A2/2	5	1	1	nu	nu
	1	A2/1	11	exterior	1	da**	nu
	1	A2/1	11	interior	1	da**	nu
	2	A2/1	11	exterior	3	nu	nu
2	A2/1	11	interior	3	nu	nu	

* , rugină pe adâncime de până la 0.75 mm;

** prin teacă a pătruns rugină.

Bare de oțel extrase din grinzi au fost supuse încercării la întindere. S-a constatat că probele provenind din zona atacului chimic cu clor aveau capacitatea portantă redusă cu aproximativ 14% față de celelalte probe. Rezultatele sunt prezentate în tabelul 5.13.[S.4.].

Tabelul 5.13.

Denumirea probelor	Grinda de unde provine	Diame-trul d_s [mm]	Substan-ța corozivă (zona)	Forța de tracțiune la limita 0.2		Forța maximă		Deformația la rupere	
				$F_{0.2}$ [kN]	%	maxF [kN]	%	A_{10} (%)	%
1/1	A1	10	1	32.6	91	37.8	87	6.0	40
1/2			2a+2b	35.7	100	43.2	99	11.0	73
1/3			3+4	35.8	100	43.6	100	15.0	100
3/1	A1	10	1	33.5	92	38.0	86	6.0	44
3/2			2a+2b	36.5	100	44.2	100	12.5	93
3/3			3+4	36.4	100	44.3	100	13.5	100
4/1	A2/2	16	1	85.8	99	105.5	97	8.8	67
4/2			2a+2b	86.3	100	109.0	100	13.8	105
4/3			3+4	86.4	100	109.0	100	13.1	100
6/1	A2/2	16	1	82.4	97	100.2	94	8.1	72
6/2			2a+2b	85.2	100	106.5	100	12.0	107
6/3			3+4	85.0	100	106.5	100	11.2	100
10/1	A2/1	12	1	53.0	97	59.2	94	6.3	61
10/2			2a+2b	54.4	100	62.4	100	7.1*	68
10/3			3+4	54.4	100	63.1	100	10.4	100
12/1	A2/1	12	1	51.8	96	56.9	90	5.8	50
12/2			2a+2b	54.1	101	62.9	100	10.4	89
12/3			3+4	53.7	100	63.2	100	11.7	100

* rupere în locul de coroziune prin ruginire.

Observație : comparațiile s-au făcut raportând rezultatele obținute, la valorile corespunzătoare porțiunilor (zonelor) 3 și 4 considerate cu 100%.

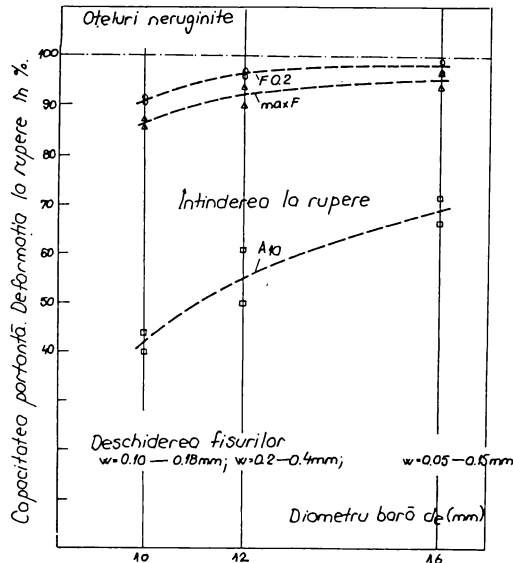


Figura 5.24. [S.4.] Diminuarea capacității portante și a deformației la rupere a oțelului beton datorită coroziunii cu clor.

Armătura pretensionată extrasă din grinzi a fost încercată la oboseală deoarece s-a considerat că acest test pune foarte bine în evidență efectul coroziunii. Și aici concluzia a fost că cel mai periculos agent coroziv dintre cei testați a fost soluția de CaCl_2 , a cărei acțiune corozivă a condus la prima cedare. Ceilalți agenți corozivi nu au avut o influență corozivă mai mare decât a avut-o umezirea oțelului pretensionat aflat în mortarul injectat. Rezultatele încercării la oboseală sunt mai bune chiar pentru probele extrase din porțiunile 2a, 2b, 3 și 4 ale grinzii A2/1 având cele mai mari deschideri ale fisurilor. În figura 5.25. sunt prezentate grafic rezultatele încercării la oboseală.

Principalele concluzii care se desprind din cercetarea experimentală prezentată mai sus [S.4.] sunt următoarele :

- (i) Carbonatarea betonului s-a produs pe o adâncime cuprinsă între 2 și 5 mm și nu de o parte și de alta a fisurilor pe adâncime și nici în lungul armaturilor,
- (ii) Cel mai afectat de coroziune a fost oțelul-beton. Coroziunea provocată cu soluția pe bază de clor a provocat reducerea capacității portante cu 14% și deformației de rupere cu 60%. Au fost afectate mai puternic barele cu diametrul mai mic ($\phi 10$ mm) decât barele cu diametrul mare ($\phi 16$ mm). Armătura care a suferit atac chimic cu soluții de

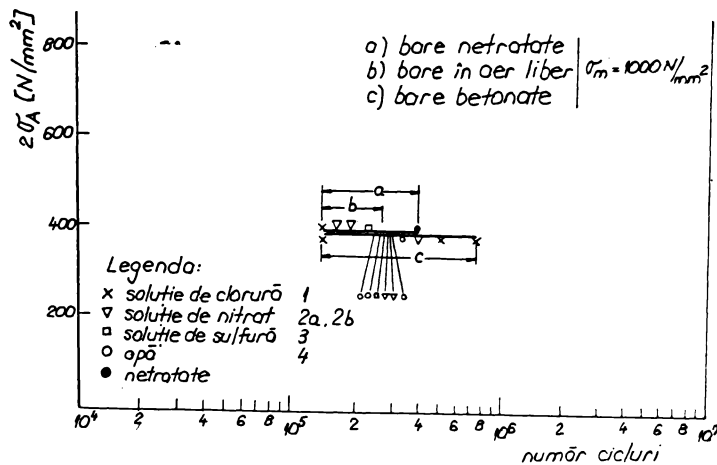


Figura 5.25. [S.4.] Rezultatele încercării la oboseala.

nitrat și sulfură sau a fost expusă intemperiilor, nu a suferit cadere semnificative de rezistență.

(iii) Teaca a fost găurită de rugină în zonele cu fisuri în beton cu deschidere mare (pâna la 0.44 mm) și aflate sub acțiunea soluției de clorura. În zonele cu fisuri având deschidere de până la 0.2 mm, teaca a ruginit numai la suprafața spre exterior. Teaca aflată pe porțiunile tratate cu ceilalți agenți chimici, a suferit doar superficiale atacuri de coroziune.

(IV) Deteriorarea măsurabilă a oțelului pretensionat până la o adâncime de 0.72 mm prin coroziune și o scurtă durată de existență în încercarea la oboseala au fost observate numai la armătura provenind din tecile ruginite total (gaurite). Oțelul pretensionat extras din zonele tratate cu celelalte substanțe și cu fisuri în beton cu deschideri de până la 0.2 mm, nu a prezentat scăderi de secțiune sau rezistență.

(V) În punctele de atingere între armătura pretensionată și teaca, în tecile incomplet umplute, și sub benzi izolante (folosite din motive tehnice) au fost detectate pe suprafețele armăturilor pretensionate începuturi de ruginire, dar nu în mod măsurabil.

Autorul a prezentat într-o formă ceva mai extinsă acest program experimental [S.4.] deoarece îl consideră cuprinzător din punctul de vedere al obiectivelor, dar și din acela al analizei și interpretării multiplelor rezultate culese.

5.3. Programul experimental propriu.

Cercetările experimentale propuse de autor au fost programate să se desfășoare în mai multe etape, acoperind în timp o perioadă de ordinul a 20 ani. Precedentul fusese creat la Facultatea de Construcții din Timișoara prin cercetările la care s-a făcut referire [C.15.] în paragraful 5.2.

Elementele experimentale spre care conducătorul științific și interesele întreprinderii de Prefabricate din Beton (IPB) Timișoara l-au orientat pe autor au fost grinzi din beton precomprimat cu precomprimare parțială cu secțiune variabilă de formă T, având armătura preântinsă de tip TBP cu sau fără armătură nepretensionată complementară cu profil periodic de PC52.

Programul experimental propus cuprinde următoarele trei etape de cercetare, importante :

- o primă etapă numită inițială, având o relativ redusă întindere în timp,
- o a doua etapă numită intermediară, cu o considerabil mai mare durată de desfășurare în timp,
- o a treia etapă numită finală, comparabilă cu prima în ceea ce privește durata.

Etapa inițială a fost în asemenea mod gândită, încât să poată constitui un studiu experimental de sine stătător, cu obiective, analize, interpretări și concluzii proprii, fără posibilități de influențare dinspre etapele care trebuiau să-i urmeze. Etapa inițială s-a constituit într-un studiu experimental complex, al comportării sub sarcini a unor grinzi din BPP, asigurând în același timp condițiile necesare (prin prefisurare) desfășurării următoarei etape, cea intermediară. Ca durată de desfășurare etapa inițială poate fi caracterizată ca încercarea de scurtă durată a unei grinzi.

Etapa intermediară a avut și are în continuare ca obiectiv cercetarea experimentală asupra durabilității elementelor din BPP și este în legătură cu prima etapă prin aceea că aceasta i-a asigurat parte a condițiilor specifice necesare cercetării (elementele respectiv prefisurarea acestora). Ca durată de desfășurare etapa intermediară necesită o perioadă lungă de timp de ordinul anilor și chiar a zecilor de ani.

Etapa finală ar putea relua încercarea în acord cu programul, după scurgerea unei perioade de cel puțin 20 ani de la încercarea din etapa inițială a cercetării, repetând-o cu scopul observării influenței factorului timp și mediu asupra comportării sub sarcini (comparând rezulatele obținute la cele două încercări pentru fiecare grindă).

Prezenta lucrare prezintă etapa inițială și etapa intermediară (parțial) cu concluziile complete pentru cele două etape.

5.3.1. Elemente experimentale.

Programul experimental propriu a constat din testarea, analizarea și interpretarea rezultatelor pentru grinzi din beton precomprimat cu precomprimare parțială având 9 și 15 m deschidere, proiectate ca grinzi principale transversale în alcătuirea acoperișurilor de hale și depozite parter, cu învelitoare din azbociment și cu transport tehnologic la sol. Grinzile au fost concepute și calculate pe schema de simplă rezemare, cu o denivelare a reazemelor corespunzătoare unei pante de 15 % și solicitate la încărcări

uniform distribuite echivalente încărcării din reacțiunile panelor pe care învelitoarea reazemă, figura 5.26. Pentru fiecare din cele două deschideri precizate s-au încercat câte două grinzi realizate în modul următor :

- câte o grindă proiectată și realizată în variantă constructivă de BPP cu precomprimare limitată (PL) utilizând armătură pretensionată de tip TBP și având indicativul GU9-6a respectiv GU15-6c;

- câte o grindă proiectată și realizată în varianta constructivă de BPP cu precomprimare moderată (PM) utilizând armătură pretensionată preântinsă de tip TBP și armătură nepretensionată complementară de tip PC52 și având indicativul GU9-6am respectiv GU15-6cm.

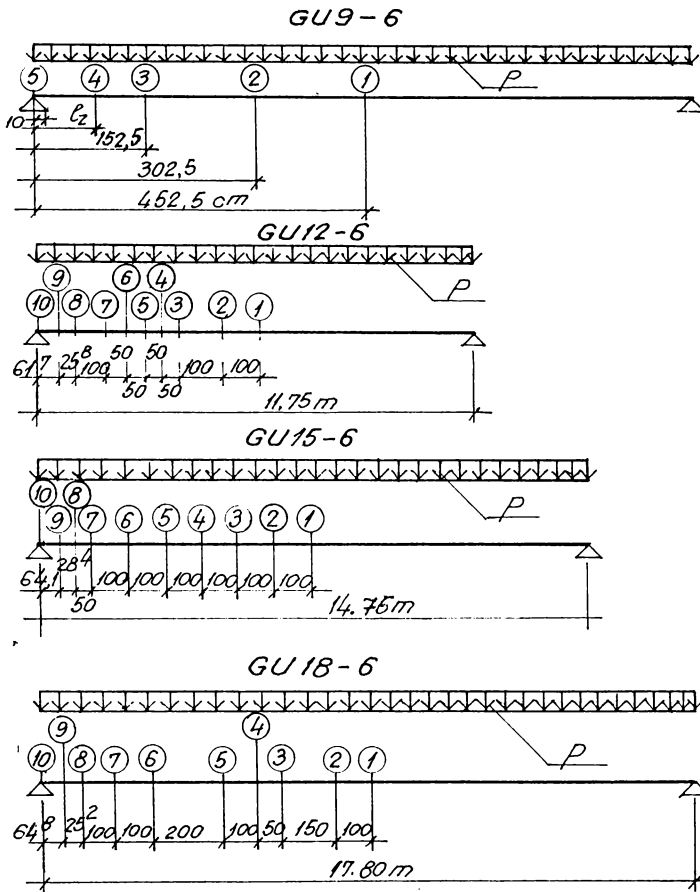
Grinzile cu precomprimare limitată (PL) de tipul GU9-6a și GU15-6c au fost realizate după proiectul IPCT cu numărul 5437, în tipare metalice autoportante și beton Bc40 (B500). Grinzile cu precomprimare moderată (PM) de tipul GU9-6am și GU15-6cm au fost realizate cu aceeași calitate de beton, în aceleși tipare, dar după un proiect propriu. Reproiectarea a pornit de la datele luate în considerare la grinzile cu PL și s-a finalizat prin renunțarea la o parte din armatura pretensionată (2TBP respectiv 3TBP) și înlocuirea ei cu armătură nepretensionată complementară de tip PC52 ($2\phi 20 \text{ mm} + 2\phi 10 \text{ mm}$ respectiv $3\phi 20 \text{ mm} + 2\phi 16 \text{ mm}$). Reproiectarea și implicit înlocuirea unei părți a armăturii pretensionate cu armătură nepretensionată complementară s-a făcut cu condiția păstrării aceleiași capacități portante pentru ambele soluții constructive adoptate (PL respectiv PM), figura 5.27.

În tabelul 5.14., 5.15., figura 5.26. și figura 5.27. sunt prezentate principalele caracteristici care au stat la baza calculului.

Soluțiile de armare adoptate pentru grinzile din BPP cu PM (GU9-6am și GU15-6cm) prezentate în figurile 5.28. și 5.29. asigură centrului de greutate a secțiunii totale de armătură nepretensionată complementară A_d poziția mai apropiată de fibra inferioară de beton (solicitată la eforturi unitare de întindere) decât cea a centrului de greutate al secțiunii totale de armătură pretensionată A_p . Amplasarea unor bare de oțel făcând parte din armatura nepretensionată A_n , pe un rând având în secțiunile transversale ale grinzilor o poziție situată sub nivelul celui mai de jos rând de bare pretensionate, a fost avută în vedere la proiectarea și alcatuirea elementelor experimentale din BPP cu PM și armare mixtă cu scopul asigurării unei mai bune comportări a acestora în procesul fisurării. O a doua măsură luată la proiectarea și alcătuirea acestor elemente, cu scopul asigurării unui mai bun control al fisurării în raport cu acela al elementelor din BPP cu PL, a fost repartizarea armăturii nepretensionate pe înălțimea secțiunii transversale. Bare profilate din oțel de tipul PC52 au fost dispuse în grinda GU15-6cm astfel încât să urmărească pe înălțimea secțiunii transversale dispunerea barelor constituind armatura pretensionată și pe cât a fost posibil să o încadreze.

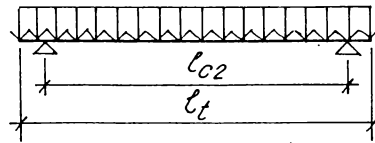
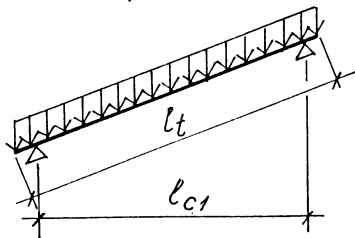
Modificările făcute în urma reproiectării și a execuției la grinzile din BPP cu PL în scopul realizării grinzilor din BPP cu PM și armare mixtă, mai cuprind în afara celor mai sus precizate următoarele :

- renunțarea la câte două bare prevăzute în fiecare zonă de capăt a celor două grinzi (la GU9-6a marca 2 - $2\phi 8$ PC52 și marca 3 - $2\phi 8$ PC52 având împreună

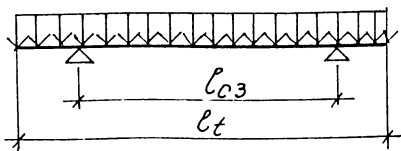


a. in exploatare

b. la depozitare



c. la transport



$g.p.$ - greutate proprie element
 P_{min} - încărcare permanentă
 minimă (greutate proprie
 pane din beton precomprimat)

Fig. 5.26 Scheme statice pentru grinzile calculate și încercate.

GU 15-6

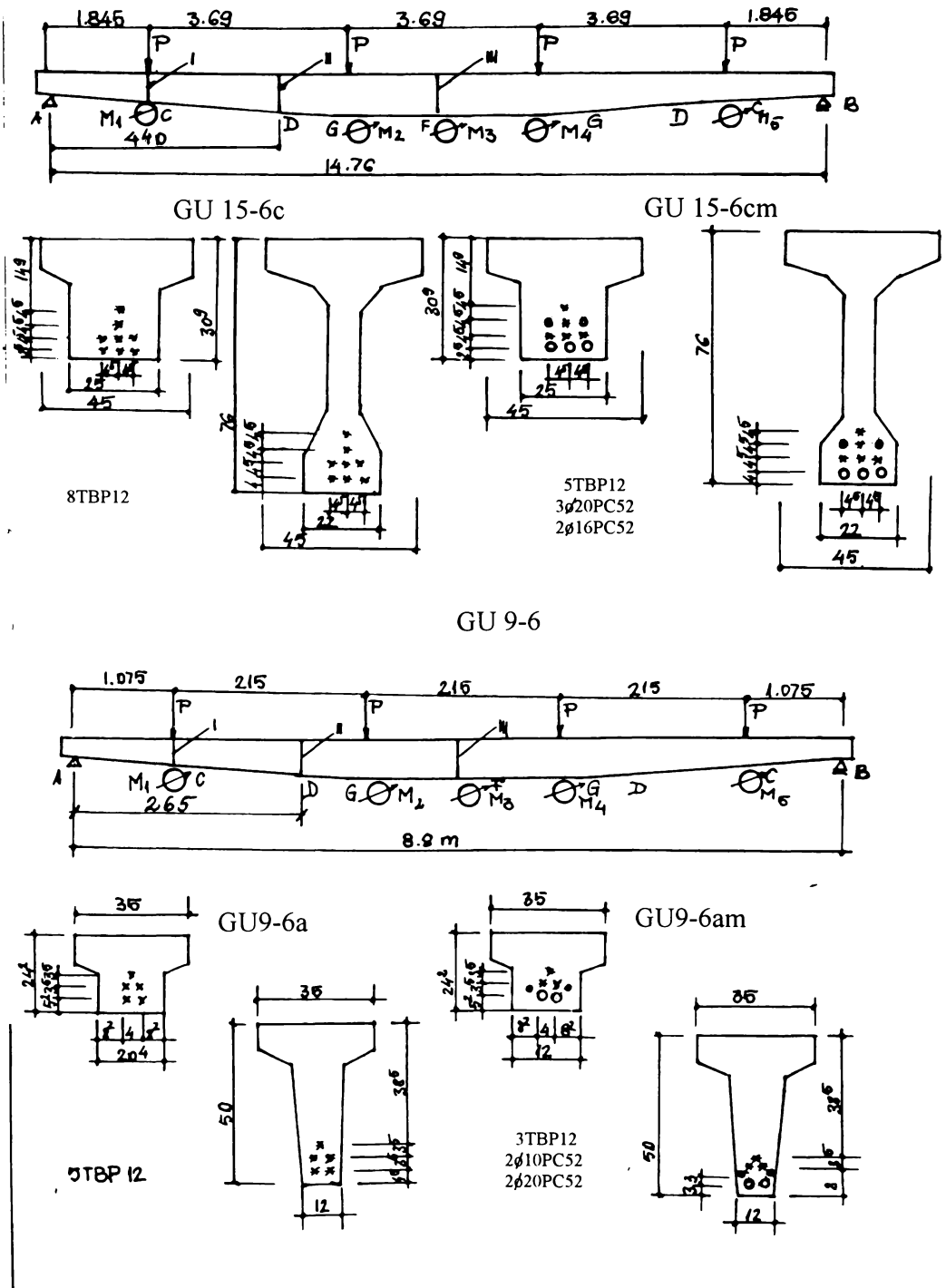


Fig. 5.27 Sectiuni transversale si mod de incarcare la incercare

Tabelul 5.14.

Indicativ	Varianta	Greutatele element [t]	Volum beton Bc40	Armătura de precomprimare	Încărcări uniform distribuite exclusiv greutatea proprie [t/m]			Consum de oțel [kg]					
					P_{1cap}^*	P_{2adm}^{**}	P_{3cap}^{***}	TBP12	STNB	OB37	PC52	Laminare	Total
GU9-6	a	1.89	0.756	5TBP12	0.94	1.264	1.710	33.60	35.14	20.06	11.39	7.85	108.04
	am			3TBP12				20.16	35.14	20.06	67.74	7.85	150.95
GU15-6	c	5.00	2.00	8TBP12	0.780	1.080	1.440	89.60	68.42	27.45	10.52	7.85	203.84
	cm			5TBP12				52.50	68.42	48.31	165.02	7.85	342.10

Tabelul 5.15.

Indicativ	Varianta	Secțiunea											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9			
GU9-6	a	3.796	3.859	4.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GU15-6	c	22.09	21.68	20.47	18.44	15.5968	11.94	7.47	4.93	3.68			
GU9-6	a	5.336	5.488	5.055	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GU15-6	c	29.38	28.83	27.20	24.50	20.73	15.87	9.93	6.55	4.88			
GU9-6	a	16.743	15.015	10.104	8.112	-	-	-	-	-	-	-	-
GU15-6	c	39.21	38.49	36.33	32.72	27.68	21.19	13.26	8.75	6.53			

greutatea de 2.73 kg, iar la grinda GU15-6c marca 4 - 2ø8 PC52 și marca 5 - 2ø8 PC52 având greutatea de 3.6 kg [P.12.]),

- modificarea dispozitivelor de deflectare a armăturilor datorită soluțiilor diferite de armare.

Caracteristicile geometrice ale formei betonului sunt neschimbate pentru cele două soluții constructive atât la perechea grinzilor de 9 m cât și a celor de 15 m deschidere. Betonul prevăzut prin proiectare, a fi utilizat la realizarea grinzilor experimentale a fost B500 (Bc40). Câteva date de interes pentru încercare despre betonul utilizat sunt prezentate în tabelul 5.16.

Tabelul 5.16.

Indicativ	Varianta	Data fabricației	Volum beton [m ³]	Marca (clasa) propusă	R _b pe cub la 28 zile [daN/cm ²]	Perioada de efectuare a încercării de scurtă durată
GU9-6	a	15.07.1986	0.756	B500(Bc40)	456	5-10.09.1986
	am	15.07.1986	0.756	B500(Bc40)	456	15-19.09.1986
GU15-6	c	17.10.1987	2.00	B500(Bc40)	532	15-21.10.1988
	cm	2.11.1987	2.00	B500(Bc40)	447	24.11-1.12.1988

Intervalul de timp scurs de la data fabricației grinzilor și până la data încercării lor, a permis producerea celei mai mari părți a pierderilor de tensiune în armăturile pretensionate provocate de deformațiile de durată ale betonului (contractie și curgere lentă). Unii cercetători consideră aceasta ca pe o condiție ce trebuie respectată în cazurile când se efectuează încercări experimentale pe elemente din beton precomprimat [L.10.], [S.4.].

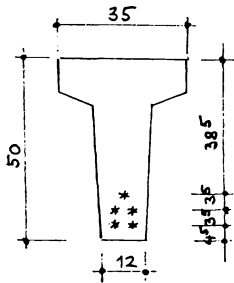
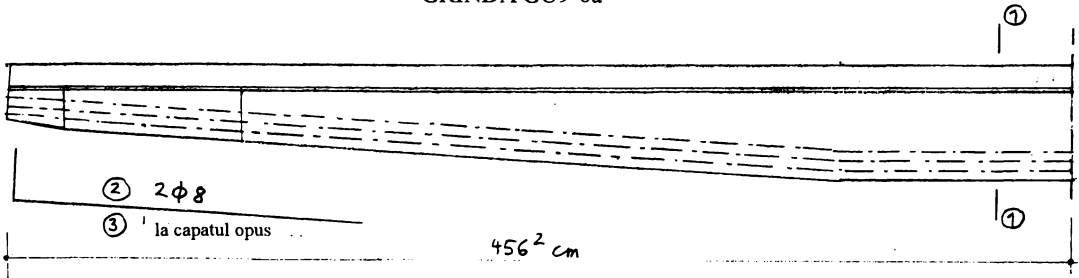
5.3.2. Dispozitivul de încercare.

În vederea efectuării încercărilor din etapa inițială a programului experimental, s-au stabilit scheme statice care să corespundă modului real de solicitare a grinzilor în exploatare (serviciu). Încărcarea uniform distribuită cu care s-a efectuat calculul static în vederea determinării eforturilor necesare proiectării, a fost înlocuită, la toate grinzile cu câte 4 forțe concentrate. Acest mod de încărcare a condus la obținerea unor diagrame de momente încovoietoare care se apropie de diagramele reale, diferențele nedepășind 5% , figura 5.27., figura 5.30. și figura 5.31.

Pe parcursul încercărilor s-au cules date referitoare la următoarele :

- procesul de fisurare,
- evoluția deformatelor grinzilor,
- evoluția deformațiilor specifice ale betonului,
- evoluția deformațiilor specifice ale armăturii.
- nivelul intensității forțelor concentrate care încărcă grinzile.

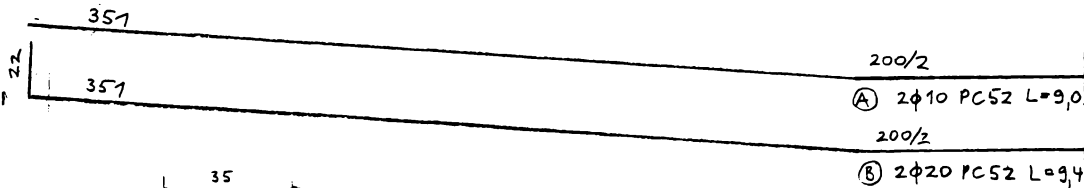
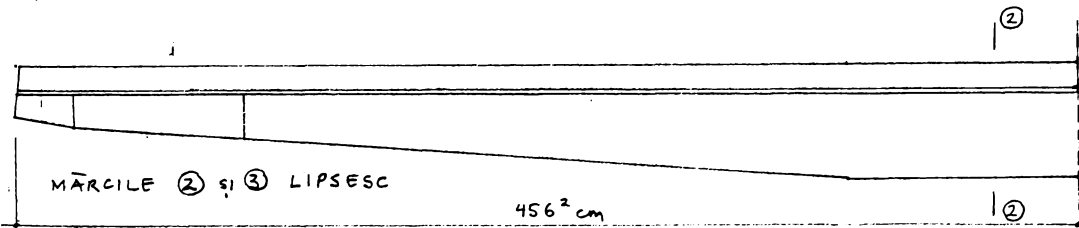
GRINDA GU9-6a



sectiunea 1-1

5TBP12

GRINDA GU9-6am



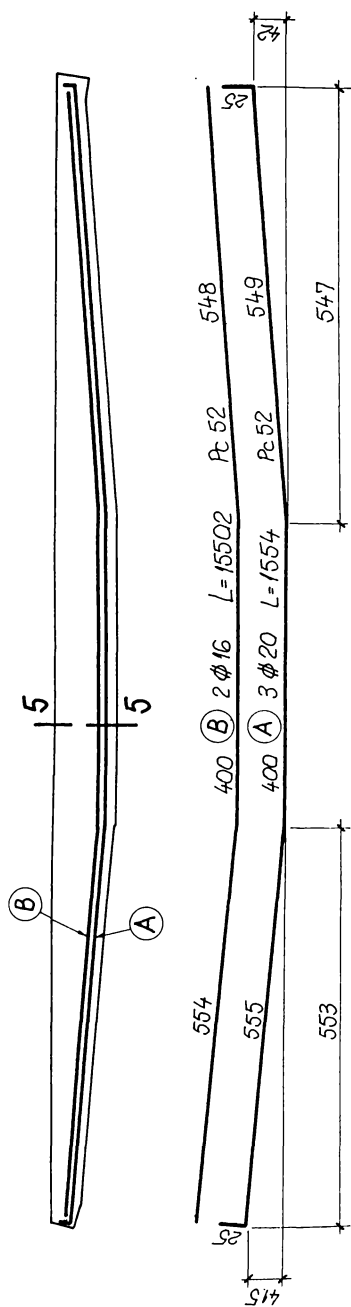
④ 2φ10 PC52 L=9.0

⑤ 2φ20 PC52 L=9.4

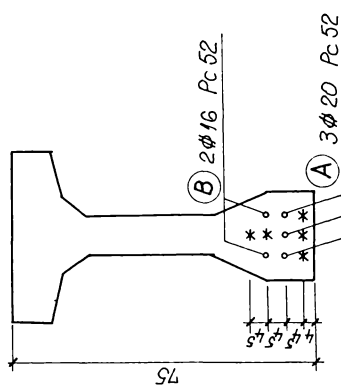
sectiunea 2-2

3TBP12
2φ10PC52
2φ20PC52

Fig. 5.28 Soluția de armare (longitudinala) pentru grinda GU9-6 am



SECTIUNEA 5-5



Armătura longitudinală de rezistență:

5 TBP 12

+

3 ϕ 20 Pc 52 + 2 ϕ 16 Pc 52.

Fig. 5.29. Soluția de armare (longitudinală) pentru grinda GU 15-6 cm.

Aparatele folosite în efectuarea măsurătorilor în vederea obținerii datelor pentru caracteristicile mai sus precizate au fost următoarele :

- în urmărirea procesului de fisurare s-au folosit :

- rigla gradată pentru efectuarea măsurătorilor de distanțe între fisuri și înălțimea fisurilor,

- lupa micrometrică pentru efectuarea măsurării mărimumi deschiderii fisurilor,

- fleximetre de precizie 1 : 10 mm amplasate pe verticala fiecărei forțe concentrate și la mijlocul deschiderii fiecărei grinzi, pentru măsurarea săgeților,

- urmărirea evoluției deformațiilor specifice ale betonului s-a făcut cu :

- tensometrie mecanică utilizând deformetre de tipul microcomparatoarelor (precizie 1 : 1000 mm) amplasate în secțiuni pe fața SUD a grinzilor,

- tensometrie electrică utilizând traductori de 10 cm bază plasați în aceleași secțiuni dar pe fața NORD a grinzilor;

atât microcomparatoarele cât și traductorii electrici au fost plasate pe fețele betonului în dreptul fiecărei armături longitudinale precum și la partea superioară a elementelor;

- urmărirea evoluției deformațiilor specifice ale armăturilor nepretensionate s-a făcut cu tensometria electrică utilizând traductori de 0.5 cm bază, plasați pe bare netensionate în secțiunile de la mijlocul deschiderii grinzilor;

- mărimea intensității forțelor concentrate cu care grinzile au fost încărcate a fost în permanență urmărită prin aparatele existente la instalația hidraulică acționată electric, utilizată la încercare.

În lungul elementelor, secțiunile verticale de plasare a aparatelor tensometrice au fost :

- secțiunea dată de relația :

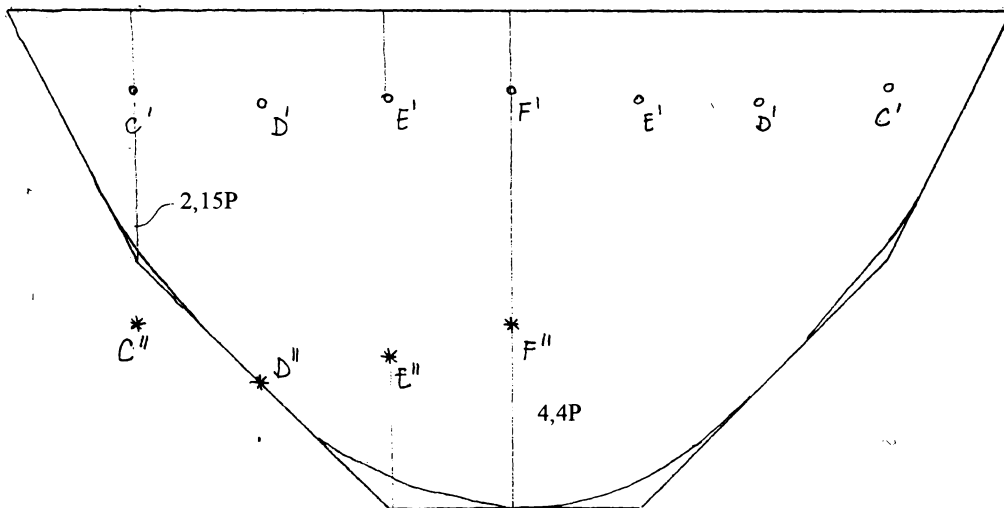
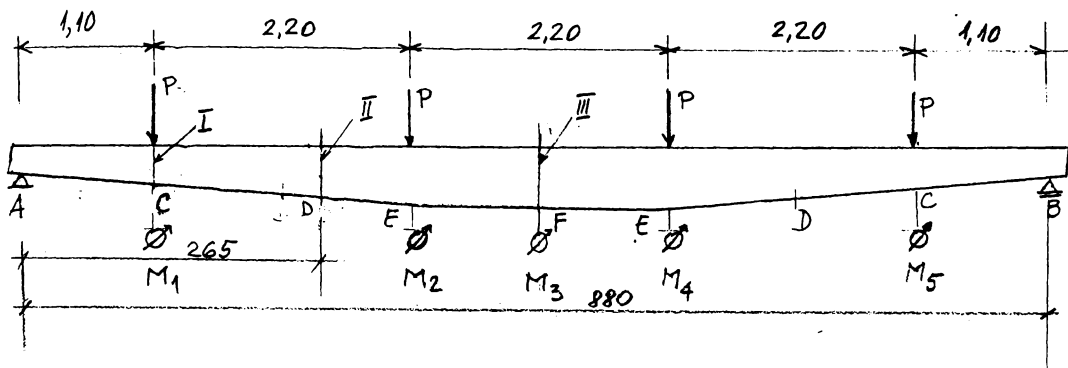
$$x = \frac{-h_{0m} + \sqrt{h_{0m}^2 + h_{0m} \cdot L_g \cdot \operatorname{tg} \alpha}}{\operatorname{tg} \alpha} \quad 5.2.$$

considerând că elementul este realizat cu două pante, rezultând pentru grinda GU9-6 :

$x = 267.5$ cm, iar pentru grinda GU15-6 : $x = 436$ cm. S-au stabilit distanțele de la capătul elementului până la secțiunea verticală căutată ca fiind 265 cm și respectiv 440 cm; în figurile 5.30. și 5.31. este notată cu II;

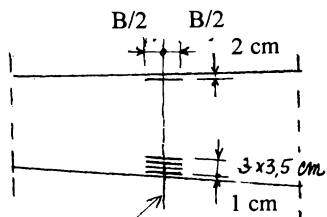
- în secțiunile verticale de la mijlocul deschiderii grinzilor; a fost notată în figura 5.30. și în figura 5.31. cu III;

- în dreptul punctelor C,D,E,F s-au calculat valorile M/bh^2 rezultând punctele C',D',E',F' care se aliniază aproximativ în lungul unei drepte; deoarece punctul D' s-a aflat în vecinătatea punctului determinat de distanța x, punctele C',D',E', F' s-au traslatat proporțional până când D' a ajuns pe curba momentelor încovoietoare în D''; deoarece punctul C'' se află situat în afara diagramei de momente încovoietoare, s-a considerat că acest punct determină o secțiune periculoasă și a fost notat în figurile 5.30. și 5.31. cu I.



NOTA:

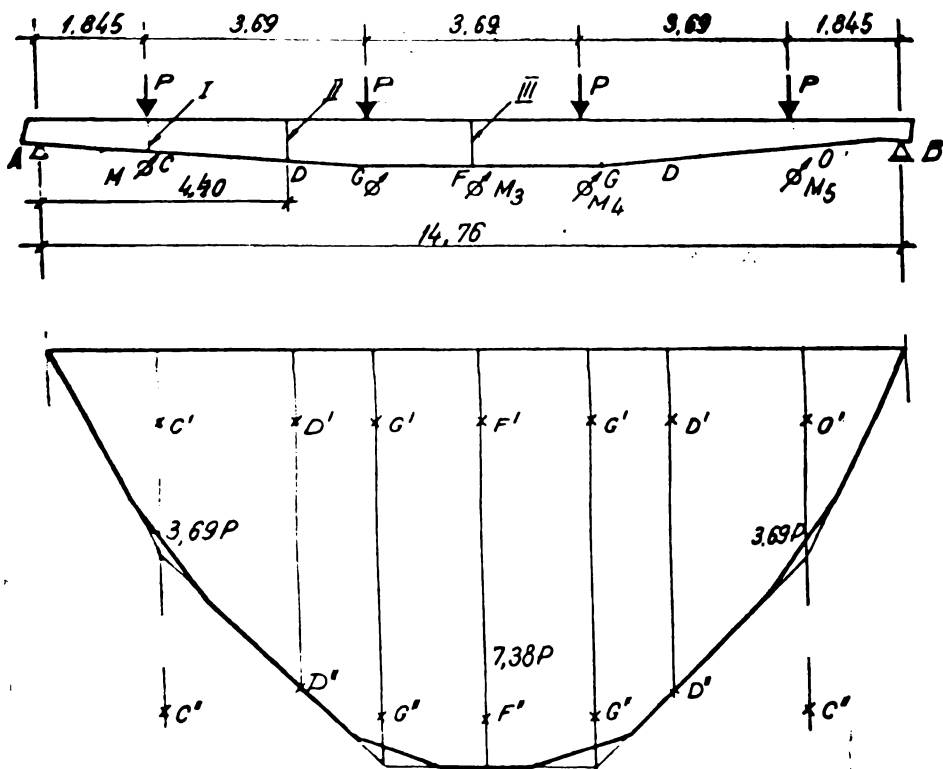
In sectiunile I, II, III sunt montate aparatele pentru deformatii specifice.



sect. I, II, III

B= baza de masurare

Fig. 5.30 Schema de incarcare si amplasarea aparatelor de masura pentru grinda GU9-6



NOTA: ÎN SECȚIUNILE I, II ȘI III SÎNT MONTATE APARATELE PENTRU DEFORMAȚII SPECIFICE

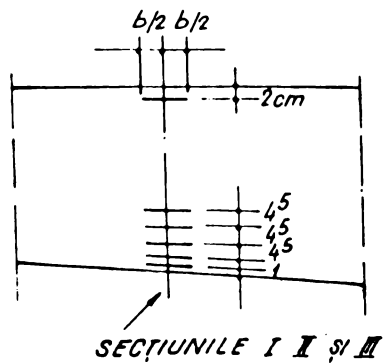


Fig. 5.31 Schema de incarcare si amplasarea aparatelor de masura pentru grinda GU15-6

Modul de plasare al forțelor concentrate și amplasarea aparatelor de măsură la grinzile încercate se prezintă în figura 5.30. și 5.31. Totodată sunt precizate și nivelele la care în I, II, III sunt amplasate pe înălțimea secțiunilor verticale respective aparatele tensometriei electrice și a tensometriei mecanice.

Reazemele grinzilor încercate au fost metalice astfel încât nu au pus problema tasării și au asigurat deschideri concordante cu cele utilizate în calculul de proiectare. A fost asigurat sistemul de simpla rezemare.

5.3.3. Tehnologia încercării.

S-a adoptat pentru grinzile testate o tehnologie de încercare prezentată în cele ce urmează :

- un ciclu încărcare-descărcare pentru stabilirea treptei de exploatare experimentale,
- zece cicluri de încărcare-descărcare pentru a urmări comportarea elementelor sub efectul încărcării de lungă durată și anume :

- închiderea fisurilor pentru elementele din BPP cu PL de tipul GU9-6a și GU15-6c,
- evoluția deschiderii medii a fisurilor de 0.03 mm (maxim 0.05 mm) pentru elementele din BPP cu PM de tipul GU9-6am și GU15-6cm,

- două cicluri de suprasarcină pentru a urmări comportarea elementelor sub efectul încărcării de lungă durată.

O prezentare schematică, principială, a tehnologiei încercării desfășurate în timp, este prezentată în figura 5.32.

La primul ciclu (C1), nivelul treptei superioare de încărcare a fost stabilit prin respectarea condițiilor de fisurare și deformație în exploatare ($\alpha_f \leq 0.1$ mm, $f_{\max} \leq 1/300 \cdot L$). A rezultat încărcarea de exploatare (serviciu) experimentală, P_{exper}^E (M_{exper}^E). La cele zece cicluri (C2, C3, ..., C11), nivelul treptei inferioare, de descărcare, a fost stabilit prin respectarea condițiilor de fisurare (închiderea fisurilor la elementele din BPP cu PL și limitarea deschiderii medii a fisurilor la 0.03 mm dar cu $\alpha_{f\max} \leq 0.05$ mm la elementele din BPP cu PM). A rezultat încărcarea de exploatare de lungă durată, experimentală, $P_{\text{ld exper}}^E$ ($M_{\text{ld exper}}^E$). Etapa inițială a programului experimental a durat, pentru fiecare grindă, câteva zile, așa cum rezulta din tabelul 5.16. S-a lucrat 8-10 ore/zi astfel încât să se ajungă cu un ciclu la treapta de descărcare corespunzătoare lui P_{ld}^E pentru a se putea descărca mai departe până la $P=0$ în vederea întreruperii încercării până în ziua următoare. Ciclurile C12 și C13 numite de "suprasarcină" au avut nivelul treptei superioare de încărcare (maximă) P [daN] mai mare decât forța corespunzătoare încărcării de exploatare totală cu 300 daN pentru grinzile GU9-6, respectiv cu 600 daN pentru grinzile GU15-6. Și pentru aceste două cicluri, descărcarea s-a făcut la nivelul treptei corespunzătoare încărcării de exploatare de lungă durată. A urmat pentru fiecare grindă încercata câte un ciclu, al 14-lea, C14, la care încărcarea aplicată a fost mărită până la valoarea calculată de rupere sau până la valoarea

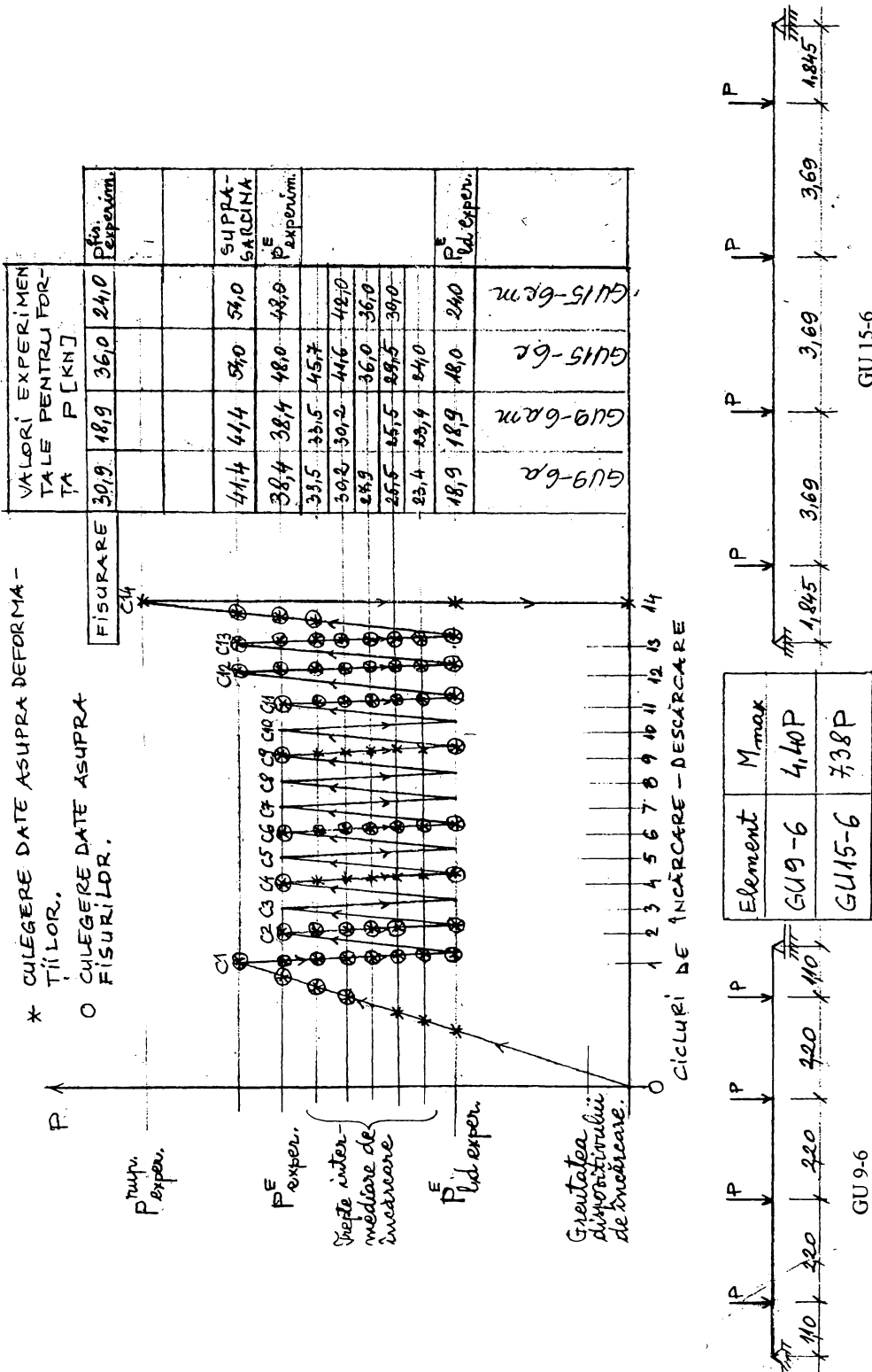


Fig. 5.32 Reprezentarea schematica a tehnologiei încercării.

corespunzătoare atingerii valorii de $1/15 L$ pentru săgeată maximă. Nici una dintre grinzi nu a ajuns la colaps.

În figura 5.32. sunt precizate, pentru grinzi încercate, nivelele principalelor trepte de încărcare și descărcare precum și ciclul și nivelul treptei de încărcare la care s-au efectuat citiri la aparatele de măsură în vederea culegerii datelor experimentale.

5.3.4. Determinarea forței teoretice de rupere și de exploatare.

Determinarea capacității portante a elementelor experimentale s-a făcut în conformitate cu prevederile normelor în vigoare [S.1.]. Valoarea teoretică a forței de exploatare s-a dedus din cea de rupere prin împărțirea acesteia cu coeficientul de siguranță $c=1.8$. Rezultate intermediare și valorile finale ale intensității forței teoretice de rupere P_t^{rup} și a forței teoretice de exploatare P_t^E sunt date în tabelul 5.17. pentru grinzi GU9-6.

Tabelul 5.17.

Element	A_p [cm ²]	A_s [cm ²]	$\sigma_{0.2}$ [daN/cm ²] A_p TBP12 A_s PCS2	α_b	α_s	m_p	σ_{pr} [daN/cm ²]	λ [cm]	μ	ν	P_t^{rup} [t]	P_t^E [t]
GU9-6a	4.5	-	17.000	-	-	0.958	16.284	5.74	0.515	0.544	3.84	3.84
GU9-6âm	2.7	7.85	17.000	3.500	0.088	0.0464	0.959	5.66	0.511	0.544	2.71	3.42

Deoarece grinziile din BPP cu PL supuse încercărilor experimentale au provenit din producția de serie, nu au fost executate epruvete pentru determinarea caracteristicilor betonului la data încercării. În această situație s-au utilizat metode nedistructive pentru determinarea rezistenței betonului la compresiune, iar în funcție de aceasta s-a determinat prin calcul, valoarea rezistenței betonului la întindere.

Pentru grinziile GU15-6, valorile intensității forțelor teoretice de rupere și exploatare sunt prezentate în tabelul 5.18.

Tabelul 5.18.

Element	P_t^{rup} [t]	P_t^E [t]
GU15-6c	7.5	4.2
GU15-6cm	7.3	4.1

La stabilirea treptei experimentale de exploatare P_t^{exper} s-au avut în vedere următoarele condiții :

- deschiderea medie a fisurilor să nu depășească 0.1 mm;
- săgeata maximă să nu depășească $1/300$ din deschidere.

Având în vedere cele de mai sus, în urma primului ciclu de încărcare (C1) s-a ales ca forță experimentală de exploatare la grinda GU15-6, $P_t^{exper}=1.301$ t m adică fiecare din cele 4 forțe concentrate (cu care s-a asimilat încărcarea uniform distribuită) având intensitatea de $P_t^{exper}=4.8$ t. La grinda GU9-6 în urma primului ciclu de încărcare s-a ales $P_t^{exper}=3.84$ t pentru care deschiderea medie a fisurilor a fost 0.076 mm dar cu

fisuri (din 31) având deschideri de până la 0.12 mm; La această treaptă de încărcare a fost respectată și condiția de săgeată, iar valoarea P_{exper}^E a fost apropiată de P_t^E .

Încărcarea, ca de-altfel și descărcarea, în toate ciclurile s-a efectuat în trepte așa după cum în figura 5.32. este prezentat.

Cu excepția tensometriei electrice, culegerea tuturor datelor s-a efectuat prin percepție vizuală directă, motiv pentru care încercările experimentale au durat mai multe zile pentru fiecare grindă.

După terminarea încercărilor programate pentru etapa inițială a experimentărilor, grinzile au fost transportate la locul de depozitare în vederea asigurării condițiilor de desfășurare a următoarei etape de cercetare experimentală asupra durabilității.

5.3.5. Prezentarea rezultatelor încercărilor, analiza și interpretarea acestora.

Pe parcursul desfășurării încercărilor experimentale prin încărcarea grinzilor după tehnologia prezentată la punctul 5.3.3., au fost culese date asupra următoarelor aspecte ale comportării sub sarcină a elementelor :

- fisurare,
- deformații (săgeți și deformații specifice),
- capacitate portantă,
- nivelul treptelor de încărcare.

Cu scopul de a crea o imagine reală asupra volumului mare de date culese, se prezintă în tabelul 5.19. o situație statistică a acestora pe fiecare tip de grindă.

Tabelul 5.19.

Element	Număr de citiri efectuate pentru/la :				
	Determinarea săgeților	Trepte de încărcare-descărcare	Tensometria mecanică	Mărimea deschiderii fisurilor	Tensometrie electrică
GU9-6a	490	98	645	2065	645
GU9-6am	420	84	645	3794	645
GU15-6c	365	73	833	3684	833
GU15-6cm	430	86	1292	9353	1292

La aceste date s-ar mai putea adăuga numărul măsurătorilor efectuate cu rigla gradată pentru determinarea distanței dintre fisuri și a înălțimii fisurilor.

Reproducerea acestor date în vederea prezentării lor în această lucrare, chiar și sub forma unei anexe, ar ridica probleme de volum, motiv pentru care autorul se mărginește la prezentarea prelucrării, analizei și interpretării lor.

5.3.5.1. Fisurarea sub încărcări de exploatare (serviciu).

Grinzile din BPP cu PL și cele cu PM au fost încercate în ordinea cronologică care rezultă din tabelul 5.16. Pentru perechile de grinzi având aceeași deschidere, prima

5.63.

încercată a fost de fiecare dată grinda cu precomprimare limitată (PL).

După punerea pe poziție a grinzilor, rezemând conform celor prezentate la punctul 5.3.2., s-a trecut la studierea suprafețelor spre a semnala prezența unor eventuale fisuri încă din această fază a încercării. La nici una din grinzi nu s-a constatat existența vreunei fisuri (normale, înclinate sau longitudinale) în starea de încărcare cu greutatea proprie.

A urmat spoirea suprafețelor de beton cu lapte de var cu scopul de a ușura observația vizuală a producerii procesului de fisurare sub încărcări. După uscarea (și albirea) suprafețelor, s-au montat profilele metalice din componența dispozitivului de încercare prin intermediul cărora urmau a fi transmise încărcările sub forma celor 4 forțe concentrate. Observația suprafețelor laterale ale grinzilor a aratat că sub încărcarea cu greutatea proprie a dispozitivului de încărcare, nu s-a produs fisurarea. În tabelul 5.20. sunt date intensitățile forțelor provenind din aceste încărcări.

Tabelul 5.20.

Tipul grinzii	Încărcarea din greutatea proprie (g,G)		Încărcarea din greutatea dispozitivului P [kN]
	[kN/m]	echivalenta P [kN]	
GU9-6	2.10	4.725	5.40
GU15-6	3.33	12.500	-

Din punctul de vedere al fisurării, aceasta a fost starea de referință, numită “stare zero” la care se raportează următoarele stări rezultate în urma aplicării încărcărilor.

A fost continuat primul ciclu de încărcare cu aplicarea succesivă a treptelor crescânde de încărcare. Fisurarea betonului la atingerea stadiului limita IA s-a produs la următoarele intensități a forțelor concentrate, tabelul 5.21. :

Tabelul 5.21.

Tipul grinzii	Treapta de încărcare la fisurare $P_{\text{exper}}^{\text{fis}}$ [kN]	Moment încovoietor de fisurare $M_{\text{exper}}^{\text{fis}}$ [kN·m]
GU9-6a	30.90	135.96
GU9-6am	18.90	83.16
GU15-6c	36.00	265.32
GU15-6cm	24.00	176.88

După fisurare s-a urmărit evoluția deschiderii fisurilor efectuându-se măsuratori cu ajutorul lupei micrometrice. S-a marcat (prin scriere pe beton) numărul fisurii, în ordinea apariției, prin cifre arabe, iar prin linie orizontală nivelul corespunzător înălțimii pe care fisura s-a deschis. În figura 5.33. sunt indicate nivelele la care s-au efectuat măsurători ale mărimii deschiderii fisurilor pe înălțimea secțiunilor transversale ale grinzilor. Așa după cum s-a arătat la punctul 5.3.2. aceste nivele urmăresc traseul armăturilor longitudinale de rezistență.

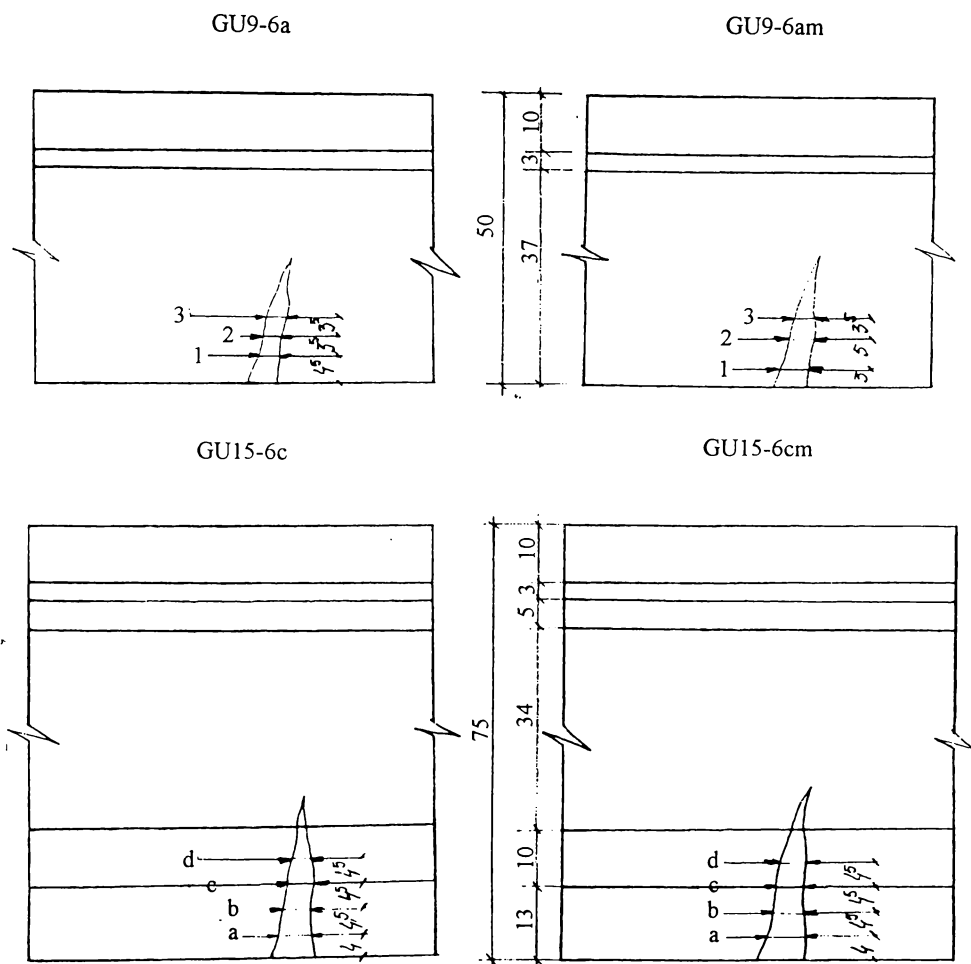


Figura 5.33. Nivele de citire a mărimii deschiderii fisurilor.

Se face observația că fisurarea s-a produs diferit pentru cele două soluții constructive. La acele două grinzi din BPP cu PM (GU9-6am și GU15-6cm) prima fisură și următoarele câteva au apărut în zona centrală de moment încovoietor constant, pe când la grinzile din BPP cu PL (GU9-6a și GU15-6c) fisurarea s-a produs în zona secțiunii periculoase D determinată cu relația 5.2. (la grinda GU15-6c în mod evident iar la grinda GU9-6a cinci fisuri din primele șase au apărut în zona secțiunii periculoase corespunzătoare punctului notat cu D).

Evoluția mărimii deschiderii fisurilor a constituit un criteriu (alături de deformații) în stabilirea treptei experimentale de exploatare P_{exper}^E .

În urma apicării câtorva trepte de încărcare din ciclul C1 s-a ales P_{exper}^E în modul următor :

- pentru grinda GU9-6a, la treapta $P=3.84$ t s-a obținut $\alpha_{\text{fmediu}}=0.076$ mm, dar șapte fisuri cu $\alpha_{\text{fmax}} \leq 0.12$ mm,

- pentru GU15-6c, la treapta P=4.8 t s-a obținut $\alpha_{f\text{mediu}}=0.0864$ mm dar 18 fisuri cu $\alpha_{f\text{max}} \leq 0.14$ mm.

Cu toate că treapta experimentală de exploatare a fost stabilită având în vedere aceleași criterii, procesul de fisurare s-a produs chiar și pentru același sistem constructiv cu unele particularități de la un element la celălalt. Pentru exemplificare se pun în evidență următoarele observații referitoare la elementele din BPP cu PL :

- la grinda GU9-6a în urma primului ciclu de încărcare C1, s-a format sistemul de fisuri cu 31 bucăți care s-a păstrat neschimbat (ca număr) pe tot parcursul încercării, variabile rămânând doar mărimea deschiderii și înălțimea fisurilor, figura 5.34.;

- la grinda GU15-6c primul sistem de fisuri s-a format în urma primului ciclu de încărcare cu 42 fisuri iar în ciclul al doilea au mai apărut 3 fisuri, situația păstrându-se neschimbată până în ciclul C12, când sub încărcarea de suprasarcină s-a format un sistem secundar de fisuri intercalate între cele normale existente, iar spre reazeme au apărut și fisuri înclinate, astfel încât numărul total de fisuri la ciclurile C12 și C13 era de 80, figura 5.35.

La grinzile din BPP cu PM procesul de formare a fisurilor s-a dezvoltat în modul următor :

- la grinda GU9-6am sistemul de fisuri s-a format la treptele de încărcare aparținând ciclului C1 și a rămas același până la ciclul C13 inclusiv, figura 5.36.;

- la grinda GU15-6cm sub treapta de încărcare de exploatare experimentală în ciclul C1 erau formate 88 fisuri normale, pe parcursul ciclului C2 a apărut un număr de 17 noi fisuri, iar ultimele 4 fisuri au apărut la treapta de încărcare la suprasarcină în ciclul C12 și au fost înclinate (în zonele învecinate reazemelor), figura 5.37.

Din punctul de vedere al observării evoluției mărimii deschiderii fisurilor, datele au fost culese prin citiri cu lupa micrometrică la treptele de încărcare indicate în figura 5.32. Nivelele pe înălțimea secțiunii transversale fisurate la care s-au efectuat citiri ale mărimii deschiderii fisurii rezultă din tabelul 5.22. și figura 5.33.

Citind împreună tabelul 5.22. cu figurile 5.28., 5.29. și 5.33. se poate face legătura între nivelele de citire și poziția armăturilor longitudinale de rezistență. La grinzile de tipul GU15-6 s-a apreciat că nivelul "b" aproximează destul de bine poziția centrului de greutate al ariei secțiunii totale de armătură.

La elementele cu precomprimare moderată se constată o mărire substanțială a numărului de fisuri în stadiul de exploatare față de elementele cu precomprimare

Tabelul 5.22.

Tip grindă	Fisuri pentru care α_f s-a citit la nivelul :				
	1	2	1,2,3	a,b	a.b.c.d
GU9-6a	F1÷F31	-	F1,F2,F19	-	-
GU9-6am	-	F1÷F72	F1,F2,F3	-	-
GU15-6c	-	-	-	F1÷F80	F2,F9,F12,F16,F22,F27
GU15-6cm	-	-	-	F1÷F109	F1,F5,F9,F10,F16,F18,F19,F20

limitată, fapt care a determinat o mai bună repartizare a fisurilor în lungul elementelor

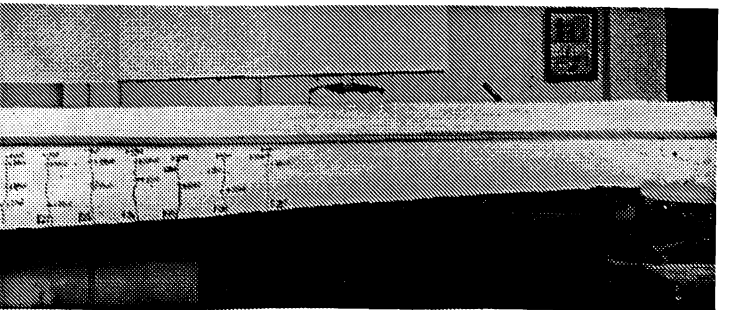
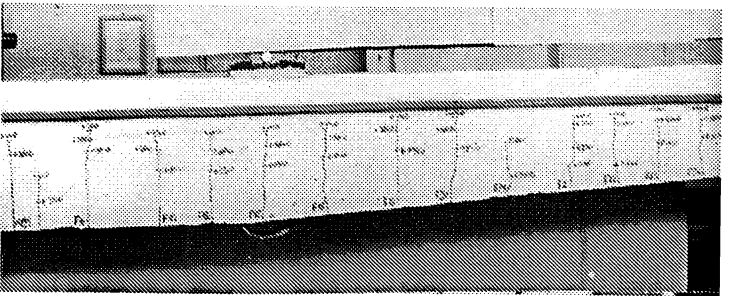
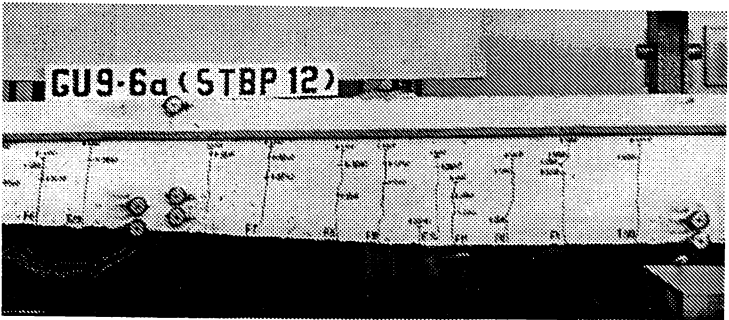
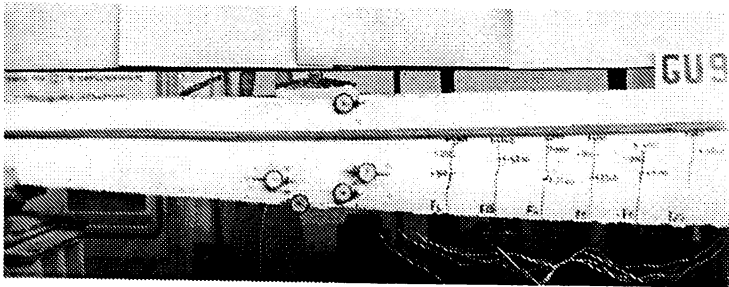


Fig. 5.34

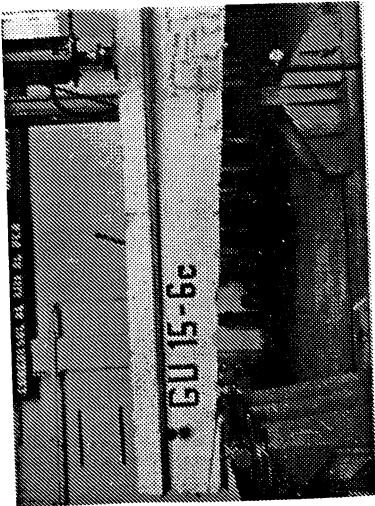
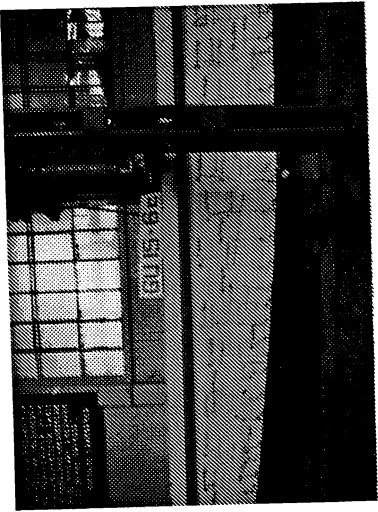
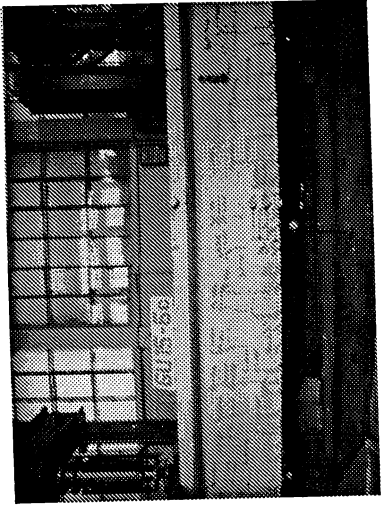


Fig. 5.35

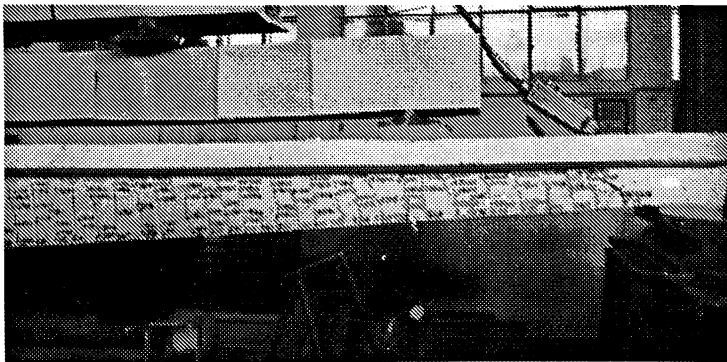
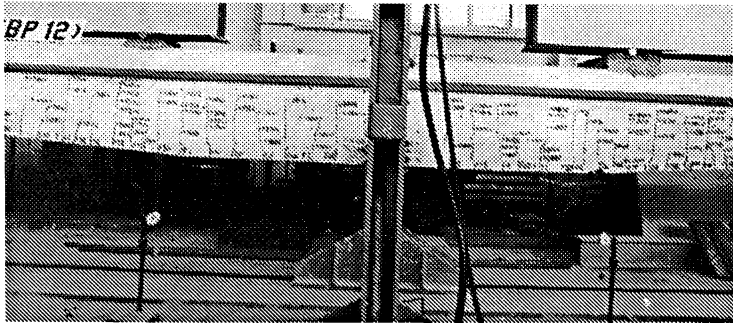
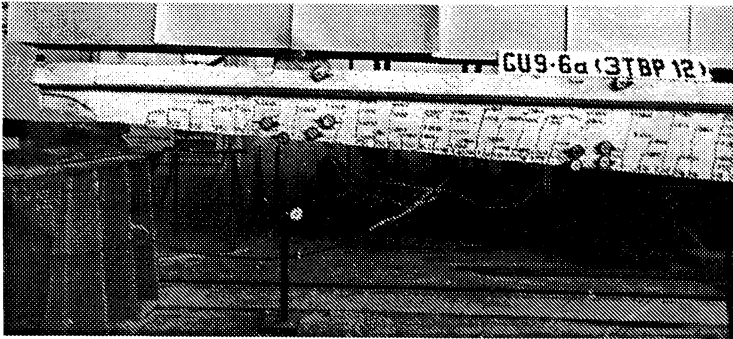


Fig. 5.36

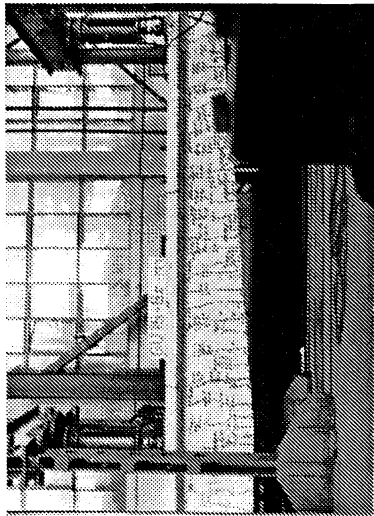
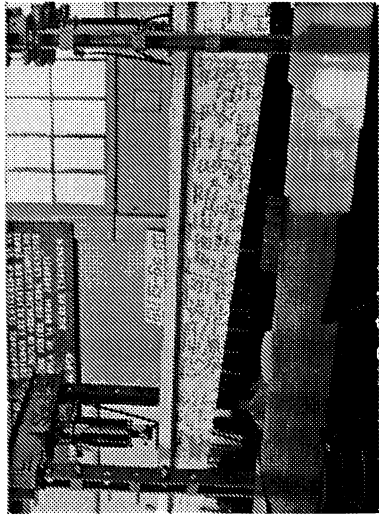
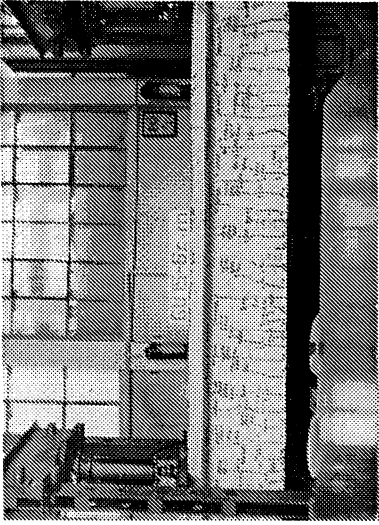


Fig. 5.37

cu armare mixtă prin micșorarea distanței medii între fisuri. Aceste aprecieri au la bază datele experimentale prezentate în tabelul 5.24. pentru nivelele treptelor de încărcare în exploatare rezultate din calculul de proiectare (P^E_{catalog}), din calculul cu valorile reale ale caracteristicilor fizico-mecanice ale materialelor la data încercării (P^E_{teoretic}) și din aprecierea experimentală (P^E_{exper}). Sunt precizate valorile intensităților forțelor corespunzătoare acestor trepte de încărcare în tabelul 5.23.

Tabelul 5.23.

Tip grindă	P^E_{catalog} [kN]	P^E_{teoretic} [kN]	P^E_{exper} [kN]
GU9-6	27.8	30.18	38.40
GU15-6	40.0	41.66	48.00

Analiza datelor prezentate în tabelul 5.24. conduce la concluzia că precomprimarea moderată și armarea mixtă îmbunătățesc considerabil comportarea la fisurare în exploatare (serviciu) în raport cu precomprimarea limitată. În paranteze sunt evidențiate avantajele din acest punct de vedere, prin exprimare procentuală. Prin adoptarea soluției de armare mixtă, datorită bunei aderențe dintre armătura nepretensionată complementară profilată (PC52) și beton s-a asigurat un control mai bun al procesului de fisurare.

Variația deschiderii fisurilor sub efectul celor zece cicluri de încărcare-descărcare și celor două cicluri de suprasarcină este prezentată în tabelul 5.25. Rezultatele sunt date sub forma unor rapoarte la care numărătorul reprezintă valoarea medie a mărimii deschiderii fisurilor, iar numitorul reprezintă valoare maximă a mărimii deschiderii fisurilor (așa cum noile norme internaționale [E.2.] prescriu). Analiza acestor rezultate conduce la următoarele constatări :

- așa după cum prevede îndrumătorul pentru încercarea elementelor prefabricate, la grinzile cu precomprimare limitată fisurile s-au închis la descărcare atât în primul ciclu cât și la reluare,
- evoluția deschiderii fisurilor în urma celor zece cicluri de încărcare-descărcare nu indică existența unui risc deosebit pentru durabilitatea elementelor,
- elementele s-au dovedit mai sensibile în urma descărcării de la treapta de suprasarcină,
- aceste constatări sunt valabile și pentru treapta de exploatare precizată în proiectul tip, P^E_{catalog} ,
- grinzile cu armare mixtă au avut o comportare mai bună la fisurare sub acțiunea încărcărilor de exploatare experimentale datorită prezenței armăturii nepretensionate complementare,
- grinzile cu armare mixtă au avut o comportare mai bună la fisurare în urma celei de-a doua descărcări de la suprasarcină datorită prezenței armăturii nepretensionate complementare.

În ceea ce privește dezvoltarea pe verticală a fisurilor, datele experimentale culese arată că diferențele între valorile medii ale deschiderii fisurilor pentru nivelele de citire "1" și "a" pe de o parte și nivelele de citire "2" și "b" pe de altă parte sunt mai mari în cazul

Tabelul 5.24.

Tip grindă	Număr de fisuri [buc.]			Deschidere medie ⁽¹⁾ α_{fmediu} [mm]			Distanța medie λ_{fmediu} [cm]		
	P^E _{catalog}	P^E _{teoretic}	P^E _{exper}	P^E _{catalog}	P^E _{teoretic}	P^E _{exper}	P^E _{catalog}	P^E _{teoretic}	P^E _{exper}
GU9-6a	-	27	31	-	0.0674	0.0868	-	22.22	19.68
GU9-6am	40	54	72(+132%)	0.0425	0.056	0.051(-70%)	19.98	14.80	11.38(-73%)
GU15-6c	16	16	42	0.046	0.046	0.086	69.48	69.48	27.46
GU15-6cm	81	81	88(+109%)	0.059	0.059	0.068(-26%)	15.47	15.47	15.10(-82%)

(1) - valorile α_{fmediu} au fost determinate la descărcarea de la treapta P^E _{exper} în ciclul C2 la următoarele nivele de citire : “j” pentru GU9-6a, “2” pentru GU9-6am, “a” și “b” pentru GU15-6.

grinzilor cu precomprimare limitată decât în cazul grinzilor cu precomprimare moderată (unde valorile medii ale deschiderii fisurilor pentru cele două nivele de citire sunt mult apropiate).

Diferențele între măsurătorile făcute pe fețele verticale paralele ale grinzilor, pentru aceleași fisuri (fața SUD și respectiv fața NORD), sunt foarte mici, acest fapt demonstrând că nu există factori perturbatori ai poziției grinzii sau ai solicitării de încovoiere dreaptă (dacă se scot din discuție calitatea materialelor componente și a alcătuirii, considerându-le corespunzătoare).

Intr-o prezentare schematică și pur statistică, concluziile referitoare la aspectul fisurării grinzilor încercate, sunt următoarele :

- la grinda cu PM de tip GU9-6am, în comparație cu grinda cu PL de tip GU9-6a s-au constatat următoarele :

- o substanțială mărire, de 2.35 ori, a numărului de fisuri,
- o reducere de 1.9 ori a distanței dintre fisuri,
- o reducere cu 70% a deschiderii medii a fisurilor la primul din cele zece cicluri (C2),
- o reducere cu 43% a deschiderii medii a fisurilor înaintea încărcării spre rupere (C13);

- la grinda cu PM de tip GU15-6cm în comparație cu grinda cu PL de tip GU15-6c s-au constatat următoarele :

- sub încărcarea de exploatare experimentală numărul fisurilor a fost de 2.1 ori mai mare, iar la trepte corespunzând încărcării de exploatare teoretice și de proiectare raportul a fost de 5.06,
- distanța medie dintre fisuri a fost de două ori, respectiv de patru ori mai mică sub încărcările mai sus precizate,
- deschiderea medie a fisurilor a fost mai mică cu 31.52 % la nivelul de citire "a" și cu 13.3% la nivelul de citire "b" la prima încărcare din cele zece cicluri (C2),
- deschiderea medie a fisurilor a fost mai mică cu 49.3 % la nivelul "a" și cu 22.5 % la nivelul "b" înaintea încărcării spre rupere (C13).

Încercările experimentale ale celor patru grinzi din BPP au fost precedate de calculul de proiectare, efectuat pentru grinzile cu precomprimare limitată în proiectul tip IPCT numărul 5437, iar pentru grinzile cu precomprimare moderată prin calculul de reproiectare în soluția armării mixte (punctul 5.3.1.). Calculul de reproiectare a grinzilor GU9-6am și GU15-6cm a cuprins și calculul la fisurare condus după normele în vigoare la acea dată și a constat din :

- (i) verificarea închiderii fisurilor normale și înclinate ,
- (ii) verificarea deschiderii fisurilor normale și înclinate,
- (iii) verificarea la apariția fisurilor longitudinale.

Calculul de verificare a închiderii fisurilor normale pentru elementele din BPP cu PM și armare mixtă se înlocuiește, practic, prin condiții de limitare severă a deschiderii fisurilor deoarece gradul de precomprimare fiind scăzut ($\bar{M}_s^0 < M_{ld(s)}^E$) efortul unitar

Tabelul 5.25.

Tip grindă	Nivel de citire	Evoluția deschiderii fisurilor normale la treapta :									
		Inferioară a celor zece cicluri		Inferioară a celor zece cicluri în urma descărcării de la suprasarcină		P ^F _{catalog} după cele zece cicluri		P ^F _{atalog} în urma descărcării de la suprasarcină			
		Inaintea ciclurilor	La sfârșitul ciclurilor	Inaintea ciclurilor	După prima descărcare	După a doua descărcare	Inaintea ciclurilor	După sfârșitul ciclurilor	După prima descărcare	După a doua descărcare	
GU9-6a	1	$\frac{0.0174}{0.03}$ 25 % din fisuri au fost închise	$\frac{0.0192(+10\%)}{0.03}$ 0.04(+13%)	$\frac{0.0241}{0.03}$ 15 % din fisuri au fost închise	$\frac{0.0238}{0.03}$	$\frac{0.0645}{0.11}$	$\frac{0.0668(+3\%)}{0.10}$	$\frac{0.0777}{0.12}$	$\frac{0.0777}{0.13}$		
GU9-6am	2	$\frac{0.0355}{0.05}$	$\frac{0.05}{0.05}$	$\frac{0.041}{0.05}$	$\frac{0.037}{0.05}$	$\frac{0.056}{0.09}$	$\frac{0.047}{0.09}$	$\frac{0.060}{0.09}$	$\frac{0.062(+3\%)}{0.09}$		
GU15-6c	a	-	$\frac{0.0178}{0.03}$	$\frac{0.0177}{0.03}$	$\frac{0.0659}{0.02}$	$\frac{0.0642}{0.10}$	$\frac{0.0834}{0.12}$	$\frac{0.0785}{0.14}$	$\frac{0.0727}{0.12}$		
GU15-6cm	a	$\frac{0.041}{0.05}$	$\frac{0.052}{0.06}$	$\frac{0.046}{0.07}$	$\frac{0.047}{0.07}$	$\frac{0.061}{0.10}$	$\frac{0.069}{0.13}$	$\frac{0.077}{0.13}$	$\frac{0.071}{0.12}$		
GU15-6c	b	-	$\frac{0.0145}{0.02}$	$\frac{0.0152}{0.02}$	$\frac{0.0753}{0.02}$	$\frac{0.0564}{0.09}$	$\frac{0.058}{0.12}$	$\frac{0.0733}{0.15}$	$\frac{0.0675}{0.13}$		
GU15-6cm	b	$\frac{0.045}{0.06}$	$\frac{0.045}{0.07}$	$\frac{0.048}{0.08}$	$\frac{0.048}{0.08}$	$\frac{0.041}{0.11}$	$\frac{0.075}{0.13}$	$\frac{0.081}{0.14}$	$\frac{0.076}{0.12}$		

5.74.

normal la nivelul fibrei extreme a secțiunii ($\bar{\sigma}_{bi}$) devine întindere. Același principiu se aplică și fisurilor înclinate.

Calculul deschiderii fisurilor normale s-a efectuat cu relația :

$$\alpha_f = \lambda_f \frac{\psi \Delta \sigma_p}{E_p} \quad 5.3.$$

care a condus, pentru sarcinile de exploatare, la valorile prezentate în tabelul 5.26.

Tabelul 5.26.

Tip element	λ_f [mm]	$\Delta \sigma_p$ [daN/cm ²]	α_f [mm]
GU9-6am	200 (250)	921.80	0.082 (0.102)
GU15-6cm	250	626.60	0.070

Verificarea la deschiderea fisurilor înclinate s-a efectuat prin verificarea condiției de rezistență $\sigma_{b1} \leq R_t'$, care pentru clasa a II-a de verificare are forma :

$$\sigma_{b1} \leq R_{tk} \left(1 - \frac{\sigma_{b2}}{R_{ck}} \right) \quad 5.4.$$

Inegalitatea a fost verificată în secțiunile de la sfârșitul zone de transmitere, la două nivele :

- la nivelul I-I al racordului inimii cu talpa, unde apar sub sarcini eforturi unitare tangențiale și eforturi unitare normale,
- la nivelul 0-0 al axei neutre unde eforturile unitare normale σ sunt nule, iar eforturile unitare tangențiale τ sunt maxime; rezultatele calculului sunt prezentate în tabelul 5.27.

Calculul de verificare la apariția fisurilor longitudinale (între armături sau grupuri de armături) s-a efectuat cu relația :

$$n_2 \cdot A_{a1} (0.8 \cdot R_{as}) \geq 1.1 \cdot Z_3 \quad 5.5.$$

iar rezultatele sunt prezentate în tabelul 5.28.

Tabelul 5.27.

Tip grindă	l_z [cm]	Nivelul	Q_{ld}^E [daN]	M_{ld}^E [daNm]	Z_b [cm]	$tg\beta$	S_{i3} [cm ³]	σ_b [daN/cm ²]	τ_b [daN/cm ²]	σ_{b2}	σ_{b1}	R_t'
GU9-6am	84.4	I-I	3418	4476	21.43	0.067	3240	27.10	5.70	28.25	-1.15	18.95
GU9-6am	84.4	0-0	3418	4476	21.43	0.67	3285	26.03	5.78	27.26	-1.23	19.00
GU15-6cm	79.5	I-I	5249	3680	26.30	0.075	45975	31.03	6.25	32.24	-1.21	18.67
	79.5	0-0	5249	3680	26.30	0.075	46404	30.50	6.70	31.91	-1.41	18.70

Tabelul 5.28.

Tip grindă	σ_{bi} [daN/cm ²]	σ_{bs}	z_3 [daN]	$n_2 A_{a1}$ [cm ²]	$n_2 A_{a1} (0.8 R_{as})$ [daN]	$l \cdot l z_3$ [daN]
GU9-6am	91.67	4.42	4713.5	4·0.785·2	10550.4	5185
GU15-6cm	92.25	7.34	6288	4·0.785·2	10550.4	6917

Comparația rezultatelor experimentale cu cele de calcul conduce la următoarele constatări :

a) închiderea fisurilor normale și înclinate s-a produs la elementele experimentale la trepte de încărcare inferioare celor de calcul, tabelul 5.29.

Tabelul 5.29.

Tip grindă	$P_{\text{Idcatalog}}^E$ [kN]	P_{Idexper}^E [kN]
GU9-6a	19.80	18.90
GU9-6am		18.90
GU15-6c	29	18.00
GU15-6cm		24.00

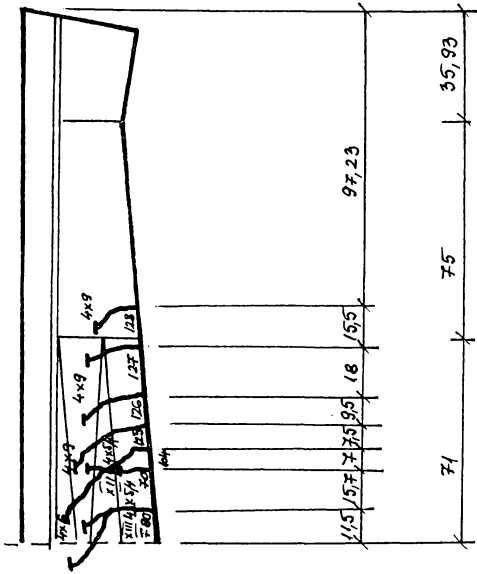
b) mărimea deschiderii medii a fisurilor determinată din calcul este apropiată de cea corespunzând treptei de exploatare experimentală P_{Idexper}^E , dar este mai mare decât α_{fimed} corespunzător treptei de exploatare avută în vedere la proiectare $P_{\text{Idcatalog}}^E$ (de văzut tabelele 5.24., 5.25. și 5.26.).

Un alt mod de interpretare este acela că pentru treapta de încărcare reprezentând $P_{\text{Idcatalog}}^E$ mărimea deschiderii medii a fisurilor la grinzile încercate este mai mică decât cea calculată, tabelul 5.24. și 5.26. În acest context se observă că metoda de calcul utilizată este acoperitoare,

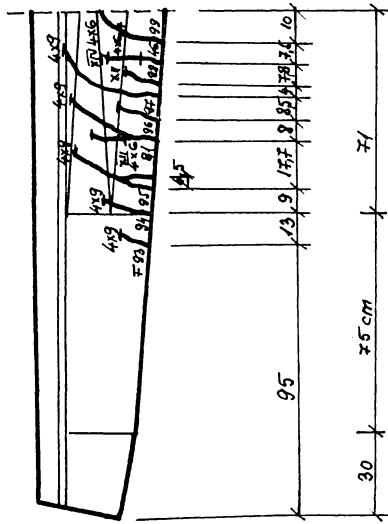
c) la elementele experimentale nu au apărut fisuri longitudinale la transfer (și nici pe parcursul încercărilor), existând în această situație concordanță cu calculul.

În figurile 5.38.a÷5.38.d și în figurile 5.39.a÷5.39.d sunt prezentate releveele fisurilor la încheierea încercărilor, pentru grinzile GU15-6c și GU15-6cm. În desenele executate la scară sunt numerotate fisurile în ordinea în care ele au apărut respectându-se forma după care acestea s-au dezvoltat pe fața SUD a grinzilor. Din motive de claritate, releveele s-au reprezentat pe câte cinci tronsoane pentru fiecare grindă. În măsura în care spațiul desenului a permis, s-au marcat nivele până la care fisurile s-au deschis la diferite trepte de încărcare exprimate în tone, în diferite cicluri de încărcare-descărcare scrise aici cu cifre romane în scopul evitării confuziilor (ex: XII 4x5.4 se citește ciclul C12 cu grindă încărcată cu 4 forțe concentrate la treapta 5.4 tone fiecare). Sub fiecare tronson desenat sunt cotate distanțele măsurate pe orizontală exprimate în cm, între fisuri succesive reprezentate. Fiecare figură cuprinde în subsolul paginii tabel cu înălțimea h exprimată în cm pe care fisurile reprezentate s-au deschis la diferite cicluri și trepte de încărcare precizate în releveu.

RELEVU FISURI LA GRINDA GU 15-6c



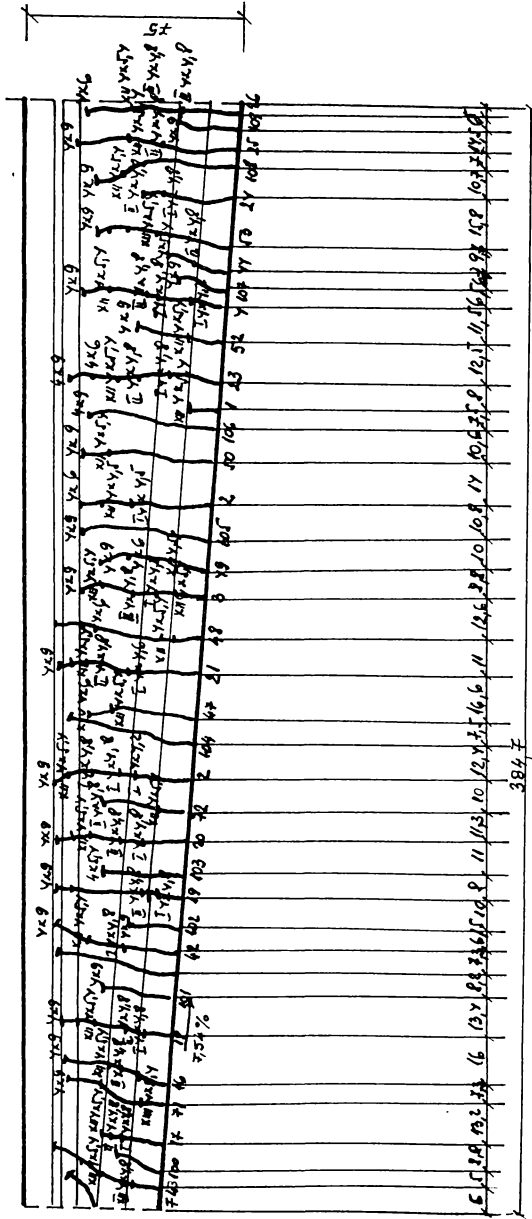
Fis.	80	104	125	126	127	128
h	11	18	26	23	21	14,5
Σcm	275	23	275			



Fis	93	94	95	81	96	97	98	46	99
h	10	155	275	225	135	325	12	94	22
Σcm			725	287	287			21	317

Fig. 5.38.a

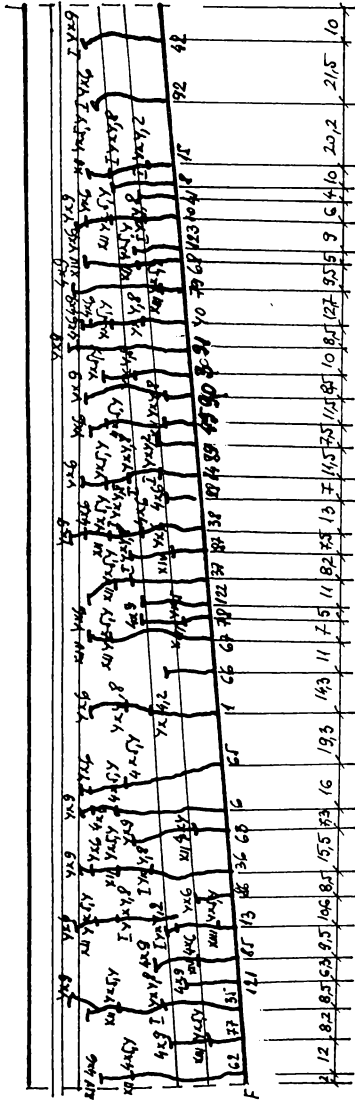
RELEVÉU FISURI LA GRINDA GU 15-6c



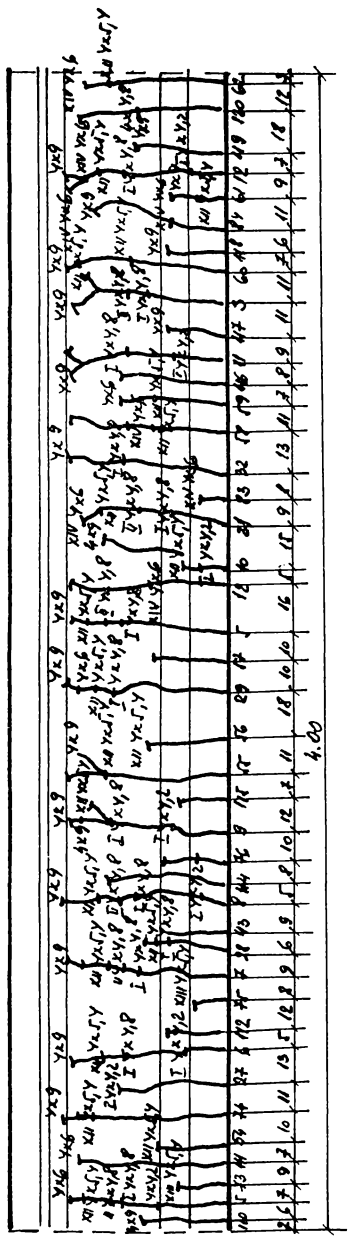
715.	43	100	17	71	16	19	101	42	102	19	103	20	12	2	104	41	21	40	3	40	101	2	10	105	1	13	12	1	106	2	10	107	108	25	409	26	
h1	10	18	13,5	10	15	20	15	11	20	15	20	15	11	20	15	20	15	11	20	15	20	15	11	20	15	11	20	15	11	20	15	11	20	15	11	20	15
h2	3	3	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
h3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
h4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
h5																																					

Fig. 5.38.b

RELEVU FISURI LA GRINDA GU 15-6c



RELEVEU FISURI LA GRINDA GU 15-6c

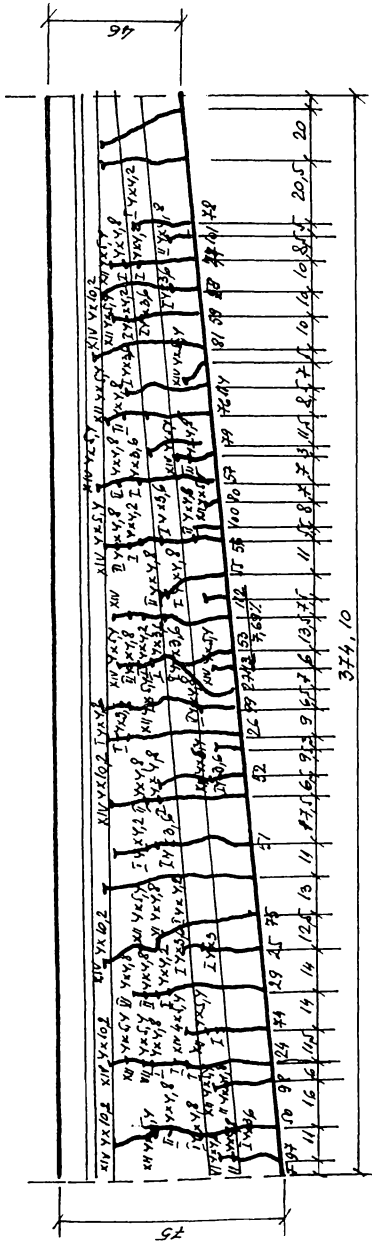


Fis.	10	5	73	111	174		Y4	27	6	112	18	12	7	28	113	8	114	76	9	115	17	76	29	57		82	40	31	83	32	17	17	116	11	117	33	60	118	84	
h [cm]	29	34	23	14	13	23	Y7	37	44	33	43	33	51	27	18	33	29	12	21	19	38	28	38	25	25	37	27	16	10	29	29	29	29	29	18	21	27	87	21	119
	Y0	Y0	Y3	Y0	Y0	Y0	Y0	Y0	Y0	Y0	Y0	Y0	Y0	Y0	Y0	Y0	Y0	Y0	Y0	Y0	Y0	Y0	Y0	Y0	Y0	Y0	Y0	Y0	Y0	Y0	Y0	Y0	Y0	Y0	Y0	Y0	Y0	Y0	Y0	Y0

Fis.	61	72	119	124	62
h [cm]	9	11	20	13	39
	Y0	Y0	Y0	Y0	Y0

Fig. 5.38.d

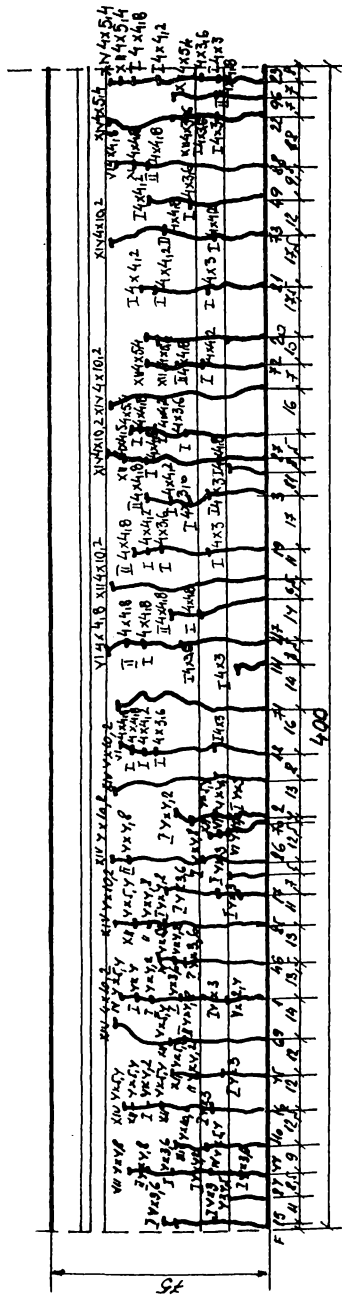
RELEVU FISURI LA GRINDA GU 15-6cm



Fis.	97	98	24	74	29	75	51	52	26	39	21	113	103	112	55	56	100	80	57	79	76	114	81	57	28	77	101	78		
h1	15	14	20	14	32	19	31	80	37	18	21	55	22	77	20	21	10	35	26	95	24	11	23	7	21	9	20	35	20	30
h2	20	4	8	3	4	6	4	35	4,5	18	16	7,5	7,5	7,5	3	7	4	5,5	4	9,5	10	8	5	7	24	4,5	4,5	4,5	30	
h3	31,5	21,5	21,5	21,5	15	8	11	13	4,5	9,5	8	7,5	7,5	7,5	4	4	4	6,5	6,5	6,5	8	9	5	7	7	7	7	7	7	
h4	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	

Fig. 5.39.b

RELEVÉU FISURI LA GRINDA GU 15-6cm



F	15	84	44	110	16	45	69	1	46	85	17	86	70	2	18	71	111	47		19	3	95	87	48		72	20	21	73	49	88	22	96	23
f	18	13	8	21	20	24	30	13	31	36	17	44	14	11	17	54	8	30	23	54	20	19	40	28	54	21	23	20	18	26	40	14	15	14
[Cm]	33		18	32	36	29	34	31	37	42	35	49	47	16	37	41	43	43	30	36	24	48	38	48	38	30	31	38	30	33	45	22	31	38
			43	41	47	33	55	40	46	42	42	54	18	27	41	46	48	48	30	41	33	55	43	43	43	33	40	42	34	49	25	46	46	
			47	50				49	53	53	46	32	32		46	55	55	55	46	40	40	47	47	47	47	41	42	54	54	32	53	50	54	

Fig. 5.39.d

5.3.5.2. Deformațiile sub încărcări de exploatare (serviciu).

După punerea pe poziție a grinzilor și spoirea cu lapte de var a suprafețelor de beton, s-a trecut la montarea aparatelor de măsură necesare urmării deformațiilor (fleximetre, microcomparatoare, timbre tensometrice). În această stare, când grinzile erau încărcate doar cu propria lor greutate, s-a efectuat "bitirea zero" la aparatele care urmăreau evoluția deformațiilor, incluzând contrasăgețile. Din punctul de vedere al deformațiilor prima treaptă de încărcare la care starea elementului s-a modificat, înregistrându-se acest lucru prin citirile la aparate, a fost cea provocată de greutatea proprie a dispozitivului de încărcare (profile metalice) în momentul așezării acestuia la poziție pe grindă. Intensitatea forței concentrate echivalente este dată în tabelul 5.20.

Așa cum mai sus se preciza citirea zero a inclus și mărimea contrasăgeților care în starea de încărcare a grinzii doar cu propria greutate, au fost măsurate utilizând metode și aparate topometrice. În tabelul 5.30. sunt prezentate valorile măsurate ale mărimii contrasăgeților celor 4 grinzi încercate, în secțiunile verticale ale punctelor de aplicare a forțelor și mijlocul deschiderilor.

Tabelul 5.30.

Tip grindă	Contrasăgeți măsurate pe verticala următoarelor puncte [mm] :						
	A	C	E	F	E	C	B
GU9-6a	0	7	25.5	29.5	25.5	7	0
GU9-6am	0	1.5	3	6	3	1.5	0
GU15-6c	0	22	31	39	33	22	0
GU15-6cm	0	7	12.5	13	12.5	7	0

În cazul grinzilor din BPP cu PL mărimea contrasăgeților măsurate nu concordă cu valorile calculate la proiectare. Spre exemplu pentru grinda GU15-6c contrasăgeata produsă la transfer (din precomprimarea $f_{PR} = -3.95$ cm și din greutatea proprie $f_g = -1.1$ cm, rezultând $f_0 = -2.85$ cm) este inferioară celei măsurate înainte de începerea încărcării, dar contrasăgeata calculată la proiectare și produsă de N_0 în exploatare este $f_{PR}' = -6.2$ cm fiind superioară celei măsurate, tabelul 5.30.

Existența contrasăgeților la elementele din beton precomprimat reprezintă un dezavantaj. Cu cât gradul de precomprimare este mai mare cu atât contrasăgeata este mai mare, iar influența defavorabilă a deformațiilor de durată asupra ei este mai mare. Precomprimarea moderată provoacă apariția unor contrasăgeți mai mici așa cum în tabelul 5.30. se observă. Cauzele se leagă de gradul de precomprimare și de prezența armăturii nepretensionate complementare (ex.: la GU9-6a având grad de precomprimare $K=0.8$ contrasăgeata la mijlocul deschiderii este -29.5 mm, iar la GU9-6am având $K=0.5$ contrasăgeata maximă este de -6 mm).

La grinzile din beton precomprimat influența nefavorabilă a deformațiilor de durată asupra evoluției contrasăgeții ar putea fi limitată prin imediată lestarsă a grinzii, după transfer, cu o greutate moartă. Aceasta ar contribui și la reducerea efortului unitar de întindere produs de precomprimare în fibra superioară de beton.

Relațiile de calcul utilizate la evaluarea contrasăgeții [P.12.] sunt următoarele :

- la transfer din efectul precomprimării și a greutateii proprii :

$$f_0 = f_{PR} + f_g \quad 5.6.$$

$$f_{PR} = \frac{N_0 e_0 l^2}{8K_0} \quad 5.7.$$

unde $K_0 = E_b I_b$

- produsă de \bar{N}_0 în exploatare :

$$f_{PR} = \frac{\bar{N}_0 e_{0med} l^2}{8K_d} \quad 5.8.$$

$$\text{unde } K_d = 0.85 \frac{E_b I_b}{1 + \bar{\varphi}/2} \quad 5.9.$$

Cu o primă metodă de calcul s-a determinat săgeata la mijlocul deschiderii grinzii cu relația :

$$f = f_x + f_0 \quad 5.10.$$

unde contrasăgeata în stadiul de exploatare produsă de \bar{N}_0 și de greutatea proprie este :

$$f_0 = f_{PR} + f_g \quad 5.11.$$

Sub sarcini de exploatare săgeata maximă f_x se calculează cu relația :

$$f_x = S \frac{M_{max}^n}{K} \cdot l^2 = \frac{5}{48} \frac{M_g^n}{K} \cdot l^2 + \frac{23}{216} \frac{M_p^n}{K} \cdot l^2 \quad 5.12.$$

cu rigiditatea K calculată în stadiul II în secțiunea de moment maxim fisurată :

$$K = E_a A_{at} \beta h_{ot}^2 \quad \text{unde} \quad A_{at} = A_a + \frac{E_p}{E_a} A_p \quad 5.13.$$

În a doua metodă de calcul s-a avut în vedere că secțiunea grinzii este de înălțime variabilă, săgeata determinându-se cu ajutorul formulei Mohr-Maxwel :

5.86.

$$f_x = f^{pI} + f^{pII} = \int_0^l \frac{\bar{M}_{(s)}^0 m}{K_I} dx + \int_0^l m \frac{M^E - \bar{M}_{(s)}^0}{K_{II}} dx \quad 5.14.$$

în care rigiditățile K_I și K_{II} în stadiul I respectiv II s-au calculat pe tronsoane de grindă, în secțiunile de mijloc ale acestora, cu relațiile :

$$K_I = 0.85 K_b I_b ; K_{II} = \beta E_a A_{at} h_{ot}^2 \quad 5.15., 5.16.$$

Acceptându-se că există simetrie față de un plan vertical ce trece prin mijlocul deschiderii grinzii, tronsoanele egal depărtate de acest plan au rigidități egale.

Pentru calculul momentelor de decompresiune și încărcărilor aferente celor două stadii s-au utilizat relațiile :

$$\bar{M}_{(s)}^0 = \bar{N}_0 (e_{0p} + r_s); K = \bar{M}_{(s)}^0 / M^E \quad 5.17., 5.18.$$

$$p^I = K p^E; p^{II} = p^E - p^I \quad 5.19., 5.20.$$

Săgeata maximă la mijlocul deschiderii grinzii se determină ținând seama de contrasăgeată, cu relația 5.10.

Cu a treia metodă de calcul săgeata s-a determinat cu relația simplificată :

$$f_x = S \frac{M_{max}}{K} \cdot l^2 \quad 5.21.$$

în secțiunea de moment încovoietor maxim cu rigiditatea maximă, iar contrasăgeata s-a calculat cu metoda recomandată în [T.1.] lucrând cu rigiditatea maximă în stadiul II determinată în metoda a doua cu relația 5.16.

$$f^c = \frac{l^2}{K} \left(\frac{M_1}{8} + \frac{M}{12} \right) \quad 5.22.$$

iar săgeata maximă la mijlocul deschiderii grinzii este :

$$f = f_x + f^c \quad 5.23.$$

Rezultatele parțiale și finale ale calculelor efectuate cu aceste metode pentru grinzile având deschiderea de 15 m sunt date în tabelul 5.34.

Săgeata maximă a unui element din beton precomprimat se calculează cu una din următoarele relații :

- pentru precomprimarea totală și limitată când $M_{ld}^E \leq \bar{M}_{(s)}^0$ și corespunzând claselor de verificare la fisurare I și II :

$$f_x = \int_0^l \frac{M_{ld}^E}{K_d} \cdot m_x dx + \int_0^l \frac{M^E - M_{ld}^E}{K_s} \cdot m_x dx \quad 5.24.$$

- pentru precomprimarea moderată cu $M_{ld}^E > \bar{M}_{(s)}^0$ corespunzând claselor de verificare la fisurare II (armare mixtă) și III :

$$f_x = \int_0^l \frac{\bar{M}_{(s)}^0}{K_d} \cdot m_x dx + \int_0^l \frac{M^E - \bar{M}_{(s)}^0}{K_{II}} \cdot m_x dx \quad 5.25.$$

unde : m_x este momentul încovoietor în secțiunea x dat de acțiunea unei forțe unitare aplicată în secțiunea în care se calculează săgeata,

M^E , M_{ld}^E sunt momentele încovoietoare date de încărcările de exploatare totale respectiv de lungă durată exterioare în secțiunea x,

K_d , K_s , K_{II} sunt rigiditățile elementelor din beton precomprimat determinându-se conform [S.1.].

În funcție de tipul precomprimării se prezintă în figura 5.40. starea de fisurare a grinzilor solicitate la încovoiere.

Se constată că relația 5.25. corespunde precomprimării totale nu însă și precomprimării limitate deoarece în acest caz apare situația când elementul este fisurat sub încărcări de scurtă durată.

Dacă $\bar{M}_{(s)}^0$ este apropiat de M_{ld}^E atunci utilizarea relației nu crează probleme, iar în caz contrar calculul conduce la valori mai mici ale săgeților decât ele sunt în realitate.

În cazul precomprimării moderate pe intervalul $M_{ld}^E - \bar{M}_{(s)}^0$ elementul este fisurat sub încărcări de lungă durată, situație de care nu se ține seama în calcul ceea ce conduce la valori teoretice mai mici pentru săgeți decât ele sunt în realitate. Aproximația depinde de poziția lui $\bar{M}_{(s)}^0$ în raport cu M_{ld}^E .

Prima deformație care se produce la o grindă din beton precomprimat este cea cauzată de acțiunea forței de precomprimare N_0 în faza inițială (sau \bar{N}_0 în faza finală) sub forma contrasăgeții care în mod normal se calculează ca pentru un element solicitat excentric în stadiul I de lucru (pentru situația în care sub acțiunea forței de precomprimare apar doar eforturi de compresiune în secțiunea transversală). Sub

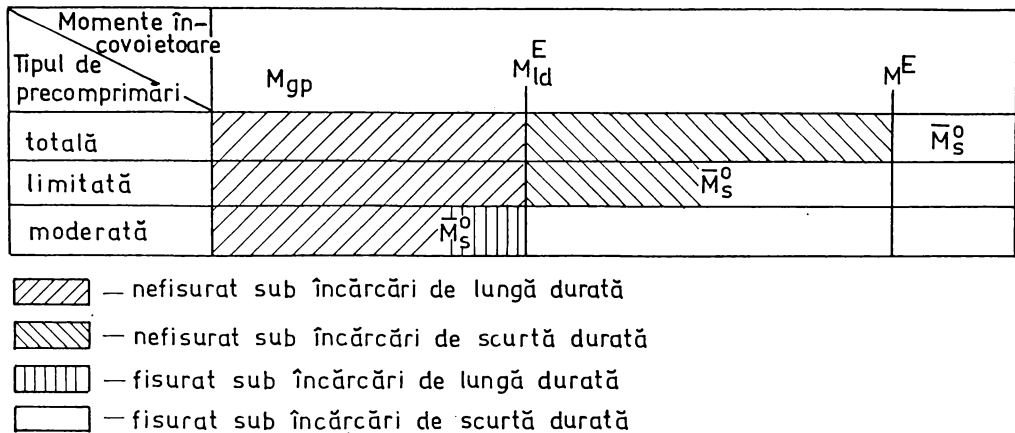


Figura 5.40. Starea de fisurare a grinzilor în funcție de tipul precomprimării.

acțiunea încărcărilor de exploatare, funcție de tipul precomprimării, elementele se pot afla în stadiul I sau stadiul II de lucru, nefisurate respectiv fisurate, figura 5.41.

În cazul încărcărilor de scurtă durată modulul de rigiditate pentru elementele din beton precomprimat în stadiul I se poate scrie sub forma :

$$K_1 = E_b(I_b + n_p I_p + n_p I'_p + n_a I_a + n_a I'_a) \quad 5.26.$$

iar în stadiul II în secțiunea fisurată sub forma :

$$K_2 = E_p A_p \zeta (1 - \xi) h_{0p}^2 + E_a A_a \zeta (1 - \xi) h_{0a}^2 \quad 5.27.$$

Dacă încărcările sunt de lungă durată valoarea E_b se înlocuiește cu $E_b/(1+v\bar{\phi})$ [F.4.], [C.11.], [S.1.]. Având în vedere conlucrarea betonului cu armătura pe distanța dintre fisuri pusă în evidență prin coeficientul ψ [S.1.] valoarea modulului de rigiditate mediu în stadiul II se poate pune sub forma :

$$K_m = (1 - \psi)K_1 + \psi K_2 \quad 5.28.$$

unde ψ , coeficientul de conlucrare a armăturii cu betonul pe distanța dintre fisuri se poate calcula cu relația de forma :

$$\psi = 1 - \bar{\beta}(1 - 0.5v) \cdot \frac{A_{bt} R_{tk}}{A_a \sigma_a} \quad 5.29.$$

pentru armături nepretensionate complementare și cu o relație de forma :

5.89.

$$\psi = 1 - \bar{\beta}(1 - 0.5\nu) \cdot \frac{A_{bt}R_{tk}}{A_p\Delta\sigma_p} \quad 5.30.$$

pentru armăturile pretensionate.

Sub acțiunea forței de precomprimare când elementul se află în stadiul I și la acțiunea încărcărilor exterioare pentru solicitări care nu produc fisurarea elementului, adică $M < M^0 = e_{oc}N_{balans}$, pentru calculul rotirilor se poate considera modulul de rigiditate în stadiul I conform relației 5.26.

Valoarea solicitării $M^0 = e_{oc}N_{balans}$ poate fi determinată din condiția $\xi = \xi_{lim}$ în funcție de tipul elementului precomprimat.

Curbura elementului precomprimat sub acțiunea forței de precomprimare N_0 (\bar{N}_0) în stadiul II : $1/\rho_2 + 1/\rho_N$, poate fi reprezentată pentru excentricități mari printr-o dreaptă paralelă cu $1/\rho_2$, figura 5.42.

Având în vedere că în cursul procesului de încărcare N_0 (\bar{N}_0) rămâne constant și M crește, $e_{oc} = M/N$ crește și legea de dezvoltare a sagetilor evoluează ca pentru compresiune excentrică cu mare excentricitate în stadiul II fisurat.

Pentru limita dintre compresiunea excentrică cu mică excentricitate și compresiunea excentrică cu mare excentricitate, adică M^0 sau $N_{balans} = N_0$ (\bar{N}_0) se poate scrie intersecția celor două drepte care exprimă curbura în stadiul I și stadiul II, figura 5.42. :

$$1/\rho_1 = M/K_1 \text{ și } 1/\rho_2 = M/K_2 \quad 5.31., 5.32.$$

valorile K_1 și K_2 fiind date de relațiile 5.26. și 5.27.

Modificarea curburii datorit forței N_0 (\bar{N}_0) de la $1/\rho_2$ la $1/\rho_N$ rezultă din egalitatea:

$$\frac{1}{\rho_N} = -\frac{M^0}{K_2} + \frac{M^0}{K_1} = -\frac{K_1 - K_2}{K_1 K_2} M^0 \quad 5.33.$$

Având în vedere valoarea ψ a coeficientului de conlucrare dintre armatură și beton, rigiditatea medie se poate exprima sub formă :

$$\frac{1}{\rho_m} = (1 - \psi) \frac{1}{\rho_1} + \psi \left(\frac{1}{\rho_2} + \frac{1}{\rho_N} \right) \quad 5.34.$$

sau :

$$K_m = (1 - \psi)K_1 + \psi K_{2N} \quad 5.35.$$

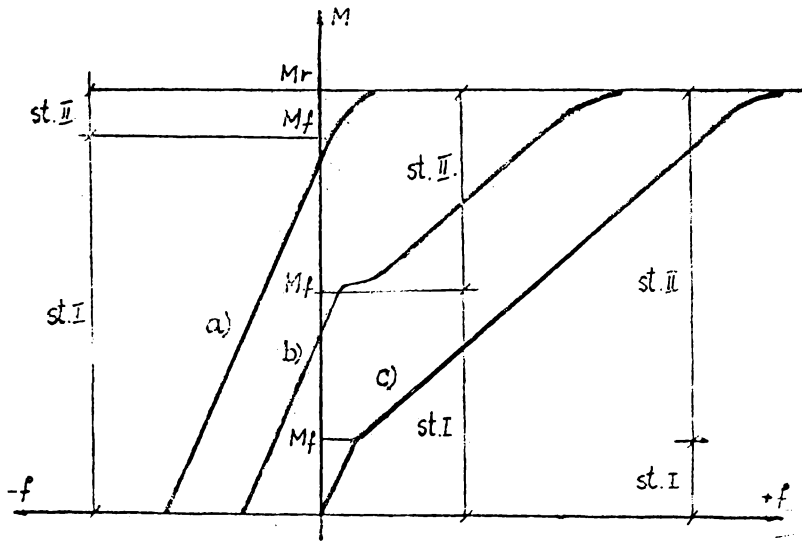


Fig. 5.41. Sagetile elementelor incovoiate:
 a) Precomprimare integrala
 b) Precomprimare partiala
 c) Beton armat

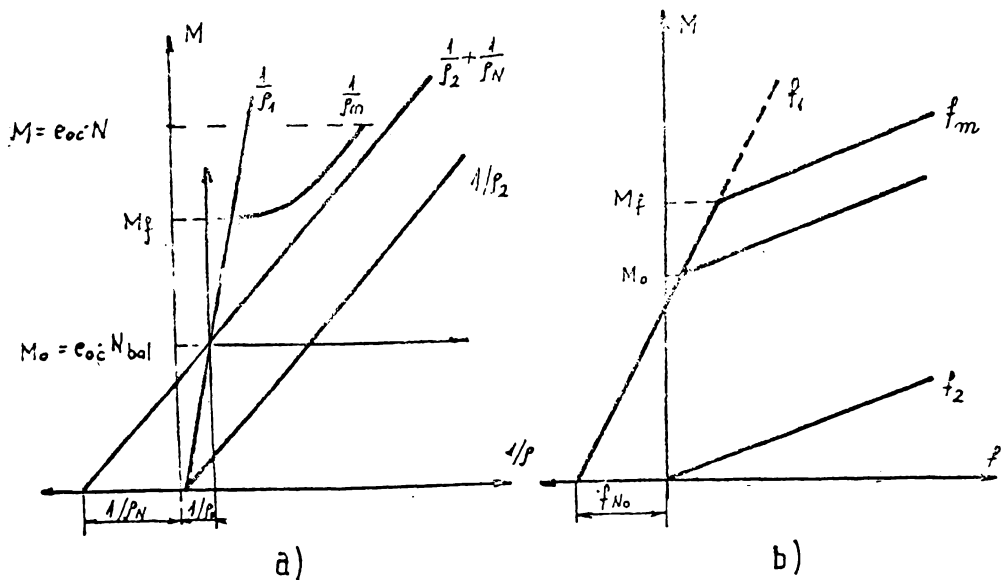


Fig. 5.42. Diagrama Moment-Curbura (a) si moment-sageata (b) pentru un element precomprimat

unde K_{2N} este rigiditatea elementului ținând seama de acțiunea forței de precomprimare ca forță exterioară.

Legea de variație a săgeții se poate scrie sub forma :

$f_1 = \int M/K_1 ds$ pentru stadiul I și $f_2 = \int M/K_{2N} ds$ pentru stadiul II și ca urmare valoarea medie a săgeții unui element precomprimat :

$$f = f_{N_0} + (1 - \psi) f_1 + \psi f_2 \quad 5.36.$$

Calculul la deformații efectuat cu cele trei metode (5.10, 5.14., 5.23.) urmat de calculul cu metoda propusă (5.36.) a condus la obținerea rezultatelor intermediare și finale prezentate pentru grinzile de 15 m deschidere în tabelul 5.34.

Așa cum s-a arătat la stabilirea treptei încărcării de exploatare experimentale s-a avut în vedere și criteriul deformației. În urma primului ciclu de încărcare, săgețile măsurate care nu trebuiau să depășească valoarea $L/300$ au avut valorile prezentate în tabelul 5.31.

Tabelul 5.31.

Tip grindă	GU9-6a	GU9-6am	GU15-6c	GU15-6cm
Săgeți				
f_{exper} [mm] sub P_{exper}^E în C1	7.60	37.10	11.70	46.00
$L/300$ [mm] după [S.1.]	30.00		50.00	
$L/250$ [mm] după [E.2.]	36.00		60.00	

Evoluțiile deformatelor sub încărcări a grinzilor încercate sunt reprezentate grafic în figurile 5.43., 5.44., 5.45., 5.46.

Reprezentarea este făcută în sistemul plan de axe unde în axa absciselor s-au reprezentat lungimi măsurate în [m], iar pe axa ordonatelor sunt reprezentate săgețile pe verticala aparatelor de măsură. Ciclurile de încărcare -descărcare pentru care s-au făcut reprezentări sunt notate cu cifre romane (ex.: ciclul XII este echivalent cu C12). Cu linie continuă sunt reprezentate deformatele grinzilor la trepte precizate de încărcare, iar cu linie întreruptă sunt reprezentate deformatele grinzilor la treptele precizate de descărcare. Desenele s-au efectuat cu respectarea strictă a valorilor citite la aparatele de măsură (fleximetrele M1÷M5). Curbele reprezentând axele longitudinale deformatate ale grinzilor încărcate, care admit cel puțin un punct de inflexiune, nu reprezintă fidel și corect deformatata grinzilor, această formă fiind cauzată de defectuoasa funcționare la acele trepte de încărcare/descărcare a aparatelor de măsură.

Pentru secțiunile unde erau montate fleximetrele s-au trasat grafic curbele de variație încărcare-săgeată (P-f). În figurile 5.47., 5.48., 5.49., 5.50. sunt prezentate diagramele

Reprezentarea grafica a deformatei sub incarcari la grinda GU9-6a

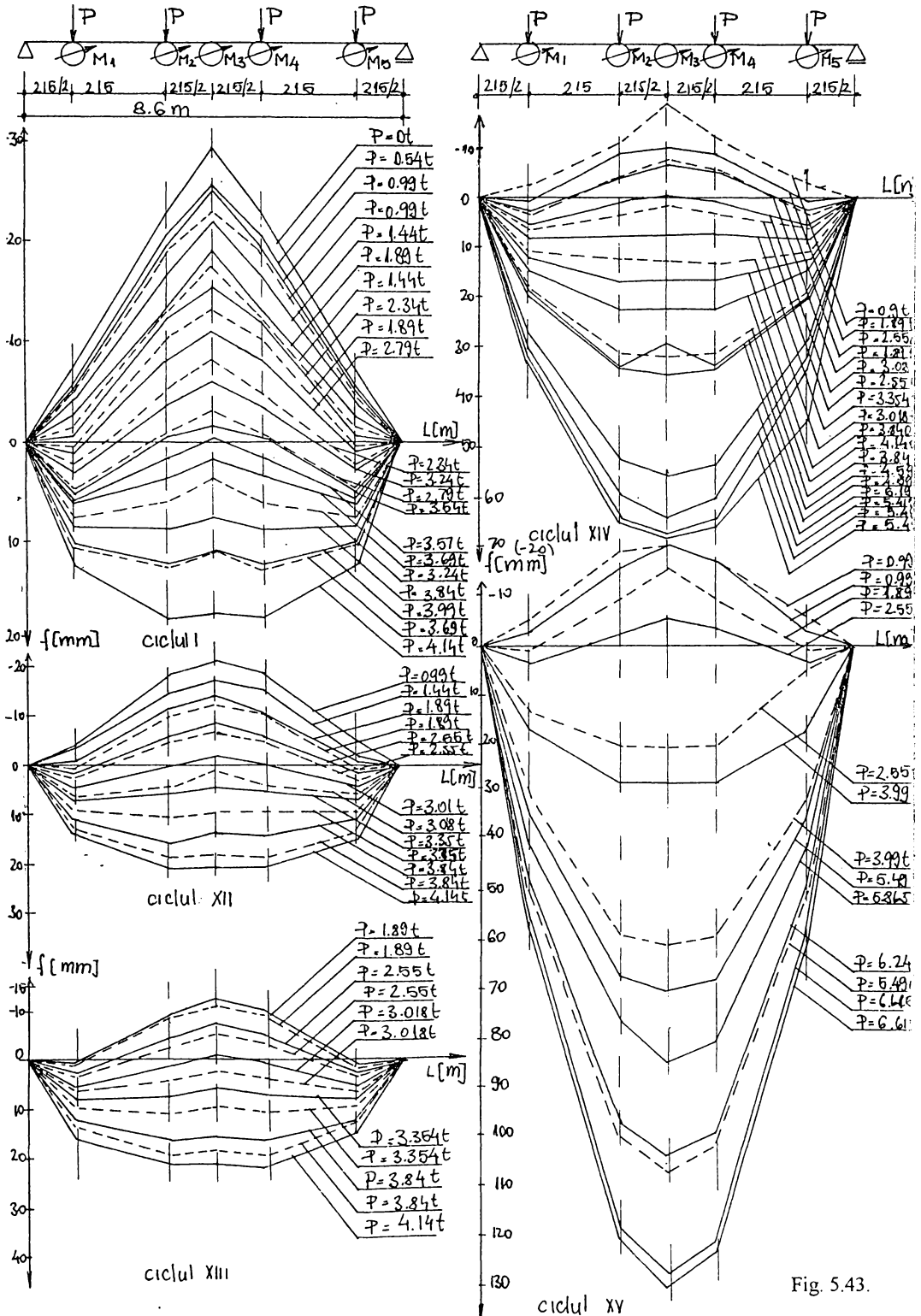


Fig. 5.43.

Reprezentarea grafica a deformatelor sub incarcari la grinda GU9-6am

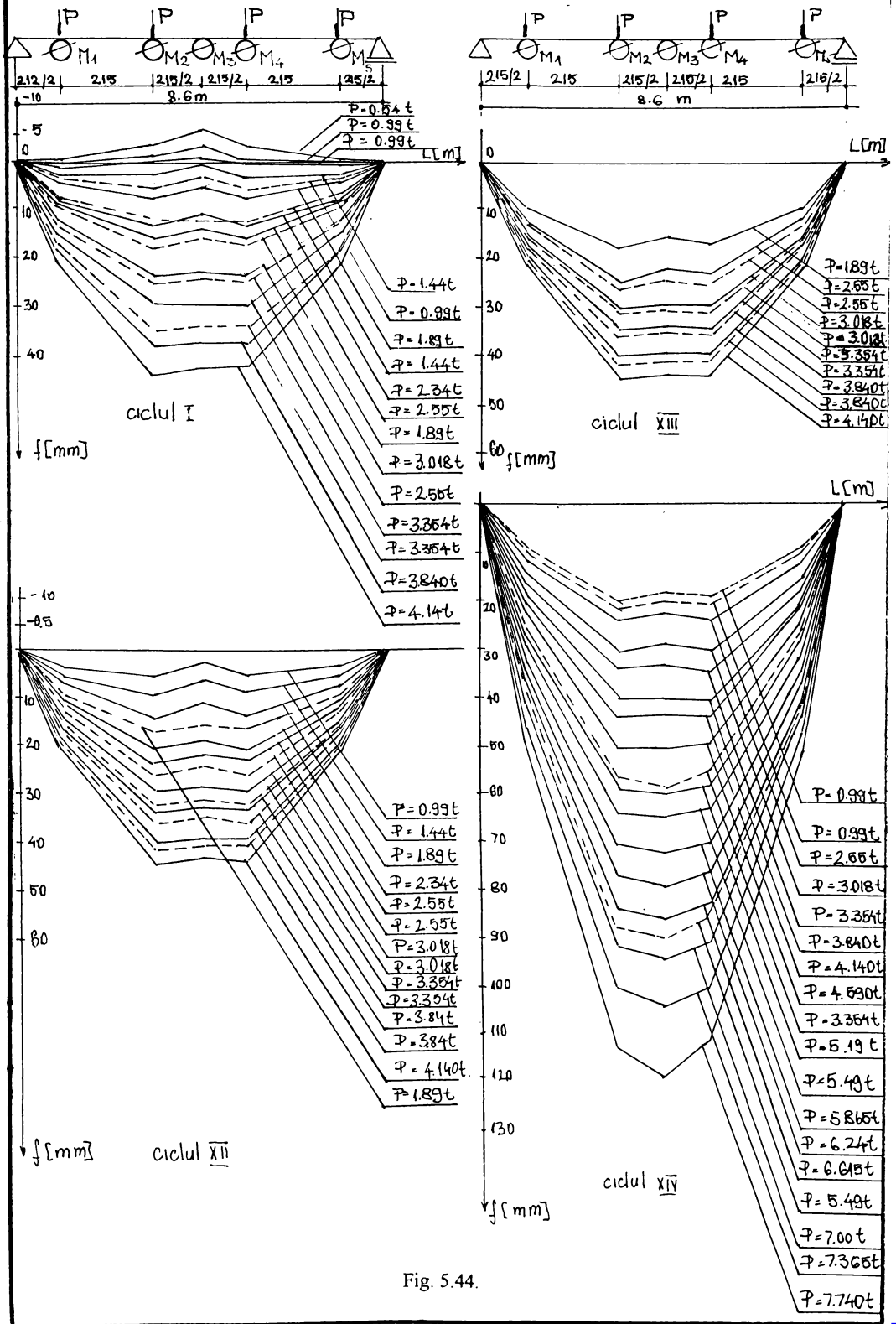


Fig. 5.44.

Reprezentarea grafica a deformatelor sub incarcari la grinda GU15-6c

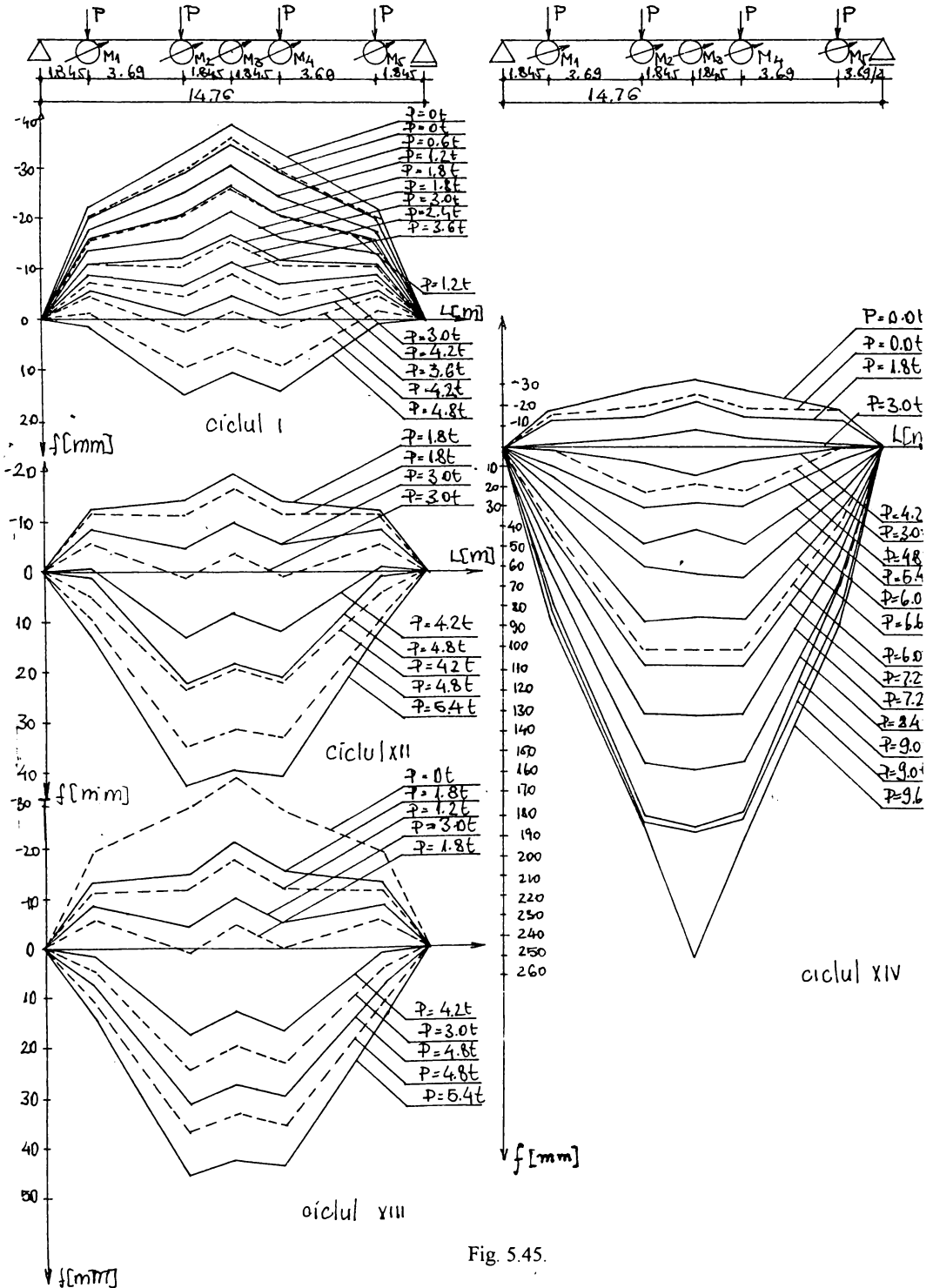


Fig. 5.45.

Reprezentarea grafica a deformatiei sub incarcari la grinda GU15-6cm

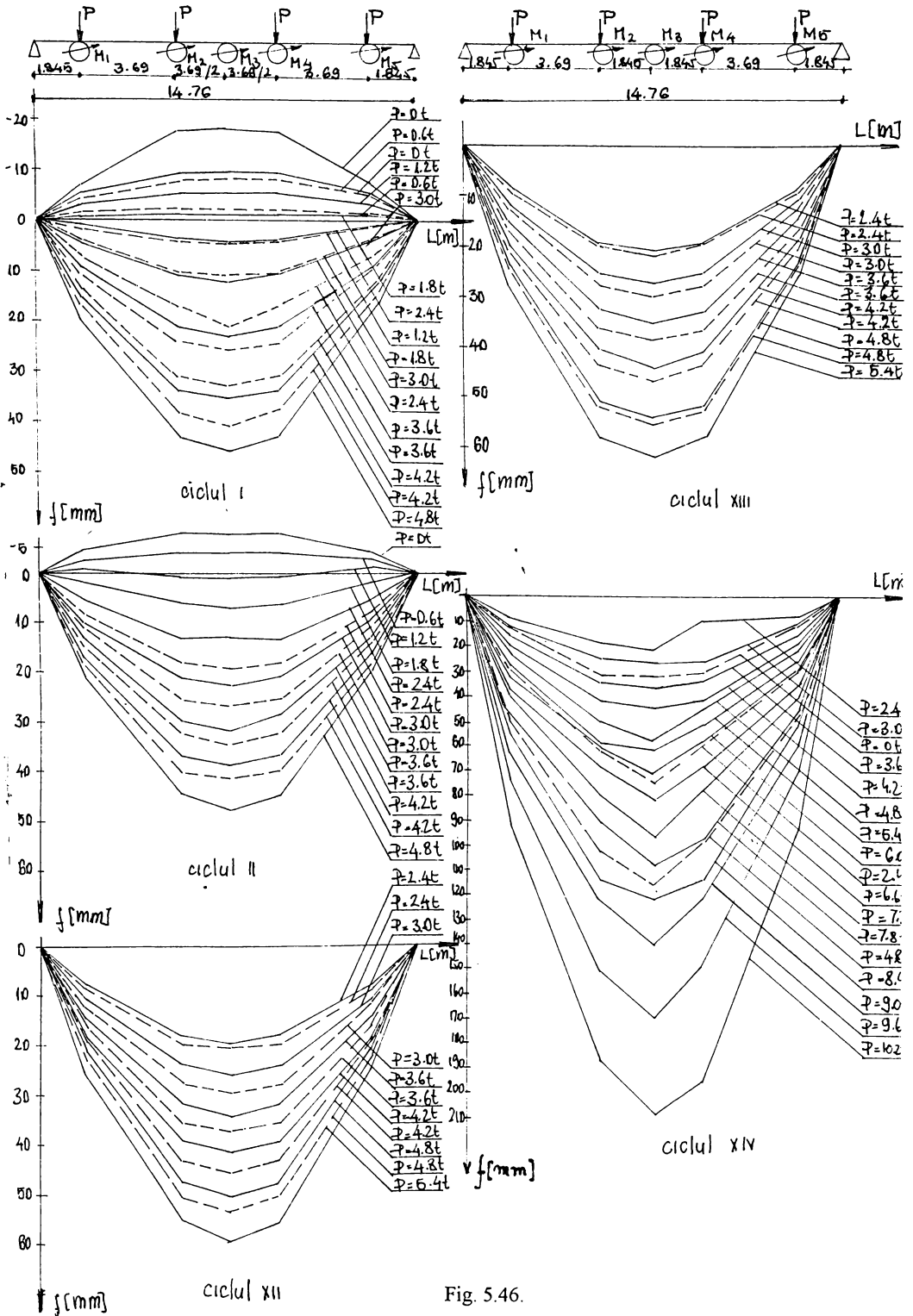


Fig. 5.46.

$P-f_3$ pentru mijlocul deschiderii grinzilor încercate. O reprezentare grafică inteligibilă a tuturor ciclurilor în același sistem de axe ar fi impus adoptarea unei scări mici pentru săgeți ceea ce ar fi condus la dimensiuni mari ale desenului. Din această cauză s-a adoptat soluția reprezentării succesive pe orizontală a diagramelor, afectându-se fiecărui ciclu de încărcare-descărcare câte un alt sistem de axe, dar toate având axele absciselor coliniare. Treptele de încărcare exprimate în [t] sunt reprezentate pe axa ordonatelor, iar săgețile f_3 la mijlocul deschiderii grinzilor sunt exprimate în [cm] și sunt reprezentate pe axa absciselor.

Din analiza figurilor 5.43. ÷ 5.46. și figurilor 5.47. ÷ 5.50. se constată o comportare elastică a elementelor, revenirile producându-se aproape complet pe parcursul celor zece cicluri (C2 ÷ C11) de la treapta de încărcare corespunzând exploatării experimentale și chiar pe parcursul celor două cicluri de suprasarcină (C12, C13) și a descărcării de la suprasarcină.

Sub încărcările de exploatare, grinzile cu precomprimare limitată au prezentat săgeți mai mici decât grinzile cu precomprimare moderată. La trepte mai mari ale încărcării săgețile grinzilor cu PL au devenit mai mari decât cele ale grinzilor cu PM. Datele sunt prezentate în tabelul 5.32.

Tabelul 5.32.

Tip grindă		GU9-6a	GU9-6am	GU15-6c	GU15-6cm
f_{\max} [mm] în ciclul C11 la treapta P=	=38.40 kN	13.50	39.30	-	-
	=48.00 kN	-	-	18.30	50.10
f_{\max} [mm] în ciclul C14 la treapta P=	=66.20 kN	130.20	86.30	-	-
	=90.00 kN	-	-	152.80	127.80

Explicația acestei schimbări în starea de deformație se află în prezența armăturii nepretensionate complementare care datorită bunei aderențe cu betonul duce la o bună comportare a grinzilor cu precomprimare moderată și armare mixtă la starea limită de deformație. Aspecte ale modului de deformare grinzilor supuse încărcărilor sunt prezentate în figura 5.51.

În tabelul 5.33. sunt prezentate mărimile săgeților maxime ale grinzilor pentru cele trei valori ale încărcării de exploatare totale (proiect tip [P.12.], teoretică și experimentală) după 10 cicluri de încărcare-descărcare (C11).

Tabelul 5.33.

P [kN]		Săgeți maxime f_{\max} [mm] la ciclul C11			
		GU9-6a	GU9-6am	GU15-6c	GU15-6cm
P^E_{catalog}	27.80	-3.20	26.50	-	-
	40.00	-	-	8.30	41.70
P^E_{teoretic}	30.18	0.20	29.60	-	-
	41.66	-	-	10.00	43.00
P^E_{exper}	38.40	13.50	39.30	-	-
	48.00	-	-	18.30	50.10

O comparație făcută între rezultatele obținute prin calcul și cele experimentale, arată că metoda de calcul a săgeții, propusă în lucrare, conduce la sensibilă apropiere.

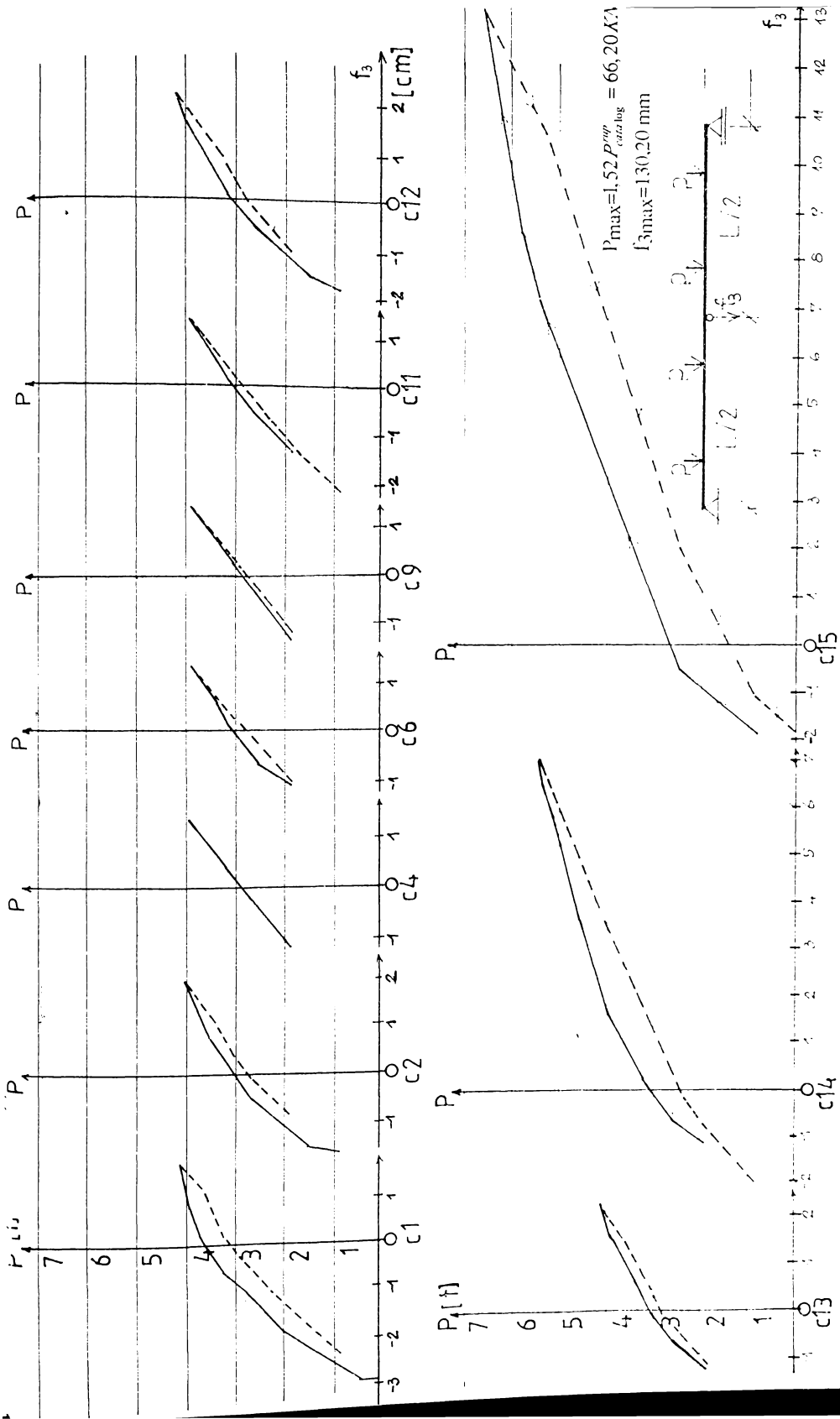


Fig. 5.47. Diagramme P-f3 la grinda GU9-6a

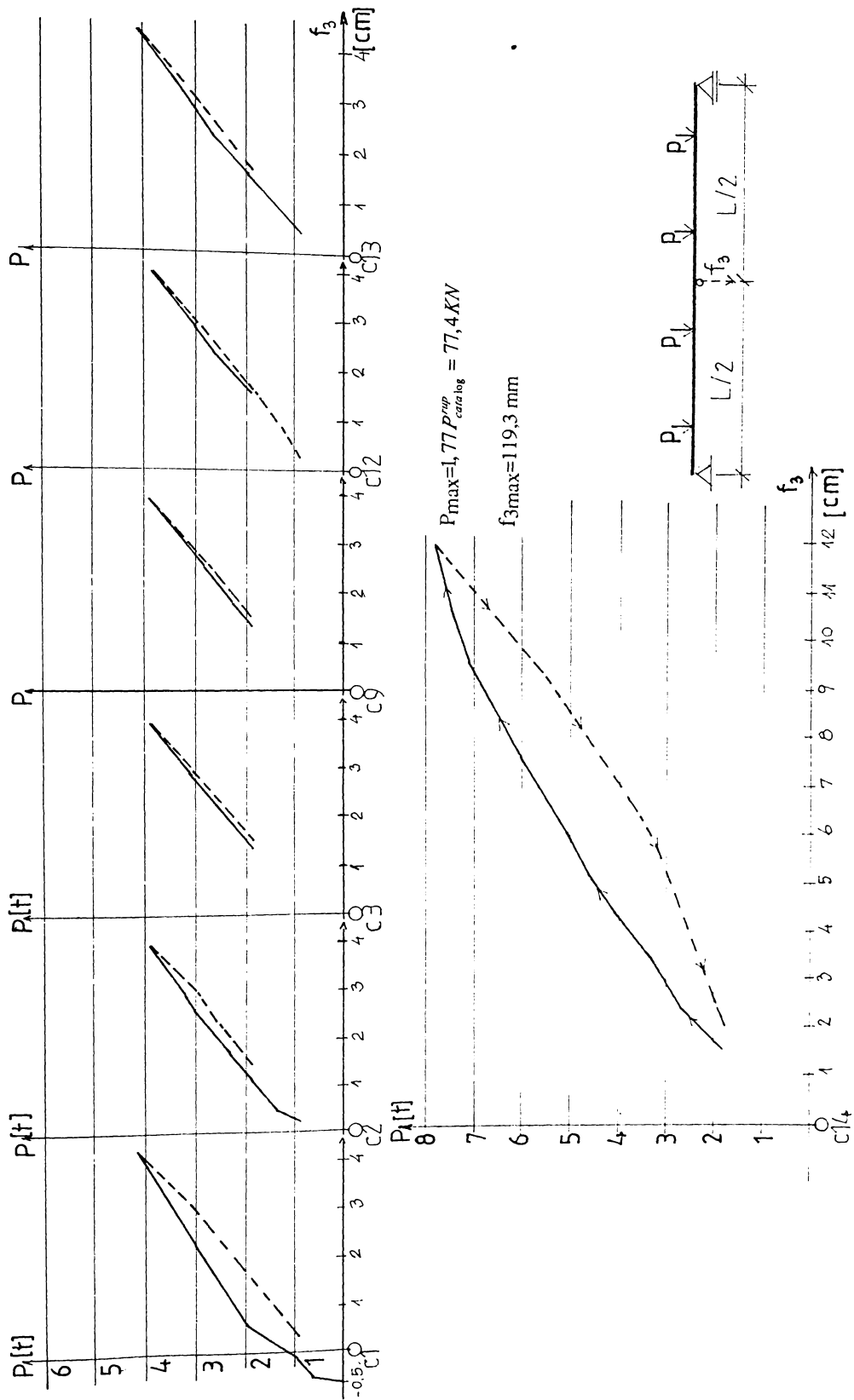


Fig. 5.10 Diagrama P₁ în la orinda C119.6am

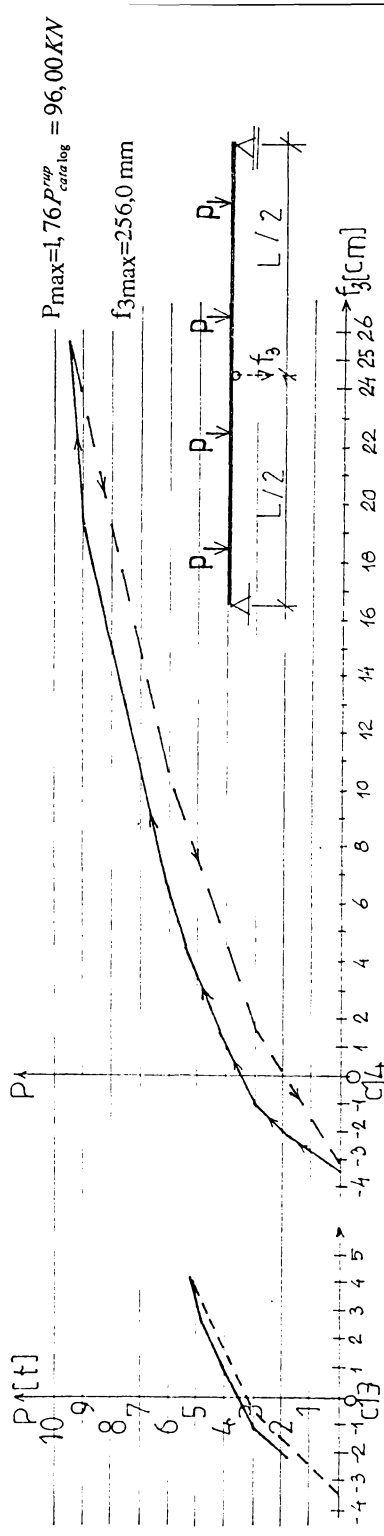
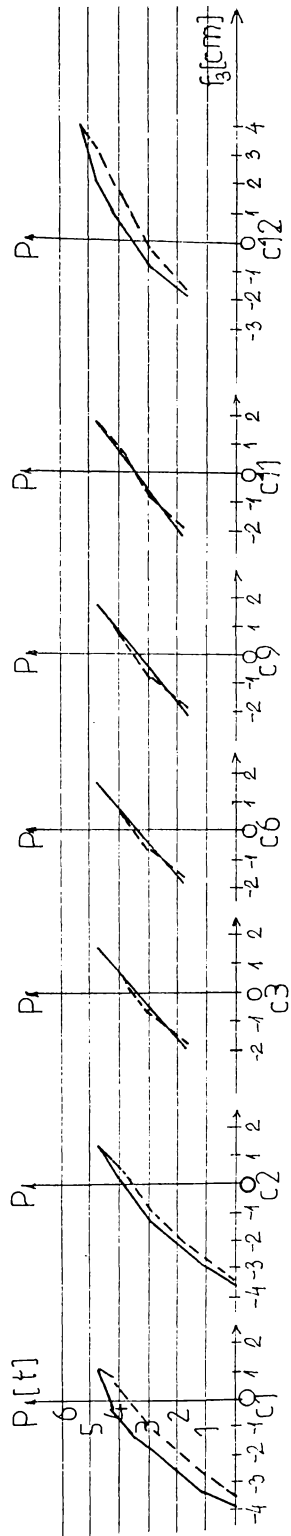


Fig.5.49. Diagramme P-f3 la grinda GUI5-6c

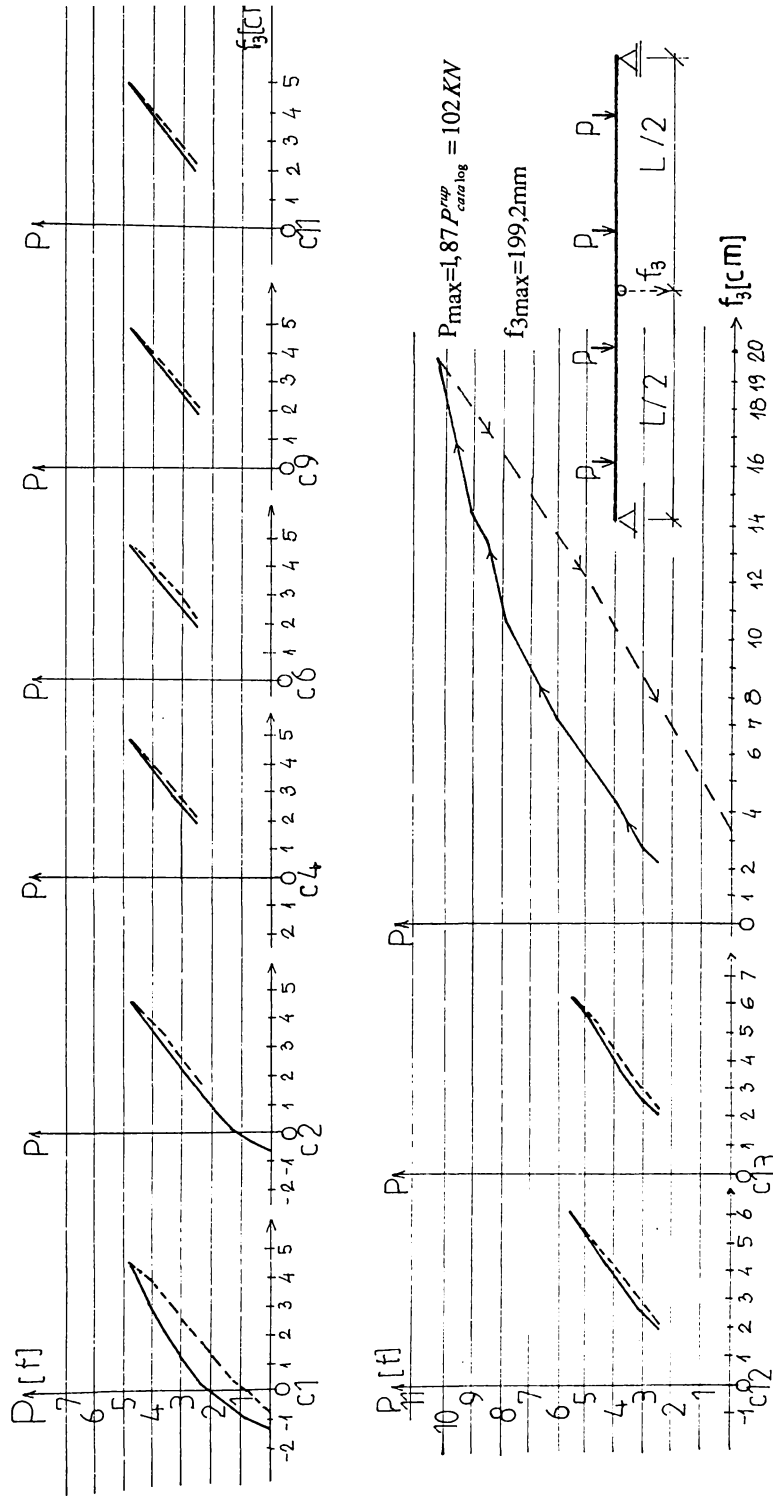


Fig. 5.50. Diagramme P-f₃ la grinda GUI5-6cm

Sub încărcări de exploatare corespunzătoare treptelor din proiect și teoretice, valorile experimentale ale săgeților maxime nu le depășesc pe cele admise prescrise atât în normele naționale [S.1.] cât și de normele internaționale [E.2.] , tabelele 5.31., 5.33., 5.34. Sub încărcările de exploatare experimentale doar săgeata maximă a grinzii GU9-6am a depășit cu 9.1 % valoarea admisă de L/250 [E.2.], iar în raport cu prevederile normelor românești săgeata maximă la GU9-6am depășește cu 31 % și la GU15-6cm depășește cu 0.2 % valorile admise de L/300 [S.1.]. Se apreciază că rezervele grinzilor cu precomprimare moderată sunt consistente, deoarece la trepte de încărcare ce depășesc pe cele de exploatare, săgețile maxime ale acestora devin inferioare săgeților maxime ale grinzilor cu precomprimare limitată, tabelul 5.32. Hotărâtor este aportul pe care îl are armătura nepretensionată complementară realizată cu bare profilate la care aderența cu betonul este foarte bună.

La grinzile din BPP încercate, s-a urmărit evoluția deformațiilor specifice ale betonului pe înălțimea a trei secțiuni transversale (C, D, F) utilizând tensometria mecanică și tensometria electrică, așa cum la punctul 5.3.2. a fost prezentat. Citirile făcute la treptele de încărcare indicate în figura 5.32. au fost prelucrate pentru obținerea mărimii deformațiilor specifice. Utilizându-le s-au trasat diagrame de variație a deformațiilor specifice pe înălțimea secțiunilor transversale pentru aceste trepte de încărcare. Exemplificări sunt făcute în figura 5.52. Rezultatele obținute sunt influențate de momentul aplicării aparatelor de măsură (timbre electrezistive și microcomparatoare) pe beton. În cazul grinzilor încercate, această operațiune s-a efectuat după așezarea grinzilor în standul de încercare, deci după producerea transferului când sub efectul forțelor de precomprimare se produc deformații.

La elementele din BPP cu armătură pretensionată preântinsă, evoluția deformațiilor specifice ale betonului trebuie să fie urmărită începând cu “citirea zero” efectuată înainte de transfer. În caz contrar, deformațiile specifice ale betonului sub sarcini se vor raporta la o stare de deformație nenulă produsă de forțele de precomprimare și existentă în grinzile din BPP cu armătură preântinsă imediat după producerea transferului.

Analiza rezultatelor obținute corelate cu comportarea sub încărcări, conduce la concluzia că în zona solicitată la întindere, deformația specifică limită a betonului se atinge la o treaptă de încărcare mai mică pentru grinzile din BPP cu PM și armare mixtă decât la grinzile din BPP cu PL. Pentru zona comprimată, deformația specifică limită pentru beton nu s-a atins la nici o grindă încercată.

5.3.5.3. Capacitatea portantă a grinzilor.

Tehnologia încercării a prevăzut ca după descărcarea de la suprasarcina ciclului C13 să se procedeze la aplicarea unui ciclu de încărcare cu trepte până la cea corespunzătoare încărcării teoretice de rupere. Cu toate că încărcarea a continuat și peste acest nivel, grinzile nu au fost solicitate până la atingerea stării limită ultime de rezistență. Neajungându-se la colaps, elementele au îndeplinit condițiile pentru a putea fi utilizate în următoarele două etape de încercare ale programului experimental.

Tabelul 5.34.

Tip grinda	Rigiditatea $K \times 10^6$ [daN cm ²]						Sageata f_x [mm]						Contrasageata [mm]						Sageata maximă f [mm]				f_{adm}	
	Calculată pe tronsoane						Prima metoda	Metoda a 2-a	Metoda propusă	f_x	f_x	f_x	Experimental P_{analog}^E $P_{geometric}^E$ P_{exper}^E	f_0	f'	Experimental	Prima metoda (5.10.)	A doua metoda (5.10.)	A treia metoda (5.23.)	Metoda propusă (5.36.)	Experimental P_{analog}^E $P_{geometric}^E$ P_{exper}^E	1/300 L [S.1.] [mm]	1/250 L [E.2.] [mm]	
	Metoda a 2-a		Metoda propusă		$K_{II}(5.16.)$	Ψ																		K _{2N}
	1	2	3	4																				
GJ15-6c	3.824	2.041	0.909	2.285	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14(8+1)	15(6+1)	16(9+1)	17(7+1)	18(10+1)	19	20	50.00	60.00		
	9.196	4.496	0.898	4.716																				
	23.247	11.871	0.877	12.392																				
	31.283	12.322	0.855	15.917																				
GJ15-6cm	3.824	2.215	0.913	2.341	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14(8+1)	15(6+1)	16(9+1)	17(7+1)	18(10+1)	19	20	50.00	60.00		
	9.196	4.886	0.902	5.011																				
	23.247	12.673	0.883	12.803																				
	31.283	16.236	0.861	16.714																				

Rezultatele experimentale privind comportarea grinzilor din punctul de vedere al deformațiilor sub încărcările aplicate în ciclul C14 sunt prezentate în tabelul 5.35.

Tabelul 5.35.

Treapta încărcare	Tip grindă	Săgeți maxime f_{max} [mm] la ciclul C14 de încărcare			
		GU9-6a	GU9-6am	GU15-6c	GU15-6cm
$P_{catalog}^{rup}$ [kN]	43.50	28.45	47.00	-	-
	54.45	-	-	44.40	62.40
$P_{teoretic}^{rup}$ [kN]	60.50	94.50	76.05	-	-
	75.00	-	-	85.10	101.30
P_{max} [kN]	$66.20=1.52P'_c$	130.20	86.30	-	-
	$96.00=1.76P'_c$	-	-	256.00	170.20
		L/100 = 90 mm L/50 = 180 mm		L/100 = 150 mm L/50 = 300 mm	

Analiza rezultatelor prezentate în tabelul 5.35. conduce la următoarele observații :

- la trepte de încărcare $P_{catalog}^{rup}$ corespunzătoare momentelor încovoietoare capabile precizate în proiectele [P.12.], săgețile maxime ale grinzilor încercate nu au depășit valoarea L/100;
- sub acțiunea încărcării teoretice de rupere $P_{teoretic}^{rup}$ săgețile maxime ale grinzilor încercate rămân mai mici decât valoarea raportului L/100;
- sub acțiunea unor încărcări ce depășesc cu peste 50 % intensitatea estimată la proiectare a forței de rupere ($P_{catalog}^{rup}$), săgețile maxime ale grinzilor rămân inferioare valorii raportului L/50.

Săgețile maxime nu au putut atinge valoarea raportului L/50 corespunzând rupei convenționale prin depășirea săgeții, datorită unor condiții de ordin tehnologic legate de utilajul de încărcare.

În figura 5.51. sunt prezentate deformatiunile grinzilor încercate sub acțiunea încărcărilor mari ale ciclului de încărcare C14.

Din punctul de vedere al fisurării, s-a pornit în ciclul de încărcare C14 de rupere, cu valori ale deschiderii medii a fisurilor la treapta P_{exper}^E conforme cu datele de mai jos și respectând condițiile prescrise :

- 0.097 mm la grinda GU9-6a,
- 0.068 mm la grinda GU9-6am,
- 0.106 mm la nivelul "a" și 0.0931 mm la nivelul "b" la grinda GU15-6c,
- 0.071 mm la nivelul "a" și 0.076 mm la nivelul "b" la grinda GU15-6cm.

Odată cu creșterea încărcărilor s-a mărit deschiderea fisurilor normale și au apărut fisurile înclinate. Procesul fisurării a fost în detaliu prezentat la punctul 5.3.5.1.

La treptele de încărcare corespunzând celor de rupere (din proiect și teoretice), mărimea deschiderii fisurilor a depășit valoarea admisă, dar nici o fisură nu a prezentat o deschidere pronunțată mai mare decât a celorlalte, fapt ce ar fi putut indica o potențială secțiune transversală de rupere.

După descărcarea de la treapta maximă (vezi tabelul 5.35.) s-a constatat o revenire cvasitotală a grinzilor. În tabelul 5.36. este prezentată starea de deformație prin valoarea

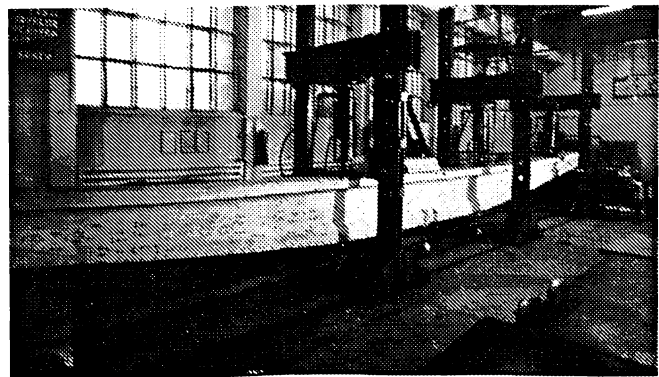
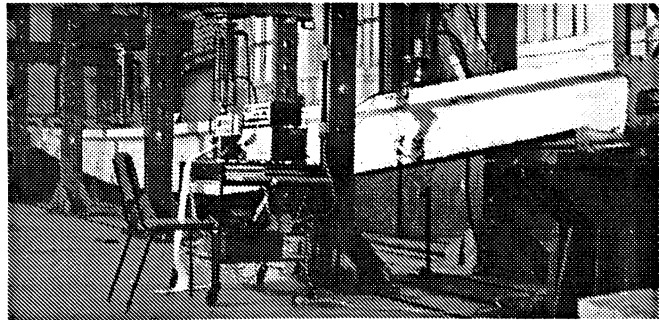
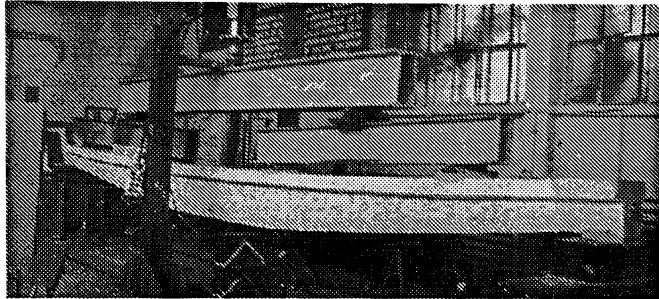
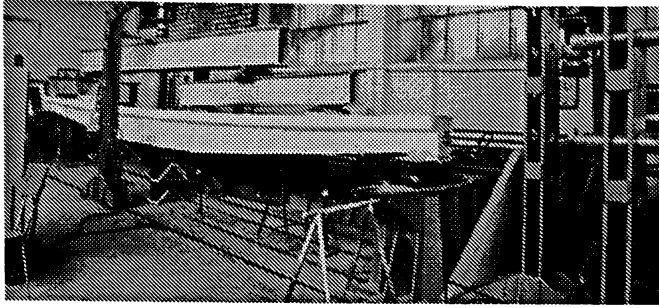


Fig. 5 51

Diagrame de deformatii specifice ale betonului pe inaltimea sectiunii transversale I-I,II,III prin tensometrie electrica pentru GU 15-6c [$\mu\text{m}/\text{m}$]

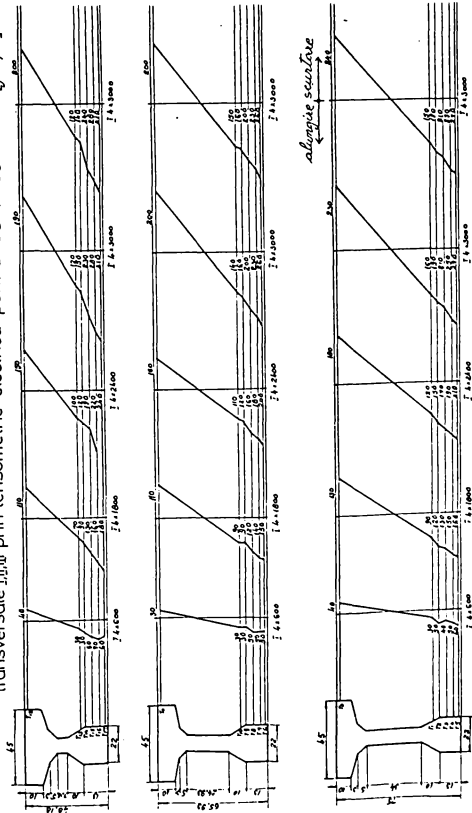


Diagrama de deformatii specifice ale betonului pe inaltimea sectiunii transversale I,II,III determinate prin tensometrie electrica GU 15-6c [$\mu\text{m}/\text{m}$]

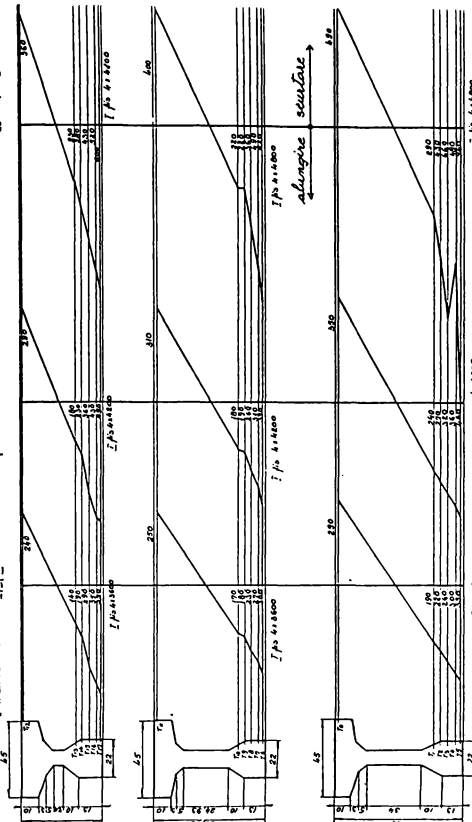


Diagrama de deformatii specifice ale betonului pe inaltimea sectiunii transversale I,II,III determinate prin tensometrie electrica GU 15-6c [$\mu\text{m}/\text{m}$]

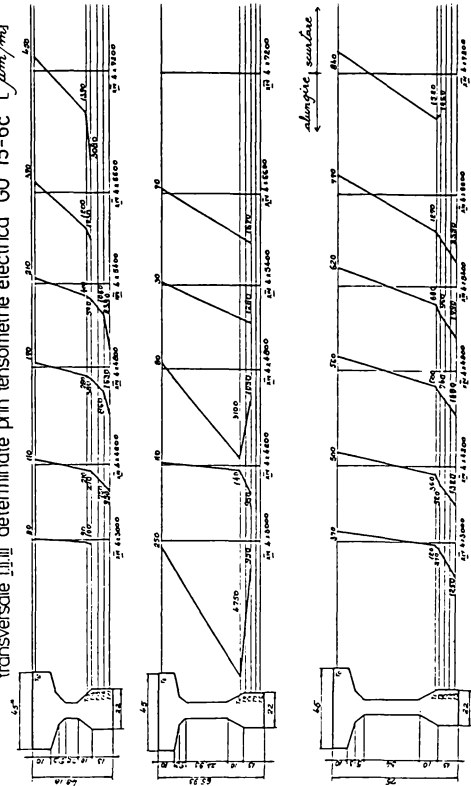
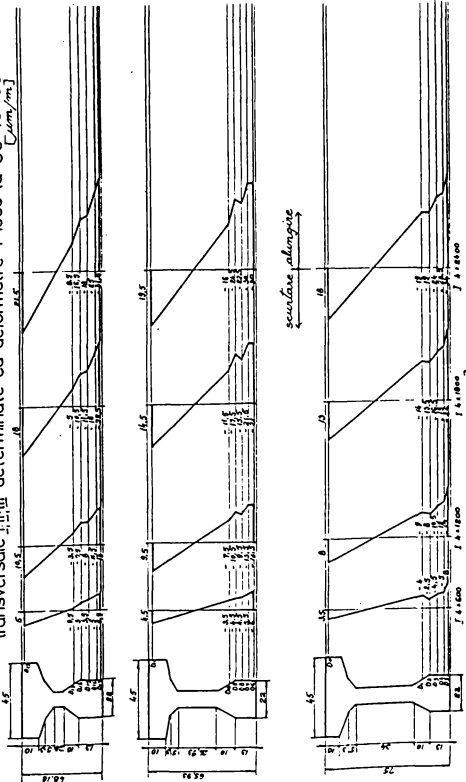
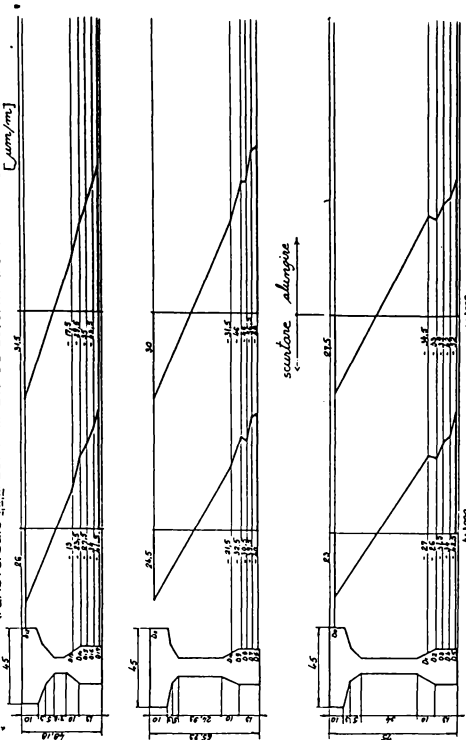


Figura 5.52. a

Diagrame de deformatii specifice ale betonului pe înălțimea secțiunii transversale [i,ii,iii] determinate cu deformetre 1:1000 la GU 15-6c



Diagrame de deformatii specifice ale betonului pe înălțimea secțiunii transversale [i,ii,iii] determinate cu deformetre 1:1000 la GU 15-6c



Diagrame de deformatii specifice ale betonului pe înălțimea secțiunii transversale [i,ii,iii] determinate cu deformetre 1:1000 la CU 15-6c

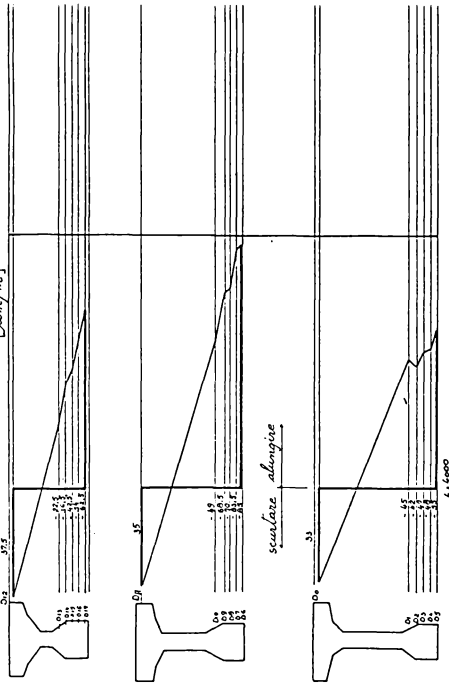


Figura 5.52. b

Diagrama de deformatii specifice ale betonului pe inaltimea sectiunii transversale I,II,III determinate prin tensometrie electrica GU 15-6cm [$\mu\text{m}/\text{m}$]

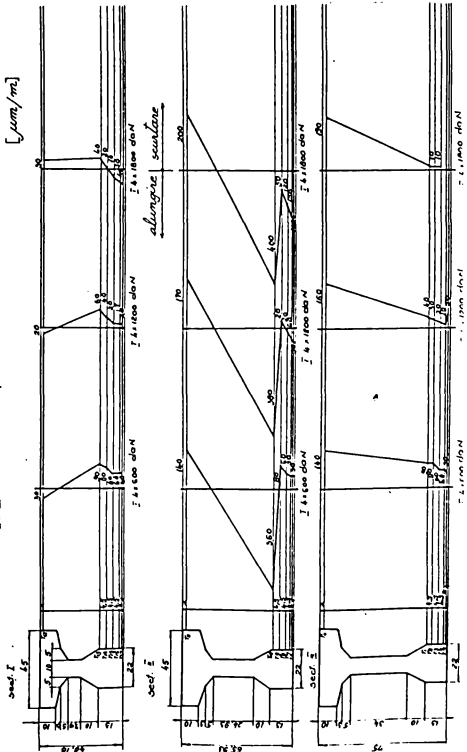
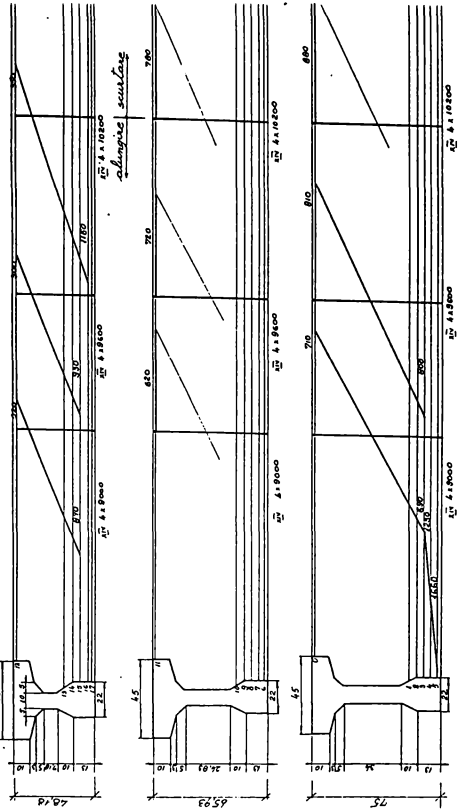


Diagrama de deformatii specifice ale betonului pe inaltimea sectiunii transversale I,II,III determinate prin tensometrie electrica GU 15-6cm [$\mu\text{m}/\text{m}$]



Diagrame de deformatii specifice ale betonului pe inaltimea sectiunii transversale determinate cu deformatre 1:1000 la GU 15-6cm [$\mu\text{m}/\text{m}$]

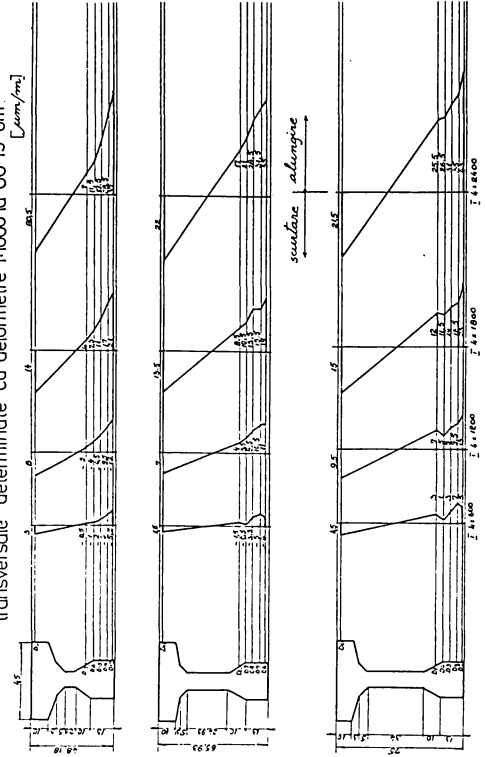


Figura 5.52. c

săgeților (contrasăgeților) la mijlocul deschiderii grinzilor la treapta $P=0$ obținută prin descărcarea, în ciclul C14, de la “rupere”.

Tabelul 5.36.

Treapta de încărcare	Săgeți la mijlocul deschiderii la descărcare de la “rupere”			
	GU9-6a	GU9-6am	GU15-6c	GU15-6cm
P=0 în ciclul C14	-19.90 mm	18.80	-25.50	32.90

Fisurile au înregistrat și ele un proces de închidere în urma descărcării de la “rupere” a grinzilor. Asupra acestui aspect se va reveni la prezentarea etapei intermediare (studiul asupra durabilității) a programului experimental.

5.3.6. Cercetări experimentale asupra durabilității elementelor din BPP.

Grinzile din BPP supuse încercărilor în etapa inițială a programului experimental, au trecut imediat după încheierea acestora să îndeplinească rolul de elemente experimentale ale etapei intermediare a aceluiași program. Obiectivul celei de-a doua etape a cercetării a fost stabilit ca fiind studiul durabilității grinzilor din BPP cu PL și PM după ce în prealabil aceste elemente au fost încercate fiind supuse unor încărcări statice de scurtă durată care au provocat prefisurarea. Ca obiectiv secundar, legat de primul prin aceea că-l influențează, a fost stabilit în urmărirea evoluției deschiderii fisurilor sub acțiunea încărcării din greutate proprie și a deformațiilor de durată ale materialelor.

După descărcarea de la treapta de încărcare maximă a ciclului C14 (vezi punctul 5.3.5.3.) grinzile au fost scoase din dispozitivul de încercare, au fost transportate și depozitate pe o platformă amenajată în imediata vecinătate a Laboratorului de Beton a Facultății de Construcții din Timișoara.

Operațiunile s-au desfășurat în luna septembrie 1986 pentru grinzile de tip GU9-6 și în decembrie 1988 pentru grinzile de tip GU15-6. Acestea au constituit datele de începere a experimentărilor pentru etapa intermediară. Expunerea grinzilor s-a făcut în medii naturale, acestea fiind supuse contactului direct cu :

- intemperiiile,
- variațiile mici de temperatură între zi și noapte,
- variațiilor mari de temperatură între anotimpuri,
- aerajul liber.

În aceste condiții se apreciază că experimentările se efectuează printr-o încercare de lungă durată.

Pozițiile în care grinzile au fost așezate sunt următoarele :

(i) grinzile de tip GU9-6 au fost așezate pentru prima perioadă de trei ani (1986-1989) rezemând continuu pe platforma betonată prin intermediul talpii superioare, adică cu zona prefisurată înspre sus; pentru a doua perioadă de trei ani (1989-1992) rezemate la capete, fiind în poziția de lucru în exploatare (serviciu) cu zona prefisurată înspre jos,

iar în continuare pozițiile de așezare alternând pentru perioade de câte trei ani între cele două variante descrise;

(ii) grinzile de tip GU15-6 au fost de la început (1988) așezate rezemând la capete cu zona prefisurată orientată în jos și păstrate pentru acest experiment, numai în această poziție.

Pentru fiecare din cele patru grinzi s-au pus sub observație un număr de 6-8 fisuri normale pe axa elementului, acestea sunt precizate mai jos :

- pentru grinda GU9-6a : F1, F2, F3, F7, F24, F29, F30, F31;
- pentru grinda GU9-6am : F1, F2, F3, F7, F12, F31, F59;
- pentru grinda GU15-6c : F2, F9, F12, F16, F22, F27;
- pentru grinda GU15-6cm : F1, F5, F9, F10, F16, F18, F19, F20.

În scopul unei facile identificări, aceste fisuri au fost machiate suplimentar cu vopsea de culoare roșie.

Observații asupra grinzilor prin prisma obiectivelor urmărite s-au făcut la intervale de câte trei ani (1989, 1992, 1995) pentru cele de tip GU9-6 și la interval de patru ani, iar apoi de câte trei ani (1992, 1995) pentru cele de tip GU15-6.

Un set de observații pentru câte o grindă constă din următoarele :

- măsurători ale mărimii deschiderii fisurilor selectate, pentru poziția cu grinda rezemată la capete;
- adâncimea pe care betonul s-a carbonat, măsurată pe direcție perpendiculară pe fețele grinzilor și pe suprafața de rupere prin fisurare (secțiunea fisurată);
- cercetarea armăturilor în dreptul unei fisuri în urma eliberării acestora prin îndepărtare betonului prin cioplire.

Mărimea deschiderii fisurilor s-a măsurat cu lupa micrometrică la nivelele precizate în figura 5.33. Măsurătorile s-au prevăzut a fi efectuate pentru poziția, defavorabilă deschiderii fisurilor, de simplă rezemare. De fapt și poziția de rezemare pe platformă prin intermediul tălpilelor superioare este dezavantajoasă fisurilor datorită formei curbe a suprafeței de rezemare ca o consecință a contrasăgeții.

Adâncimea de pătrundere a carbonatării în beton pe cele două direcții s-a determinat în zonele în care betonul s-a cioplit pentru eliberarea armăturilor. S-a utilizat reacția de identificare cu soluție 1% fenolftaleină. Betonul cu $\text{PH} \geq 9.3$ se colorează în roșu, iar betonul carbonat având $\text{PH} < 8.3$ rămâne incolor.

Investigarea armăturilor s-a făcut prin observare vizuală directă.

Prima investigație s-a efectuat la 3 octombrie 1989 asupra grinzilor de tip GU9-6. Determinările asupra mărimii deschiderii fisurilor sunt prezentate în tabelul 5.37. [C.15.].

Armătura a fost descoperită îndepărtând betonul prin spargere (cioplire) în secțiunea cu fisura F16 pentru grinda GU9-6a și în secțiunea cu fisura F46 pentru grinda GU9-6am. Cu această ocazie s-a verificat modul de dispunere al armăturilor în secțiune, constatându-se că au fost respectate atât grosimea stratului de acoperire cu beton cât și distanțele între barele de oțel prevăzute prin proiectare.

Betonul supus testului nu indică producerea carbonatării nici în zonele dintre fisuri și nici în adâncimea fisuri. Situația constatată concordă cu rezultatul calculului

Tip grindă	.Fisura	Mărimea deschiderii fisurilor [mm] la 3 oct. 1989.			Obsevații
		Nivelul de citire (figura 5.33.)			
		1	2	3	
GU9-6a	F1	0.02	0.02	0.02	
	F2	0.01	0.03	0.02	
	F3	0.00	0.00	0.00	inchisă
	F7	0.00	0.00	0.00	inchisă
	F24	0.02	0.02	0.02	
	F29	0.02	0.02	0.02	
	F30	0.02	0.02	0.00	
	F31	0.00	0.02	0.02	
Deschidere medie		0.0150	0.0216	0.0166	
GU9-6am	F1	0.05	0.05	0.03	
	F2	0.05	0.04	0.03	
	F3	0.05	0.04	0.03	
	F7	0.00	0.02	0.00	
	F12	0.03	0.03	0.02	
	F31	0.02	0.02	0.02	
	F59	0.02	0.02	0.02	
Deschidere medie		0.0314	0.0314	0.0214	

recomandat în [B.16.] care pentru perioada de expunere de trei ani, biografia și calitatea betonului și condițiile de expunere conduce la o adâncime teoretică de carbonatare de până la 0.5 mm.

Armătura descoperită nu a prezentat semne ca s-ar fi declanșat procesul de coroziune al oțelului. Observația este valabilă atât pentru armătura pretensionată cât și pentru armătura nepretensionată.

Următoarea investigație s-a efectuat în noiembrie 1992. La grinzile GU15-6 cercetate pentru prima oară după patru ani de expunere, s-au făcut constatări asemănătoare celor mai sus prezentate pentru grinzile GU9-6, motiv pentru care nu sunt reluate.

Pentru grinzile GU9-6 care aveau 6 ani de expunere nu s-a constatat o semnificativă modificare a stării observate la prealabila cercetare. Micile deosebiri între cele două grupuri de date experimentale culese sunt înregistrate.

După scurgerea a încă trei ani de expunere s-a efectuat o altă cercetare, a celor patru grinzi, la începutul anului 1996. Constatările făcute sunt prezentate în cele ce urmează.

Prin încercări nedistructive cu sclerometrul cu recul și cu ultrasunete s-a determinat rezistența la compresiune a betonului prin cele trei metode pe care aceste încercări le fac posibile și anume : metoda curbei unice dată în prospectul aparatului, metoda ultrasonică de impuls (funcție de viteza de propagare a ultrasunetelor) și metoda combinată. Valorile obținute se încadrează pentru cele patru grinzi în intervalul 55.0-60.0 N/mm². Cu datele cunoscute s-a calculat cu metoda dată în [B.16.] adâncimea de carbonatare, obținându-se valorile (teoretice) :

- pentru grinzile GU9-6 având o vechime de 9 ani : 1.08 mm
- pentru grinzile GU15-6 având o vechime de 7 ani : 0.95 mm.

Testul prin reacția de identificare cu soluție 1% fenolftaleina a condus la observația că procesul de carbonatare nu se produce la betonul care marginește fisura în adâncime. Explicația se poate da prin mărirea redusă a deschiderii fisurilor. Este evident avantajul pe care precomprimarea parțială în general și precomprimarea moderată în special îl asigură pentru durabilitatea elementelor prin posibilitatea controlului fisurării limitând la valori foarte mici deschiderea fisurilor.

Pentru grinzile investigate s-au măsurat deschideri ale fisurilor comparabile ca mărime cu cele admise sub sarcini de exploatare de lungă durată. Determinările experimentale sunt prezentate în tabelele 5.38, 5.39.

Analiza datelor obținute arată că fisurile cu foarte mică deschidere nu pun în pericol durabilitatea elementelor din BPP nepermițând producerea și patrunderea coroziunii betonului prin carbonatare pe adâncimea lor.

Testul prin reacția de identificare a indicat că procesul de carbonatare al betonului s-a produs doar superficial la nivelul suprafețelor de contact ale acestuia cu mediul exterior, pătrunderea în adâncime fiind nesemnificativă (de ordinul zecimilor de milimetru).

Armătura pretensionată și nepretensionată a fost descoperită prin îndepărtarea stratului de acoperire din beton în câte o secțiune fisurată pentru fiecare grindă. S-a constatat că la nici o grindă nu s-a declanșat procesul de coroziune al armaturilor (nici chiar în secțiune fisurată). Durabilitatea armaturilor pretensionate și nepretensionate complementare este asigurată datorită mării reduse a deschiderii fisurilor, posibil de realizat la elementele din BPP.

Analiza rezultatelor experimentale mai sus prezentate conduce la formularea următoarelor interpretări :

- betonul de calitate superioară având o rezistență la compresiune de peste 50.0 N/mm², cărui i s-a asigurat o bună tehnologie a punerii în opera, suferă un proces lent de carbonatare, astfel încât dezcalcinizarea este superficială;
- betonul care marginește fisurile în adâncimea lor nu se carbonatează dacă mărimea deschiderii fisurilor nu depășește 0.05 mm;
- betonul de calitate superioară caracterizat de bună compactitate, continuitate și omogenitate, constituie o foarte bună protecție armaturii pe care o înglobează (pretensionată sau nepretensionată);
- fisurile având mărimea deschiderii de până la 0.05 mm considerate închise, nu pun în pericol de coroziune armătura de înaltă rezistență caracterizată de mare sensibilitate.

Starea de fisurare fiind atât de importantă pentru asigurarea durabilității betonului și a armaturii și implicit a elementelor din BPP, se recomandă soluția constructivă a precomprimării moderate cu armare mixtă deoarece prezența armaturii nepretensionate complementare permite un control mai sever al procesului de fisurare.

Tabelul 5.38.

α_f [mm] la Grinda GU9-6a			
Fisura	Nivelul 1	Nivelul 2	Nivelul 3
F 1	0.017	0.015	-
F 2	0.00	0.00	0.00
F 3	0.00	0.00	0.00
F 7	0.022	0.020	0.020
F 24	0.017	0.012	-
F 29	0.015	0.015	-
F 30	0.00	0.00	0.00
F 31	0.017	0.017	-
α_{fmed}	0.0176	0.0158	0.004
α_f [mm] la Grinda GU9-6am			
F 1	0.05	0.05	0.03
F 2	0.05	0.04	0.03
F 3	0.05	0.04	0.03
F 7	0.01	0.03	0.00
F 12	0.04	0.03	0.01
F 31	0.03	0.02	0.02
F 59	0.03	0.02	0.01
α_{fmed}	0.0371	0.0328	0.0185

Tabelul 5.39.

α_f [mm] la Grinda GU15-6c				
Fisura	Nivelul a	Nivelul b	Nivelul c	Nivelul d
F 2	0.00	0.00	0.00	0.00
F 9	0.00	0.00	0.00	0.00
F 12	0.022	0.020	0.020	0.015
F 16	0.018	0.017	0.017	0.017
F 22	0.00	0.00	0.00	0.00
F 27	0.00	0.00	0.00	0.00
α_{fmed}	0.020	0.0185	0.0185	0.016
α_f [mm] la Grinda GU15-6cm				
F 1	0.04	0.04	0.02	0.01
F 5	0.03	0.02	0.01	0.01
F 9	0.03	0.01	0.01	0.01
F 10	0.02	0.02	0.01	0.00
F 16	0.05	0.03	0.02	0.01
F 18	0.03	0.02	0.01	0.00
F 19	0.05	0.03	0.01	0.00
F 20	0.02	0.01	0.00	0.00
α_{fmed}	0.0337	0.0225	0.0112	0.0050

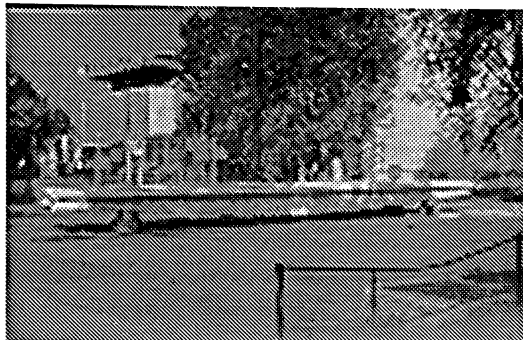


Fig. 5.53. Expunerea grinzilor pentru studiul durabilitatii.

CAPITOLUL 6

STUDIU DE SOLUTII

6.1. Studii asupra elementelor liniare de tip bară.

De la începuturile existenței lui, betonul precomprimat parțial (BPP), a întretinut în jurul său o constantă stare de divergență în aprecieri. Puternic contestat la început, de către unii, puternic susținut de către alții, a fost favorizat de scurgerea timpului, deoarece, pe parcurs și-a etalat rând pe rând bunele calități și avantaje în raport cu apropiatii săi: B.A., respectiv B.P. Așa a ajuns BPP, în situația actuală, un material cvasiunanimit acceptat. Cei care s-au aflat în polemică, s-au străduit să găsească argumente pro și contra betonului precomprimat parțial, găsindu-se în imperativa situație de a căuta, cerceta, studia. Au rezultat în consecință situațiile, funcție de un larg spectru de stări și condiții, în care betonul precomprimat parțial (BPP) trebuie să fie preferat sau nu betonului armat (BA) sau betonului precomprimat total (BP).

Pentru anumite tipuri de elemente, utilizabile în anumite tipuri de structuri, se vor prezenta în cele ce urmează câteva studii de soluții pentru BPP.

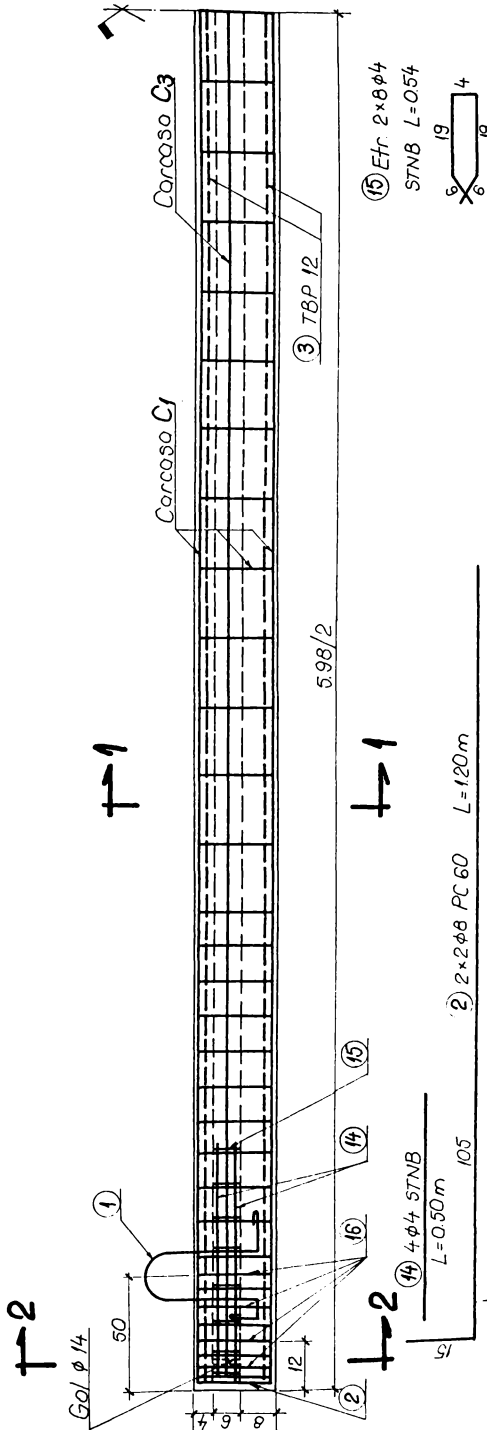
Poate și datorită faptului că primul tip de element structural pus față în față cu precomprimarea parțială a fost grinda, asupra ei s-au concentrat cele mai numeroase, insistente și detaliate studii efectuate de către specialiștii domeniului atât în țară cât și în străinătate.

Așa după cum în paragraful 2.6. s-a arătat, în țară s-a manifestat interes din partea cercetătorilor pentru BPP începând cu primii ani ai deceniului șapte, finalizate prin primele recomandări de calcul și alcătuire, 1977, care în anul următor au devenit instrucțiunile tehnice P 103-78.

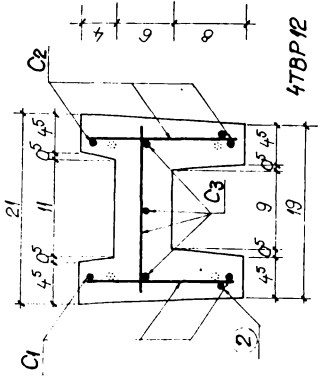
Cercetările au continuat la INCERC București prin analiza domeniului de aplicare eficientă a soluției de armare mixtă și verificarea experimentală a unor elemente de tip EP 1,5x6, GCT, FGP 1/6, rezultatele fiind preluate de IPCT și aplicate la elaborarea primului proiect de EP 1,5x6-Nr. 5521/1981. Studiile care au urmat acestei perioade au avut ca obiect: alcătuirea unor elemente de structură din BPP pentru hale parter și etajate [P.9.][C.20] la București; comportarea în exploatare, durabilitatea și ductilitatea elementelor din BPP [T.3.],[O.3.] la Cluj-Napoca; planșee precomprimare și procedee de pretensionare pe două direcții [C.23.],[C.25.] la Iași; folosirea BPP pentru construcții industriale și agricole (grinzi, planșee), durabilitatea [C.14.],[C.15.],[C.17.] la Timișoara. Fructificarea acestor studii s-a finalizat prin normele elaborate [P.10.],[S.1.], iar aplicațiile au fost sumar prezentate și comentate în Capitolul 2 paragraful 2.6.

Pentru elemente liniare, de tip bară, s-au efectuat studii de soluții pentru grinzi și stâlpi, rezultând concluzii importante asupra calculului, alcătuirii și avantajelor tehnico-economice.

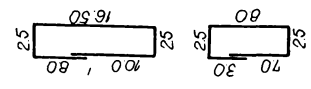
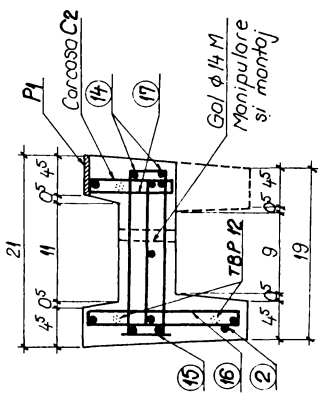
Un element liniar deosebit de interesant datorită complexului mod de solicitare și a reduselor dimensiuni de realizare a secțiunii transversale este rigla de beton precomprimat de tipul Rp3 pentru susținerea peretilor usori, proiect IPCT nr. 5528.



SECTIUNEA 1-1



SECTIUNEA 2-2



(16) Efr. 2x4 $\phi 4$ STNB
L=0.395

(17) Efr. 2x2 $\phi 4$ STNB
L=0.23

Figuro 6.1.Cc.26] ARMARE RIGLĂ Rp3-6.00 m.

6.3.

Primele studii au arătat că elementul Rp1 și Rp2 nu corespunde, datorită fisurilor apărute în lungul armăturii pretensionate-4TBP 12. Armătura nepretensionată este alcătuită din carcasa STNB- $\phi 4$ mm și bare individuale $\phi 8$ din PC 60.

A fost necesară modificarea armării zonelor de capăt, adoptându-se o nouă soluție, care să îmbunătățească comportarea elementului de transfer, prin introducerea unor etrieri închisi care să asigure armarea minimă constructivă [S.1.], mărcile 15, 16, 17 în figura

6.1. S-a utilizat beton B 600 (Bc50).

Elementul pereche (martor) executat după proiectul tip, a indicat la transfer aceeași necorespunzătoare comportare datorită apariției fisurilor longitudinale în zonele de capăt.

Elementul cu armarea zonelor de capăt modificată, a fost supus unei încercări care a simulat încărcările în exploatare: verticale prove nite din greutatea peretilor și orizontale provenite din presiunea vântului. Concluziile trase din analiza rezultatelor obținute sunt următoarele:

- bună comportare la transfer în condițiile armării corespunzătoare a zonelor de capăt,
- comportarea elastică a elementului sub încărcări normale și de calcul,
- coeficient sporit de siguranță la fisurare $M_{fis}/M^n = 3,92$,
- condiția de verificare ($n^d = 0,6$) pentru redeschiderea fisurilor $\alpha = 0,05$ mm este acoperitor verificată,
- coeficient mare de siguranță la rupere $M_{rup}/M^n = 7,05$ pentru o săgeată de $L/51 = 11,59$ cm.

Alcătuirea elementului și betonul folosit îl fac dificil de executat fără evitarea completă a fisurilor longitudinale în lungul toroanelor la capetele elementului (eforturile transversale de despăcare date de TBP 12 și acoperire redusă).

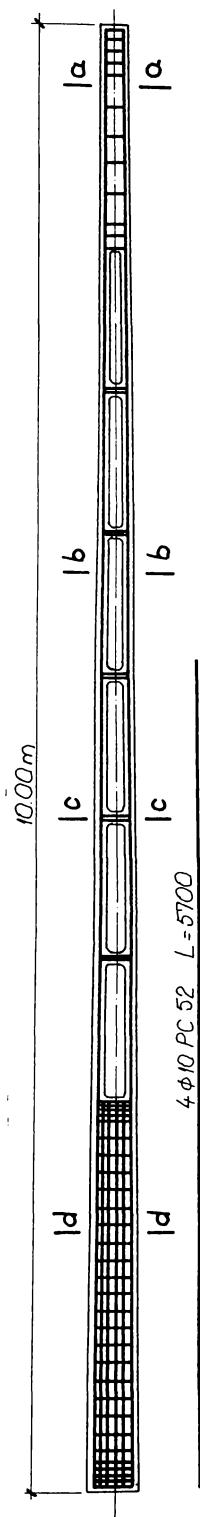
O rezolvare favorabilă se poate obține cu armarea mixtă constituită din 4 TBP 9 + 4 $\phi 10$ PC 52 (nepretensionată complementară), cu trecerea la clasa Bc 30 și eliminarea barelor individuale $\phi 8$ (PC 60) de la ambele capete. Această soluție de armare asigură un moment capabil la SLU echivalent cu al soluției inițiale cu TBP12 și prezintă avantajele utilizării Bc30 (B400) în loc de Bc50 (B600), ale evitării fisurilor longitudinale în lungul toronului (utilizare TBP 9 în loc de TBP 12) și o comportare mai ductilă la rupere, apariția fisurilor producându-se peste solicitarea de exploatare.

Un alt element liniar, utilizat într-un domeniu socotit, nu demult, netraditional pentru betonul structural, este stâlpuț din beton precomprimat pentru susținerea liniilor electrice aeriene (LEA). Studiul de soluție efectuat [C.27] asupra unui astfel de tip de stâlpuț, SE4T, a vizat înlocuirea toroanelor 7 $\phi 3$ (4 bucăți) deficitare, cu armătură pretensionată de alt tip și armătură nepretensionată complementară. Soluția de armare mixtă propusă constă din 8SBP5 + 4 $\phi 10$ PC52 sau 8SBPA5 + 4 $\phi 10$ PC52. Au fost executați și încercați trei stâlpi armați cu 8SBP5 + 4 $\phi 10$ PC52, concluziile desprinsе apreciindu-se valabile și pentru SBPA.

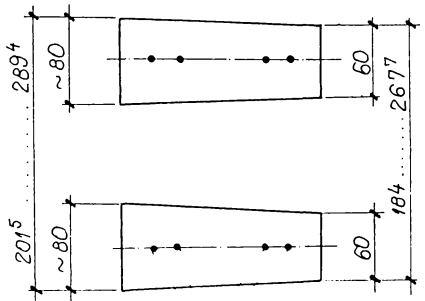
Pentru a măări aderența cu betonul s-a prevăzut montarea pe armăturile pretensionate a unor piese de ancorare tip inel-bolt, de regulă în apropierea capetelor stâlpuților.

Armătura transversală se păstrează ca și la stâlpuț SE4T, etrieri $\phi 6$ -STNB.

Betonul prevăzut este Bc40 pentru SE4M(8SBP5 + 4 $\phi 10$ PC52) notat prescurtat cu "S5" (varianta "A" cu 16 inele-bolt și varianta "B" cu 20 inele-bolt) respectiv Bc30 pentru

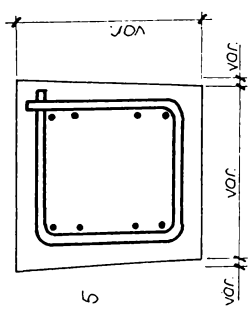


SECTIUNEA b-b



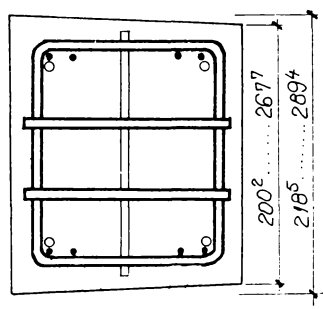
BSBPA 5

SECTIUNEA a-a



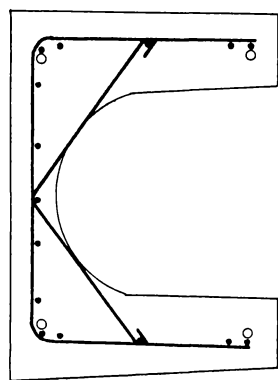
BSBPA 5

SECTIUNEA c-c



BSBPA 5 +
4 φ10 PC 52

SECTIUNEA d-d



BSBPA 5 + 4 φ10 PC 52
7 φ5 STNB

FIGURA 10.10.107 STABILIZAREA SECURITATEI ÎN SOLUȚIA DE CĂMINA MIXTĂ

6.5.

S5 varianta "C" la care armătura nepretensionată $4\phi 10\text{PC52}$ este cu 700mm mai lungă decât la celelalte variante.

Lungimea stâlpilor este de $H=10\text{m}$ din care 1,5m este partea care se încastrează în fundație, secțiunea variabilă în care pe înălțime există șase alveole și o semialveolă la bază, figura 6.2.

Stâlpii lucrează ca și console, iar încercarea s-a făcut cu poziția lor pe orizontală aplicând încărcarea, ca forță concentrată, la 0,5 m distanță de vârf. Forța de exploatare este de 225kgf. Fisurile au apărut, s-au închis și s-au redeschis la următoarele valori, exprimate în raport cu forța de exploatare:

Stâlp	P_{fis}	$P_{\text{inch.}}$	P_{red}
S5-A	1,42 P^E	0,55 P^E	0,89 P^E
S5-B	1,29 P^E	0,44 P^E	0,90 P^E
S5-C	1,00 P^E	0,52 P^E	0,80 P^E

- În apropierea rupei, distanța dintre fisuri era: $\lambda_f = 15-20 \text{ cm}$
- Ruperea (teoretică) s-a considerat atunci când fisurile situate la distanța de 30- 50 cm de capătul barelor PC52 aveau deschiderea $\alpha_f = 3\text{mm}$.
- Săgețile înregistrate la rupere aveau valorile : 53 cm = $H/18$; 58 cm = $H/17$ respectiv 106cm = $H/9,4$.

Raporturile în care s-au aflat forțele de rupere experimentale (efective) cu forța de cedare $P_r^c = 450\text{kgf}$ (conform ISPE) pentru S5 variantele A, B, C sunt : 1,11; 0,93; 1,11. Cedările s-au produs în secțiunile de capăt a barelor $\phi 10\text{PC52}$.

Studiul concluzionează că stâlpii SE4M-S5 au avut o comportare corespunzătoare, având în vedere următoarele observații:

- în stadiul de exploatare la variantele A și B nu au apărut fisuri, iar la C, $\alpha_f = 0,02\text{mm}$
 - fisurile s-au închis la descărcare la aproximativ 0,5 P^E și s-au redeschis la aproximativ 0,8 P^E .
 - săgeata la vârf și valorile caracteristice ale intensității forței de tragere sunt de același ordin de mărime cu cele ale stâlpului SE4T
 - nu este obligatorie dublarea inelelor la capetele barelor tensionate
- Studiul soluțiilor prezentate recomandă stâlpii SE4M-S5 pentru introducerea în fabricație de serie.

În lucrarea [P.4.] este prezentat un studiu de soluții pentru grinzi și elemente de planșeu care erau proiectate ca elemente cu precomprimare limitată. Trecerea la precomprimarea moderată cu armare mixtă are asupra consumului de oțel efectele prezentate cantitativ și procentual în tabelul 6.1. Se observă că elementele de 6-9 m deschidere, consumă în soluția de armare mixtă cu 25-43% mai puțină armătură pretensionată și cu 3,5-7% mai puțină armătură mixtă ($A_p + A_a$) pe element.

Economie apare și în consumul de ciment dacă este redusă clasa betonului. Pentru soluțiile din tab.6.1 economia de ciment este cuprinsă între 15-18 % când clasa betonului scade de la Bc40 la Bc30.

Tabelul 6.1.

Element ----- nr.proiect IPCT	Precomprimare limitată				Precomprimare moderată			
	A_p		$A_p + A_a$		A_p		$A_p + A_a$	
	kg/ elem	%	kg/ elem	%	kg/ elem	%	kg/ elem	%
Grindă GCT/5270-1977	58,8	100	126,1	100	39,2	66,7	117,2	93,0
CPL 1,5x6/5230-1977	9,0	100	36,2	100	5,1	57,0	34,2	95,6
Grindă G6-18/5270-1977	78,4	100	216,0	100	58,8	75,0	20,83	96,5
Grindă G9-2b/5104-1977	108,6	100	374,4	100	81,5	75,0	363,2	96,5

Din cele patru elemente, două (G6-T și CPL 1,5x6) au fost verificate experimental în soluție propusă, dovedind o bună comportare la fisurare, deformare și stare limită ultimă. [P.4].

La studiul de soluție pentru o grindă de acoperis având deschidere de 30,4 m și secțiunea din figura 6.3. [B.14.] proiectată din BP cu grad de precomprimare (GP) $K=0,90$, trecerea se face la BPP micșorând GP la $K=0,68$ prin adoptarea armării mixte.

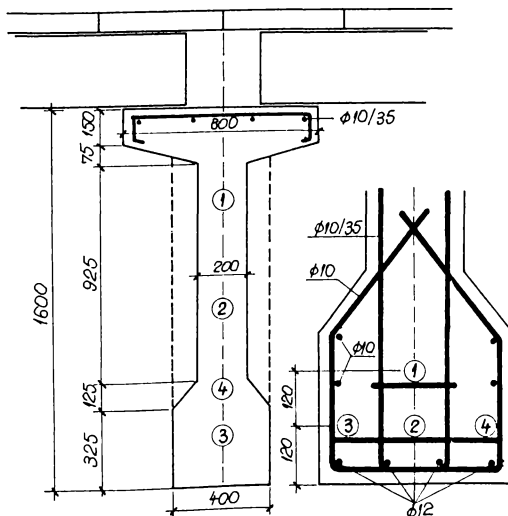


Fig.6.3 [B.14.]Secțiune transversală prin grinda de acoperis de 30,4 m din BP

Efectele trecerii la solutia cu BPP, figura 6.4. sunt următoarele:

- se reduce cu 25% consumul de oțel de înaltă rezistență din A_p
- se renunță la bulb deoarece armătura pretensionată s-a redus și alcătuirea este simplificată iar eforturile unitare de compresiune la transfer sunt mai mici
- armătura nepretensionată nu se dispune pe toată lungimea grinzii, oprindu-se în secțiuni diferite pe distanța cuprinsă între 8,2 și 11,2m măsurate de la capete, în zona reazemelor ajungând doar cele $4\phi 12$ din rândul de jos.

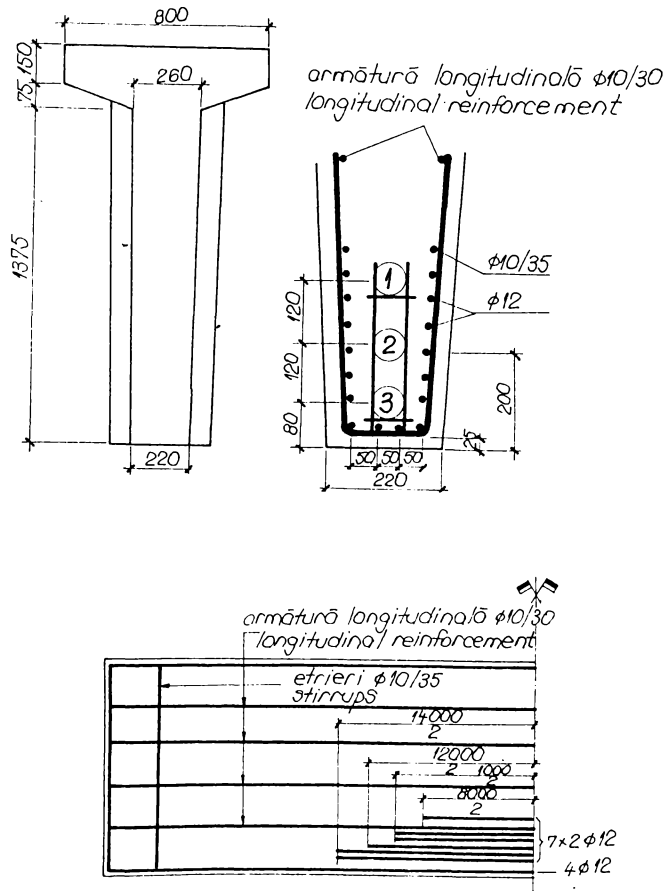


Fig.6.4.[B.14] Secțiune transversală prin grinda de acoperis de 30,4 m din BPP

Autorul a efectuat un studiu de soluții [C.18.] pentru grinzi cu secțiune T și variabilă (burtă de pește, de tipul GU, proiectate la IPCT) ce elemente cu precomprimare limitată, pentru acoperisuri ușoare (învelitoare cu plăci din azbociment) la hale sau depozite pentru industrie ușoară și agricole. Studiul a urmărit aplicarea betonului precomprimat parțial (BPP) cu precomprimare moderată în soluția armării mixte.

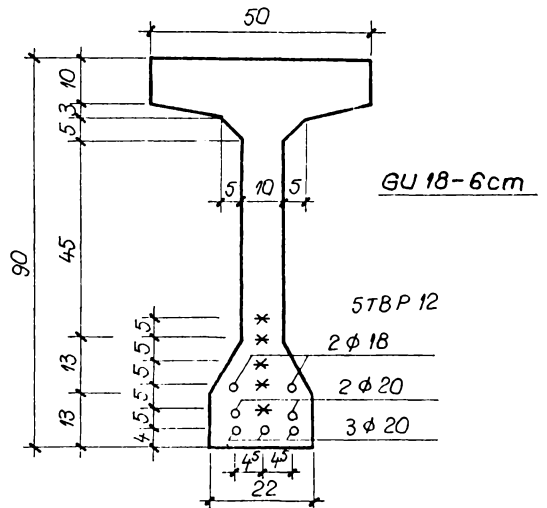
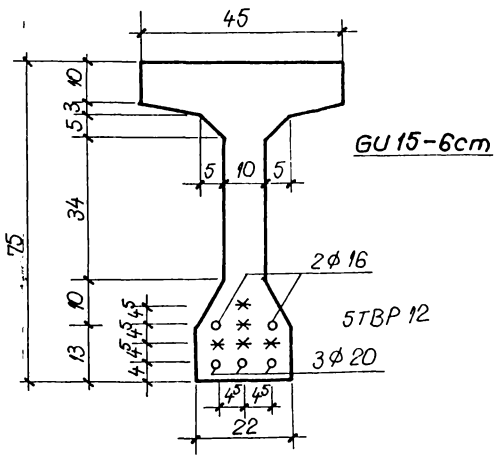
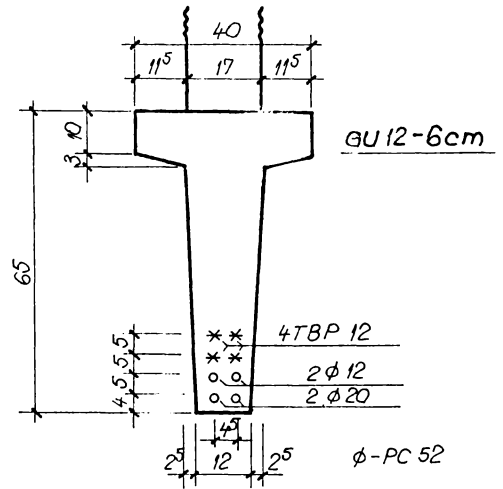
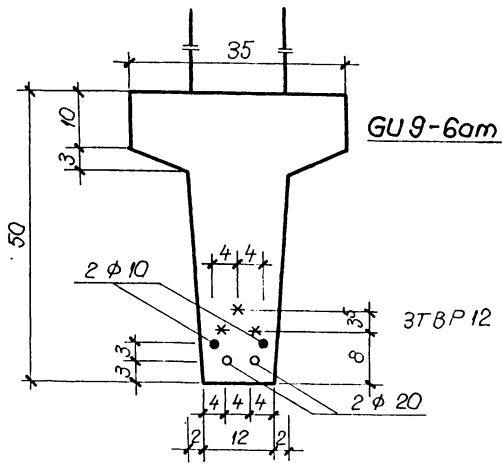


Figura 6.5 [c. 18]. Secțiuni transversale la grinzi GU cu armare mixtă.

6.9.

Trecerea de la precomprimarea limitată la cea moderată în soluția dorită s-a făcut prin eliminarea unei părți a armăturii pretensionate și înlocuirea ei cu a armătură nepretensionată profilată de tip PC 52. Înlocuirea a asigurat păstrarea capacității portante la nivelul elementului pereche din proiectul tip.

Din studiul efectuat se prezintă, pe scurt, concluziile rezultate pentru patru grinzi cu deschideri diferite, a căror secțiuni transversale la mijlocul deschiderii sunt date în figura 6.5. pentru soluția armării mixte.

Studiul a constatat în efectuarea calculului complet de proiectare pentru mai multe soluții (variante) de alcătuire prin armare mixtă. Prezentate în figura 6.5., sunt o parte din cele care au satisfăcut toate verificările. Din cele patru grinzi doar două (GU9-6am, GU15-6cm) au fost supuse încercărilor pentru studiul experimental, împreună cu perechile lor (grinzile paralele cu precomprimare limitată realizate conform catalog, GU9-6a respectiv GU15-6c).

Concluziile rezultate în urma studiului sunt următoarele:

- grinzile cu precomprimare moderată și armare mixtă îndeplinesc toate condițiile de verificare în calculul de proiectare (fisurare, deformații, stări limită ultime)
- comportarea sub acțiunea încărcărilor, în studiul experimental, a fost corespunzătoare în toate stările (aspectele) urmărite (fisurare, deformații, rezistență, rupere)
- pentru variantele cu reducerea clasei betonului, s-a obținut economie de ciment
- s-a redus consumul de oțel superior al armăturii pretensionate
- consumul total de oțel ($A_p + A_s$) a crescut
- raportul costurilor (precomprimare limitată C_{pL} / precomprimare moderată C_{pM}) a fost:

$C_{pM} / C_{pL} < 1$ pentru grinzile de 9 și 12 m deschidere.

$C_{pM} / C_{pL} \simeq 1$ pentru grinda de 15 m deschidere

$C_{pM} / C_{pL} > 1$ pentru grinda de 18 m deschidere.

Cresterea consumului de armătură nu atrage și creșterea costului C_{pM} deoarece consumul total de oțel crește pe seama celui de mai slabă calitate (PC) care este mai ieftin și datorită efectelor economice favorabile ale reducerii operațiunii de pretensionare (utilaje, energie, manoperă) cu influențe inclusiv asupra alcătuirii generale a elementelor (ex. zone de capăt).

Studiul cuprinde și aspectul durabilității, primele investigații asupra grinzilor, păstrate descoperite în aer liber, s-au făcut după o perioadă de trei ani de la încercare.

Asupra acestui studiu se va reveni în capitolul 5.

6.2. Studii asupra elementelor plane pentru plansee.

Ceva mai târziu decât pentru grinzi, specialistii au început să manifeste interes pentru proiectarea și realizarea elementelor plane pentru plansee folosind betonul precomprimat parțial (BPP) cu precomprimare moderată (PM).

În țară unul dintre primele studii a vizat elementele de plansee de 12 m deschidere care erau în fabricație în soluția constructivă a precomprimării limitate (PL) intenționându-se realizarea lor în soluție PM cu armare mixtă, precum și elemente de 6 și 9 m deschidere pentru plansee dar concepute special pentru realizarea din BPP cu PM și armare mixtă. [P.9.]

Elementele de plansee cu deschidere de 12 m de tipul Tpt 1,5/12 și Cpt 1,5/12 erau proiectate în soluția constructivă cu PL folosind Bc 40 (proiect IPCT 5117/III-C2). Trecerea la PM s-a făcut prin înlocuirea unei părți a armăturii pretensionată cu armătură nepretensionată tip PC60 cu diametre ϕ 8 și ϕ 10 mm, iar ca urmare a reducerii efortului de precomprimare, a fost posibilă trecerea la beton Bc30.

Calculul s-a efectuat pentru următoarele încărcări: $p_{1cap}(P_{ld}^E)$, $p_{2cap}(P^E)$, $p_{3cap}(P_{SLR})$. Efectele adoptării soluției cu PM sunt prezentate în tabelul 6.2.

Acestea sunt sintetizate în următoarea prezentare:

- se reduce consumul de ciment cu 13-14 kg/m²
- se reduce consumul de armătură pretensionată, dar prin introducerea armăturii nepretensionate se ajunge la un egal consum de oțel
- se reduce consumul de energie cu 3,5 kg combustibil convențional la m² ceea ce conduce la reducerea pretului de cost.

Elementele de plansee de 6 și 9 m deschidere erau proiectate în soluția constructivă din BA prin proiect IPCT 5117 /I-C1, cu înălțimi cuprinse în intervalul 30 -45 cm. Trecându-se la studiul soluției cu BPP, calculul s-a efectuat pentru înălțimi reduse cu 5 cm, iar pentru evitarea împănării prefabricatului în tipar la transfer, s-au eliminat nervurile intermediare îngrosându-se placa de la 3,5 la 4 cm. Efectele trecerii la BPP sunt prezentate în tabelul 6.3. Acestea sunt sintetizate și comentate în următoarea prezentare:

- se reduce greutatea elementului din BPP cu 30 -50 kg/mp față de cele din BA
- s-a mărit clasa betonului la Bc30 datorită prezentei armăturii pretensionate, rezultând o creștere a consumului de ciment cu 6,5 -8 kg/mp
- s-a redus cantitatea totală de oțel pe element cu 1,5-2 kg/mp
- au rezultat sporuri la costul elementului, dar pe ansamblul structurii se produce o compensare datorită următoarelor cauze:

*prin reducerea înălțimii cu 5 cm se poate reduce în consecință înălțimea stâlpilor și a peretilor,

*prin reducerea greutății cu 30 -50 kg /mp se vor reduce în consecință dimensiunile elementelor suport, componente ale structurii.

Elementele de plansee având 6 m deschidere apar eficiente în varianta BPP numai sub aspectul reducerii consumului de oțel. În schimb realizarea elementelor de plansee de 12 m este eficientă în varianta BPP cu PM și armare mixtă optinându-se economii.

Tabel 6.2.[P.9.] Tabel comparativ între elemente tipizate din BP și elemente similare din BPP

Indicativ element	Armatura și betonul		Indici de consum pe mp												Diferențe de indici de consum între BP și BPP			
	Element BP	Element BPP	Elemente din BP						Elemente din BPP						Ciment	Oțel	Energie	
			Ciment		Oțel		Energie		Ciment		Oțel		Energie					
			Arm. pretens	Arm. nepret	Arm. pretens	Arm. nepret	Total	Kg/mp	Kg/mp	Total	Arm. pretens	Arm. nepret	Total	Arm. pretens				Arm. nepret
Kg/mp	Kg/mp	Kg/mp	Kg/mp	Kg/mp	Kg/mp	Kg/mp	Kg/mp	Kg/mp	Kg/mp	Kg/mp	Kg/mp	Kg/mp	Kg/mp	Kg/mp	Kg/mp	Kg/mp	Kg/mp	Kg/mp
Tpt 1,5/12 -pp	9TBP12 Bc40	8TBP12 2φ8PC60 Bc30	72	4,35	4,07	8,42	41,00	58,80	3,86	4,58	8,44	37,67	-13,20 -22,4%	+0,02 0,2%	-3,33 -8,8%			
	8TBP12 Bc40	7TBP12 2φ8PC60 Bc30	72	3,86	4,07	7,93	40,12	58,80	3,39	4,58	7,97	36,78	-13,20 -22,4%	+0,04 0,5%	-3,34 -9,0%			
	7TBP12 Bc40	6TBP12 2φPC60 Bc30	72	3,38	3,85	7,23	38,90	58,80	2,92	4,36	7,28	35,57	-13,20 -22,4%	+0,05 0,7%	-3,33 -9,2%			
Cpt 1,5/12 -pp	12TBP12 Bc40	10TBP12 4φ8PC60 Bc30	76	5,80	4,81	10,61	46,37	62,06	4,83	5,78	10,61	42,73	-13,94 -22,4%	0,00 0,0%	-3,64 -8,5%			
	10TBP12 Bc40	8TBP12 4φ8PC60	76	4,83	4,81	9,64	44,60	62,06	3,89	5,78	9,67	40,96	-13,94 -22,4%	0,03 0,3%	-3,64 -8,3%			
	8TBP12 Bc40	6TBP12 4φ10PC60 Bc30	76	3,86	4,76	8,62	42,74	62,06	2,89	6,05	8,94	39,74	-13,94 -22,4%	+0,31 0,3%	-3,00 -7,6%			

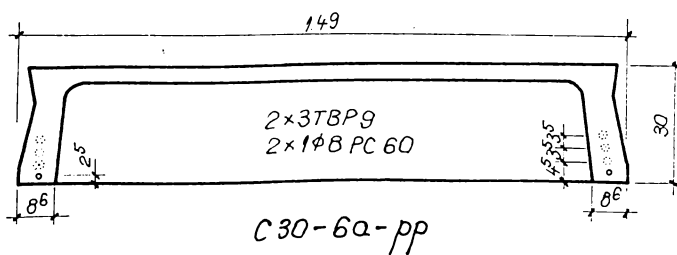
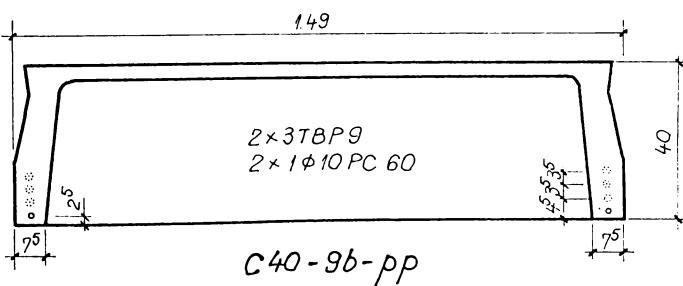
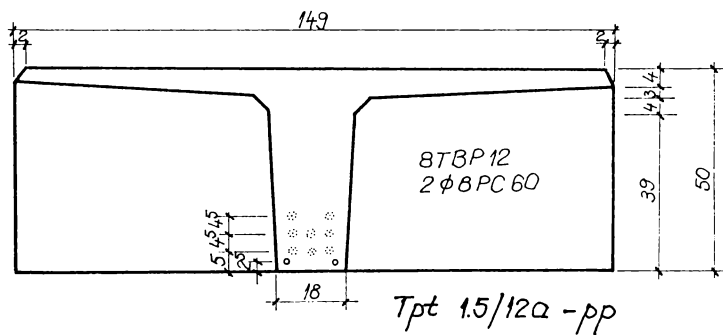
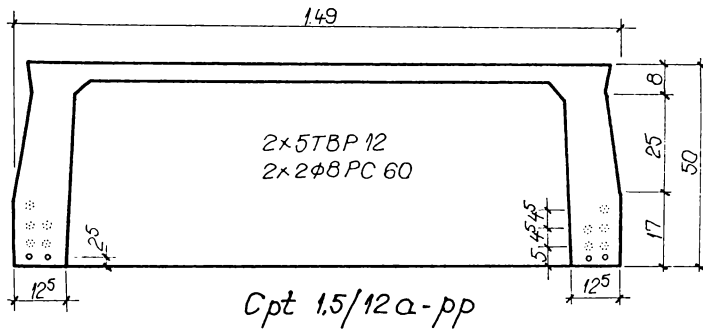
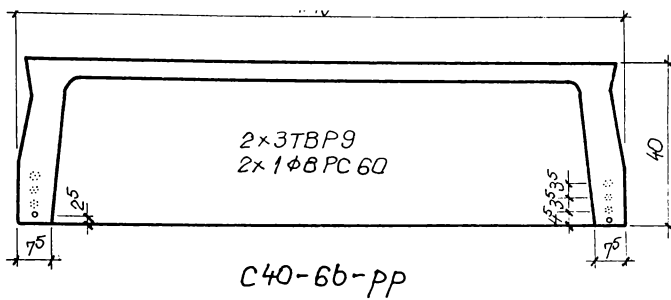


Figura 6.6.[P.9]. Modul de dispunere al Ap și Aa în secțiuni la elemente de planșeu din BPP.

Tabelul 6.3.[P.9.]Tabel comparativ între elemente tipizate din BA si noi tipuri de elemente din BPP

Indicativ element	B300		Indici de consum pe mp										Diferenta de indici de consum între elemente de BA si BPP		
	Armătura		Element din BA					Element din BPP					Ciment	Otel	Energie
	Element BA	Element BPP	Ciment	Armăt. rezist.	Armăt. moale	Total	Energie	Ciment	Armăt. pretens.	Armăt. nepretens.	Total	Energie			
C40-6-pp	4Ø18PC60 C45-a1	2x2TBP12 + 2x1Ø10PC60	31,20	4,78	4,59	9,37	28,73	39,20	2,11	5,78	7,89	29,29	+8,00 25,6%	-1,48 -18,7%	+0,56 +1,9%
	4Ø18PC52 C45-b2	2x3TBP9 + 2x1Ø8PC60	31,20	4,78	4,18	8,96	27,93	39,20	1,78	5,22	7,00	27,70	+8,00 25,6%	-1,96 -28%	-0,23 -0,8%
	2Ø14 + 2Ø16PC60 C45-C1	2x2TBP9 + 2x1Ø8PC60	31,20	3,32	3,28	6,60	24,00	39,20	1,22	4,11	5,33	24,78	+8,00 25,6%	-1,27 -23,8%	+0,78 3,2%
C35-6-pp	4Ø16PC60 C40-a1	2x3TBP9 + 2x1Ø8PC60	29,29	3,77	3,51	7,28	24,33	36,80	1,78	4,56	6,34	25,24	+7,51 25,6%	-0,94 -14,8%	+0,91 3,71%
	2Ø12 + 2Ø16PC60 C40-b1	2x2TBP9 + 2x1Ø8PC60	29,29	2,90	3,18	6,08	22,30	36,80	1,22	4,00	5,22	23,65	+7,51 25,6%	-0,86 -16,4%	+1,35 6,0%
	2Ø16 + 2Ø18PC52 C35-a2	2x3TBP9 + 2x1Ø8PC60	27,21	4,22	3,00	7,22	21,63	34,19	1,78	3,78	5,56	23,37	+6,98 25,6%	-1,66 -29,8%	+1,74 8,0%
C25-6-pp	4Ø14PC60 C35-b1	2x2TBP9 + 2x1Ø8PC60	27,21	2,83	3,00	5,83	20,88	34,19	1,22	3,78	5,00	22,35	+6,98 25,6%	-0,83 -16,6%	+1,47 7,0%
	2Ø12 + 2Ø16PC60 C30-a1	2x2TBP9 + 2x1Ø8PC60	25,13	2,89	2,93	5,82	19,90	31,58	1,22	2,67	3,89	21,38	+6,45 25,6%	-1,93 -49,6%	+1,48 7,4%
C40-9-pp	-	2x2TBP12 + 2x1Ø10PC60	-	-	-	-	-	39,20	2,00	5,63	7,63	29,30	-	-	-
	-	2x3TBP9 + 2x1Ø8PC60	-	-	-	-	-	39,20	1,78	4,52	6,30	27,00	-	-	-

6.14.

Studiul de solutii pentru alte tipuri de elemente de planseu a condus la rezultate nefavorabile variantei constructive cu PM .Au fost identificati factorii care influentează oportunitatea adoptării solutiei BPP cu PM în comparatie cu celelalte solutii alternative (BA sau BP) . Printre acestia cei mai importanti sunt : nivelul încarcărilor , distanta dintre reazeme si lungimea de rezemare , conditiile de alcătuire legate în primul rând de dimensiunile sectiunii de beton ,etc.

Studiul de solutii [C.28.] prezenta situatia elementului de acoperis de tipul C 1,5 x 6 - 280 care era propus pentru transformarea din solutia cu PL (proiect IPCT 5230 / 77) în solutie din BPP cu PM si armare mixtă .Cu toate că efectele economice erau evidente (A_p redusă cu 43 % , $A_p + A_a$ redusă cu 5,4 %) , verificarea la fisurare a condus la constatarea că valorile $\Delta \sigma_p$ nu îndeplinesc conditiile de limitare , obținându-se sub efortul :

$$M^E: \quad \Delta \sigma_p = 1500 \text{ kg /cm}^2$$

iar sub efortul

$$M^E_{id}: \quad \Delta \sigma_p = 500 \text{ kg /cm}^2$$

Studiul elementului prefabricat de planseu din BP de 6 m deschidere pentru constructii etejate cu încarcare utilă de 2500 daN/mp de tip FGP1 /6 -2500 (proiect IPCT 5134 /77) a pus în evidentă influenta conditiilor de alcătuire. Trecerea de la solutia existentă la solutia BPP cu PM si armare mixtă a prezentat efecte economice avantajoase (A_p redusă cu 29 % , $A_p + A_a$ redusă cu 8 %) . Încercarea experimentală a elementului din BPP a arătat un proces de fisurare asemănător prin caracteristici cu cel al elementului din BP .Aparitia fisurilor , dezvoltarea lor , distanta dintre ele au arătat că la elementul din BPP fisurile rămân deschise de ordinul 0,8 -1,0mm la încărcarea de lungă durată , deoarece forma si dimensiunile sectiunii transversale nu sunt propice unui control corespunzător al modului de dispunere a barelor de otel , iar mărimea relativ mică a înălțimii sectiunii de beton nu permite decalări eficiente ale celor două tipuri de armături (A_p si A_a)

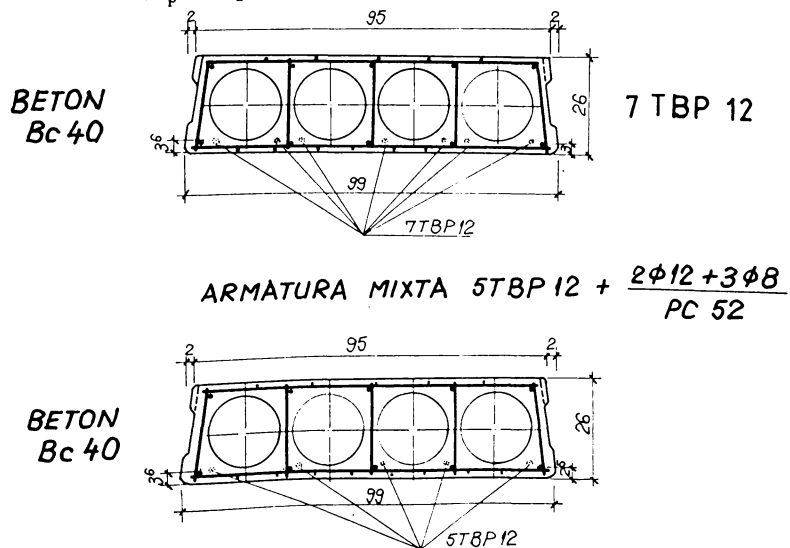


Fig.6.7.[C.28.] Sectiuni transversale pentru FGP 1/6-2500 din BP respectiv BPP

6.15.

O dispunere a armăturilor pretensionate și nepretensionate, prin proiect, la același nivel, figura 6.7. nu reprezintă cea mai bună soluție din punctul de vedere al fisurării și prezintă un important factor de risc deoarece foarte ușor se poate produce o decalare între nivelele de amplasare a celor două armături în sens defavorabil. Acest lucru s-a întâmplat în cazul elementului experimental constatându-se că $h_{oa} < h_{op}$.

Datorită cauzelor prezentate recomandarea utilizării BPP la cele două tipuri de elemente studiate este rezervată.

Studiul de soluții [P.9.] atenționează asupra a două dintre elementele analizate și anume:

--elementul de planșeu tip fâșie cu goluri FGP 1/6 -pp la care s-a păstrat aceeași clasă de beton (Bc 30), dar consumul total de armătură a crescut, nu este indicat a se realiza în varianta din BPP,

--elementul de planșeu Tpt 1,5/15 nu satisface condițiile cerute de încărcările de exploatare, deci nu poate fi realizat din BPP cu precomprimare moderată (PM).

Soluțiile eficiente de beton precomprimat parțial (BPP) au rezultat din studiile prezentate [C.20.], [C.26.], [C.28.], [P.9.] ca fiind potrivite elementelor cu deschidere de 6-9 m puternic încărcate, precum și elementelor având lungimi mici de rezemare. Se face observația că pentru elementele la care dimensionează starea limită de închidere a fisurilor, iar la starea limită de rezistență, există anumite rezerve, precomprimarea parțială se poate introduce eficient chiar și pentru deschideri mai mari, dar cu condiția reducerii armăturii nepretensionate spre capetele elementului.

O altă importantă observație este aceea că reducerea gradului de precomprimare sub anumite valori nu permite realizarea solicitării capabile necesare la starea limită de rezistență decât cu consumuri de oțel sensibil sporite.

Soluția de armare mixtă s-a dovedit a fi favorabilă la multe tipuri de elemente prezentate, conducând la avantajul net de reducere a consumului total de armătură în afara reducerii de armătură pretensionată, făcând posibilă uneori și reducerea clasei betonului.

Aria armăturii nepretensionate, A_a , a reprezentat echivalentul a 33-80% din aria armăturii pretensionate A_p , concomitent utilizate în elementele cu armare mixtă, respectiv 25-45% din armătura pretensionată A_p a elementului pereche realizat din BPP. Diametrele și distribuția lui A_a este uneori condiționată și de alcătuirea elementului. În [C.28.] s-a formulat părerea că ar putea deveni interesante studii de soluții cu BPI pentru:

--elemente de închidere (pereti) ce prezintă particularitatea unor încărcări de lungă durată relativ reduse, situație care este favorabilă armăturii mixte,

--stâlpi la hale industriale parter unde armarea mixtă este avantajoasă mai ales în cazul armării simetrice.

Elementele tipizate nu au fost singurele studiate pentru realizarea planșelor din BPP.

Studii s-au efectuat și pentru alte soluții constructive, dintre care, la două, autorul prezentei lucrări este coautor [C.16.], [C.29.]. Un studiu, la care autorul a colaborat în colectiv de patru [C.16.] se referă la planșee din beton precomprimat pe două direcții de tip nervurat la clădiri în structuri cu diafragme rare.

6.16.

Studiul s-a efectuat pentru o tramă de 7,20x 5,40 m și o grosime de 22 cm, iar în secțiune se poate adopta varianta cu placa de 3,5 cm grosime și nervurile aparente sau variantă "sandwich" cu placă superioară de 3,5 cm, placă inferioară de 3,5 cm care maschează rețeaua de nervuri, prinzând între ele un material ușor (ex. BCA) bun izolator termic și fonic. Pentru varianta cea mai defavorabilă din punct de vedere al încălcării, valorile acestora sunt: $g=550$ daN/mp și $p=420$ daN/mp. S-a propus o dispunere a nervurilor ca în figura 6.8.

Armarea este realizată cu armătură pretensionată de tip TBP 7,5 și TBP 9 combinată cu armătură nepretensionată $\phi 6$ din PC52.

În tabelul 6.4 se prezintă modul de distribuire a armăturii pretensionate pentru nervuri.

Tabelul 6.4.

Nervura	Moment maxim [daNm]	Armătura pretensionată	Nervura	Moment maxim [daNm]	Armătură pretensionată
a 1	660,64	1 TBP 7,5	b 2	1337,75	2 TBP 9
a 2	1149,49	2 TBP 7,5	b 3	1810,00	2 TBP 9
a m	1321,21	2 TBP 7,5	b 4	1984,78	2 TBP 9
b 1	728,17	1 TBP 9	b m	2080,46	-

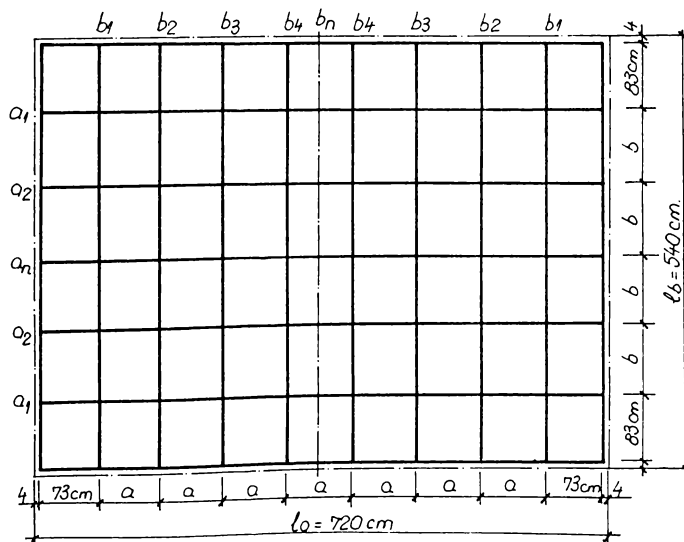


Fig.6.8.[C.16] Dispunerea nervurilor la planșeul precomprimat după două direcții 7,2x5,4

6.17.

Placa planseului la partea superioară și inferioară se armează cu plase din STNB $\phi 3,5$ mm cu ochiuri de 100 mm.

Consumurile de materiale pentru una bucată de planseu 7,2x5,4 m și indicii de consum "c" pentru 1 mc beton se prezintă în tabelul 6.5.

Tabelul 6.5.

Material	Indice consum pe 1 mp	Cantitatea totală pe element.	Indice consum la mc de beton.
Armătură pretensionată	1,6 kg/mp	62,16 kg	17,51 kg/mc
Armătură nepretensionată.	2,5 kg/mp	97,54 kg	27,47 kg/mc
Plasă STNB	3,2 kg/mp	124,24 kg	35,00 kg/mc
Beton Bc30	0,09 mc/mp	3,55 mc	-
B .C. A.	115,5 kg/mp	4493,20 kg	1265,69 kg/mc
Armătură -consum total	7,3 kg/mp	283,94 kg	79,98 kg/mc

Studiul a condus la o soluție care din punct de vedere economic nu aduce avantaje considerabile, indicii de consum nefiind cu mult inferori celor de la alte soluții (ex. 80-85 kg otel/mc beton). Potentiale avantaje sunt legate de industrializarea execuției și durabilitate. Autorul consideră că eliminarea plăcii inferioare din beton și închiderea cu un material mai ușor precum și înlocuirea stratului de B.C.A. ar aduce o soluție mult mai avantajoasă economic, inclusiv urmare a reducerii armăturii.

Soluția prezentată implică unele dificultăți de ordin tehnologic la execuție, acestea putând să se amplifice, în cazul executării prefabricatelor în apropierea locului de montaj (din cauza problemelor de transport pentru un gabarit atât de mare).

Soluția nu a fost recomandată pentru o largă utilizare, ea putând să prezinte interes doar pentru condiții specifice și răspândire redusă.

În lucrarea [C.29.] oferta a fost diversificată, studiul analizând multiple soluții pentru plansee precomprimate pe două direcții din panouri prefabricate precomprimate cu armătură preîntinsă (rezemare direct pe stâlpi, plansee cu continuitate, etc.). Autorul a colaborat în colectiv de șase cercetători.

Parametrii urmăriti au fost: deschiderea de calcul, încărcarea utilă, gradul de precomprimare, consumurile de materiale și pretul de cost.

Studiul se referă la trei tipuri de plansee, primele două făcând parte din structuri cu diafragme rare, analiza vizând un panou interior caracteristic înconjurat de opt panouri marginale. Cele trei tipuri sunt:

i) planseu casetat (placă pe rețea de grinzi) cu deschideri egale pe ambele direcții de 4,8;6,6;9,0 m, figura 6.9.

ii) planseu dală (placă) cu deschideri egale pe ambele direcții de 4,8;6,6;9,0 m, figura 6.10.

iii) planseu cu placă rezemată continuu pe contur, figura 6.11.

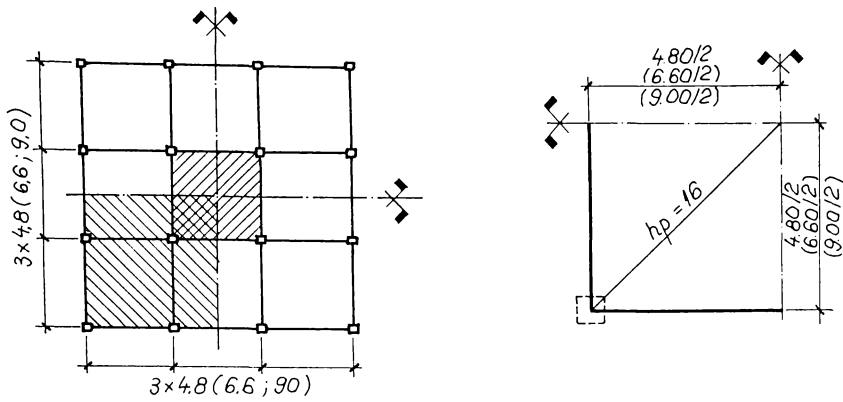


Figura 6.10 [c.29]. Plonșeu dolă precomprimat pe două direcții.

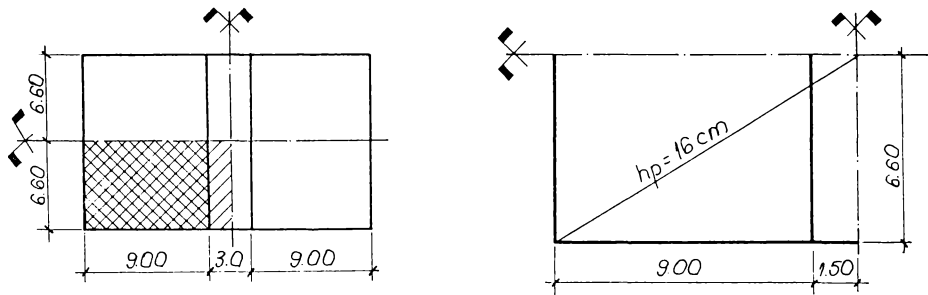


Figura 6.11 [c.29]. Plonșeu cu continuitate, precomprimat pe două direcții

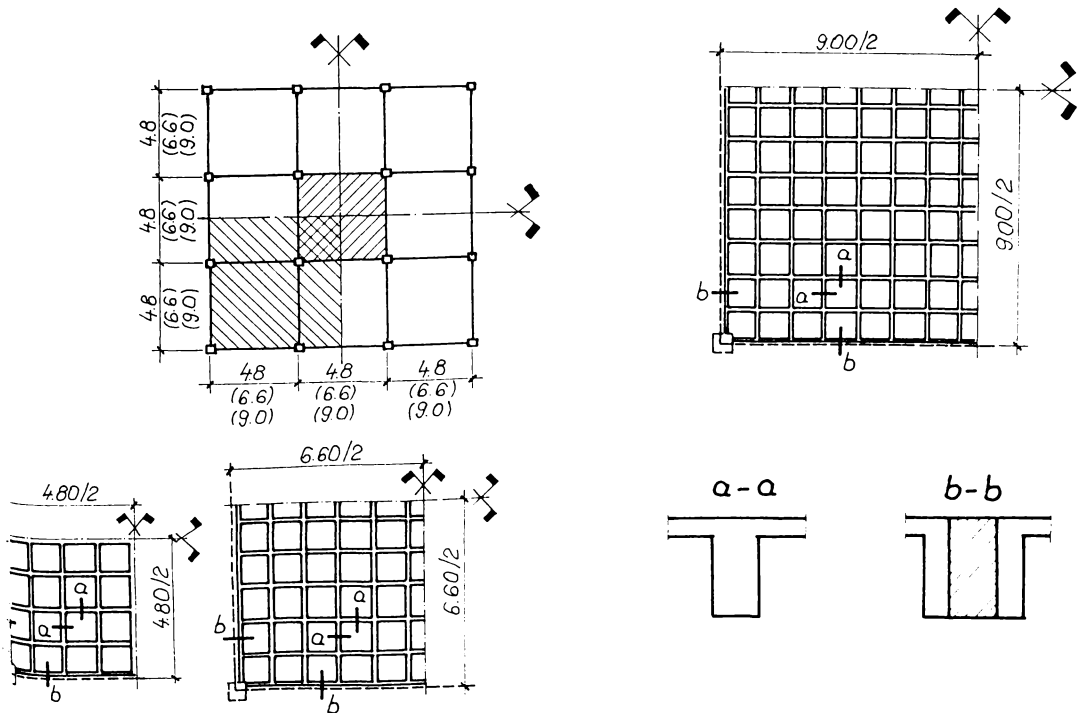


Figura 6.9 [c.29]. Plonșeu casetat precomprimat pe două direcții.

6.19.

Pentru planseul dală s-a luat în considerare și posibilitatea fragmentării panourilor 6,6x6,6 în două fisii, iar a panourilor 9,0x9,0 în trei fâșii.

Pentru deschiderile de 4,8 și 6,6 m încărcarea utilă s-a considerat 2,5 KN/mp, iar pentru deschiderile de 6,6 m și 9,0 m s-a considerat 10 KN/mp.

Al treilea tip de planseu poate fi fragmentat din rațiuni de transport în trei fâșii paralele cu latura scurtă.

Calculul static s-a efectuat pentru cele două faze distincte, montaj și exploatare (după realizarea continuității) utilizând două programe de calcul automat (RETGRI, PLOBA). Pentru calculul de dimensionare s-au determinat valorile eforturilor funcție de cele obținute în cele două ipoteze cărora li s-au aplicat coeficienții prescriși. Pentru fiecare caz studiat, rezultă din figura 6.12 gradele de precomprimare luate în considerare.

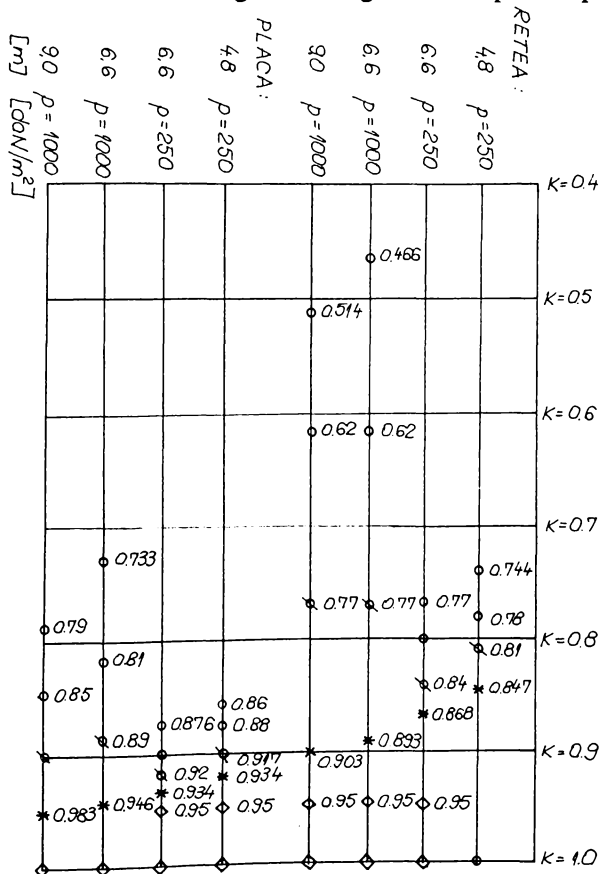


Figura 6.12. [C.29.] grade de precomprimare pentru cazurile studiate.

Dimensionarea și alcătuirea panourilor de plansee studiate a condus la consumurile de armătură pretensionată și nepretensionată prezentate în tabelul 6.6.

În figura 6.13 este prezentată alcătuirea unei grinzi a rețelei panoului casetat de 6,6x6,6m proiectat pentru o încărcare utilă $p = 250 \text{ daN/mp}$, un grad de precomprimare $K = 0,84$ și un raport $\alpha = A_a R_a / A_p \sigma_{p0} = 0,25$.

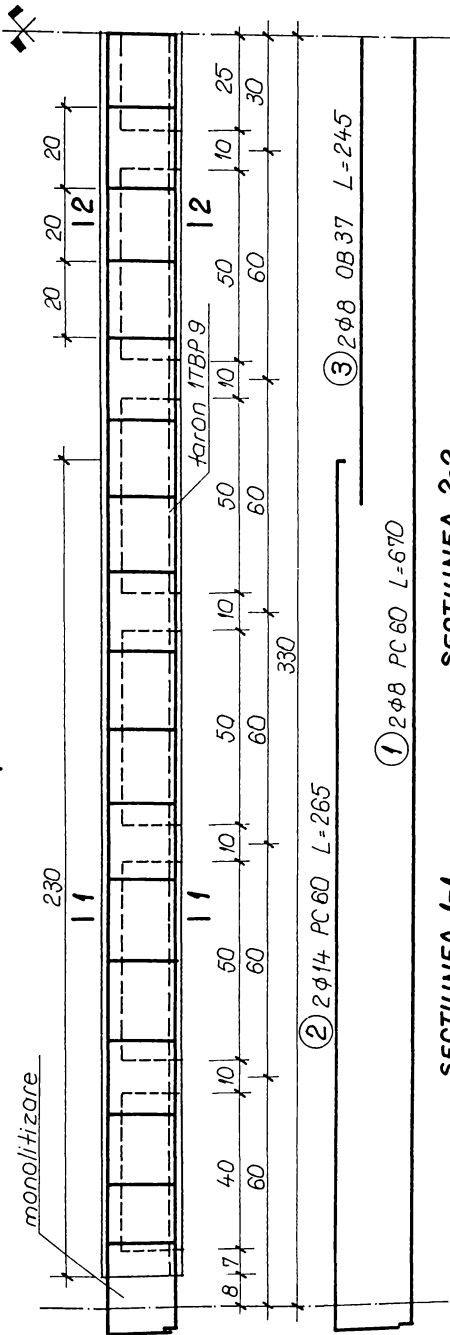
Tabelul 6.6

Panou Planseu	Deschidere — încărcare utilă	CONSUMURI														Totală			
		Grad de precompr		Armătură										Nepretenșion ată totală	Totală				
		Bc 30	Bc 40	Pretensionată		Nepretenșionată de rezistență PC 60		Constructivă		Pretensionată + complem.	12	13	14						
				TBP 9	TBP 12	Complet câmp	Reazem + monolit	OB 37	STNB										
		mc												kg					
Rețea panou cascată	4.8/250 6.6/250	1.000	1.97	-	-	40.87	-	-	47.38	132.05	24.84	11	10	11	12	13	14		
		0.950	4.75	-	-	126.76	-	-	234.25	251.74	46.96	46.96	126.76	126.76	532.95	532.95	659.71	659.71	
		0.900	4.75	-	-	71.64	-	-	234.25	251.74	46.96	46.96	126.76	126.76	532.95	532.95	604.59	604.59	
		0.868	4.75	-	-	71.64	-	-	234.25	251.74	46.96	46.96	126.76	126.76	532.95	532.95	604.59	604.59	
		0.840	4.75	-	-	71.64	-	-	234.25	251.74	46.96	46.96	126.76	126.76	532.95	532.95	604.59	604.59	
		0.800	4.75	-	-	71.64	-	-	234.25	251.74	46.96	46.96	126.76	126.76	532.95	532.95	604.59	604.59	
		0.770	4.75	-	-	71.64	-	-	234.25	251.74	46.96	46.96	126.76	126.76	532.95	532.95	604.59	604.59	
		1.000	6.27	-	-	-	-	-	305.89	273.08	273.08	46.96	46.96	126.76	126.76	625.93	625.93	752.69	752.69
		0.950	6.27	-	-	-	-	-	305.89	273.08	273.08	46.96	46.96	126.76	126.76	625.93	625.93	752.69	752.69
		0.893	6.27	-	-	-	-	-	305.89	273.08	273.08	46.96	46.96	126.76	126.76	625.93	625.93	752.69	752.69
9.0/1000	6.6/1000	0.770	6.27	-	-	71.64	-	-	305.89	273.08	273.08	46.96	46.96	126.76	126.76	625.93	625.93	752.69	
		0.620	6.27	-	-	71.64	-	-	305.89	273.08	273.08	46.96	46.96	126.76	126.76	625.93	625.93	752.69	
		0.466	6.27	-	-	71.64	-	-	305.89	273.08	273.08	46.96	46.96	126.76	126.76	625.93	625.93	752.69	
		1.000	17.28	-	-	377.30	-	-	786.68	389.28	389.28	87.32	87.32	377.30	377.30	1263.28	1263.28	1640.50	1640.50
		0.950	17.28	-	-	377.30	-	-	786.68	389.28	389.28	87.32	87.32	377.30	377.30	1263.28	1263.28	1640.50	1640.50
		0.905	17.28	-	-	251.50	-	-	786.68	389.28	389.28	87.32	87.32	251.50	251.50	1263.28	1263.28	1514.78	1514.78
		770	17.28	-	-	251.50	-	-	786.68	389.28	389.28	87.32	87.32	464.84	464.84	1476.58	1476.58	1728.10	1728.10
		0.620	17.28	-	-	252.50	-	-	786.68	389.28	389.28	87.32	87.32	435.80	435.80	1476.58	1476.58	1699.08	1699.08
		0.514	17.28	-	-	222.50	-	-	786.68	389.28	389.28	87.32	87.32	435.80	435.80	1476.58	1476.58	1699.08	1699.08

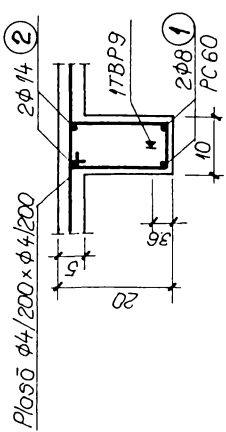
continue tabel 6.6.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
PLACA	4.8/250	4,ccc	2,77	-	132,14	-	-	9,77	-	5,47	632,42	97,4	219,66	
		0,950	2,77	-	129,07	-	-	9,77	-	5,47	129,07	97,24	226,31	
		0,915	2,77	-	122,61	-	-	9,77	-	5,47	122,61	97,24	219,85	
		0,900	2,77	-	119,17	-	-	88,99	9,77	-	5,47	207,96	186,03	305,20
		0,880	2,77	-	116,72	-	-	86,67	9,77	-	5,47	203,39	183,91	300,63
		0,860	2,77	-	113,77	-	-	132,24	9,77	-	5,47	246,01	229,48	343,25
		1,000	6,97	-	343,80	-	-	-	220,92	-	9,91	343,80	230,83	547,63
		0,950	6,97	-	326,70	-	-	-	220,92	-	9,91	326,70	230,83	557,50
		0,934	6,97	-	321,10	-	-	-	220,92	-	9,91	321,10	230,83	551,90
		0,920	6,97	-	316,40	-	-	141,47	220,92	-	9,91	515,50	429,90	746,30
		0,900	6,97	-	309,50	-	-	181,12	220,92	-	9,91	555,30	476,60	786,10
		0,876	6,97	-	300,90	-	-	186,01	220,92	-	9,91	577,20	507,10	808,00
		1,000	9,58	-	360,80	-	-	-	442,56	-	9,91	360,80	452,47	813,27
0,946	9,58	-	341,72	-	-	-	442,56	-	9,91	341,72	452,47	794,19		
0,890	9,58	-	322,38	-	-	206,70	442,56	-	9,91	529,08	659,17	981,55		
0,810	9,58	-	292,29	-	-	237,33	442,56	-	9,91	529,62	689,80	982,09		
0,733	9,58	-	277,60	-	-	254,91	442,56	-	9,91	532,50	707,38	984,90		
1,000	24,30	-	-	-	1068,00	-	-	1087,49	-	17,86	1068,00	2173,30		
0,953	24,30	-	-	-	1015,50	-	-	1087,49	-	17,86	1015,50	2120,85		
0,900	24,30	-	-	-	959,80	-	585,51	1087,49	-	17,86	1545,30	1690,84		
0,850	24,30	-	-	-	906,56	-	699,06	1087,49	-	17,86	1605,60	1804,41		
0,790	24,30	-	-	-	842,45	-	786,45	1087,49	-	17,86	1628,90	1891,80		
1,000	9,58	-	360,80	-	-	-	-	442,56	23,44	9,91	360,80	475,91		
0,946	9,58	-	341,72	-	-	-	-	442,56	23,44	9,91	341,72	475,91		
0,890	9,58	-	322,38	-	-	-	269,94	442,56	23,44	9,91	592,32	745,85		
0,810	9,58	-	292,29	-	-	-	309,95	442,56	23,44	9,91	602,24	785,86		
0,733	9,58	-	277,60	-	-	-	329,91	442,56	23,44	9,91	607,51	805,82		
1,000	24,30	-	-	-	769,46	-	-	1087,49	46,88	17,86	769,49	1152,23		
0,953	24,30	-	-	-	731,58	-	-	1087,49	46,88	17,86	731,58	1152,23		
0,900	24,30	-	-	-	691,49	-	169,27	1087,49	46,88	17,86	1160,76	1921,50		
0,850	24,30	-	-	-	653,11	-	844,79	1087,49	46,88	17,86	1792,90	1997,02		
0,790	24,30	-	-	-	641,95	-	800,00	1087,49	46,88	17,86	1594,84	2099,25		

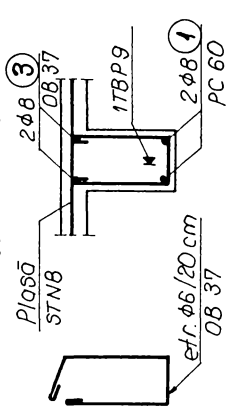
ARMARE PENTRU $p = 250 \text{ daN/m}^2$; $K = 0.84$; $\alpha = 0.25$



SECTIUNEA 1-1



SECTIUNEA 2-2



VARIANTE MONOLITIZARE

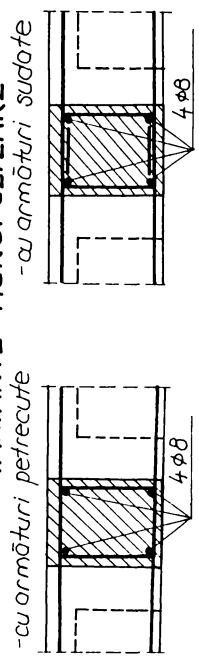


Figura 6.13 [c.29]. Alcătuirea grinzii din rețeaua panoului 6.6 x 6,6 m.

AF. ZONEA PT. PLACA 6,6 m; $p=1000 N/mm^2$; $k=0,69$; $\alpha=0,25$.

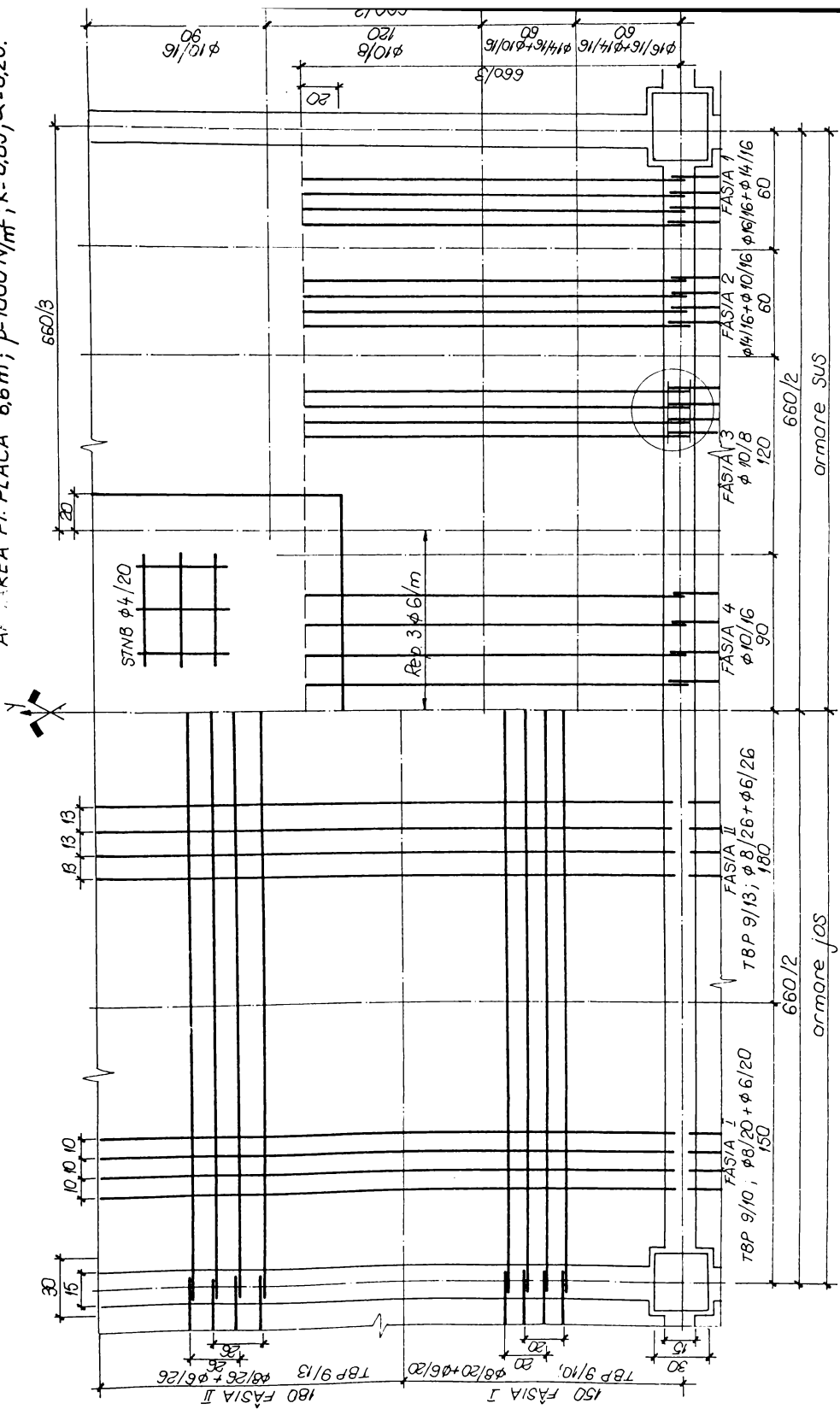


FIGURA 6.14 [C.29]. ARMARE PLACĂ 6.6 x 6.6 m

6.24.

În figura 6.14. este prezentat un exemplu de armare pentru placa $6,6 \times 6,6$ m încărcată cu $p = 100$ daN/ mp , grad de precomprimare $K = 0,89$ și $\alpha = 0,25$.

Analiza soluțiilor studiate scoate în evidență următoarele concluzii :

-- consumurile de beton și ciment cresc cu creșterea distanței dintre stâlpi și a încărcării utile , tabelul 6.7., varianta panourilor casetate oferind consumurile mai mici .

-- consumul specific total de oțel pentru panoul casetat scade odată cu reducerea gradului de precomprimare iar pentru planșeul dală ia valori minime la grade de precomprimare $0,9 - 0,95$; tabelul 6.7.,

-- pretul de cost al panourilor casetate este mai redus decât al dalelor , iar variația costurilor are același sens cu variația consumurilor de oțel ; tabelul calculului costurilor nu se prezintă din cauza dinamicii preturilor ,

-- pretul de cost scade în cazul fragmentării (dala de 9×9 m executată din trei plăci prefabricate) , deoarece amplasarea armăturii pretensionate se poate face mai rațional.

Studiul de soluții prezentat nu a cuprins și încercări experimentale .

Studiile efectuate dintre care o parte au fost prezentate mai sus , au dovedit că numai o analiză aprofundată , pe elemente concrete , poate conduce la o aplicare rațională și eficientă a precomprimării parțiale , utilizând armătura pretensionată și nepretensionată complementară.

Autorul apreciază că ar prezenta interes efectuarea unor studii în perspectiva unei favorabile rezolvări în soluția utilizării armăturii pretensionate neaderente introduse în tuburi PVC înglobate în prefabricatul de tip dală. După experiența acumulată pe plan internațional în anii din urmă , controlul fisurării se poate realiza prin prezenta armăturilor nepretensionate complementare .

TABELUL 6.7.

Panou planseu	Deschidere încărcare utilă	Grad de precomprimare k	Beton		Ciment P. 45	C _i			Armătură		Totală			
			Bc-30	Bc-40		kg/mp	kg/mp	kg/mp	kg/mp					
			4	5						6		7	8	9
1	2	3												
RETEA PANOU CASETAT	4,8/250	1.000	0,086	-	36,21	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	8,91	10,68		
	6,6/250	1.000	0,11	-	46,04	2,91	2,91	2,91	2,91	2,91	2,91	12,23	15,14	
		0,950	0,11	-	46,04	2,91	2,91	2,91	2,91	2,91	2,91	12,23	15,14	
		0,900	0,11	-	46,04	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	12,23	13,88	
		0,868	0,11	-	46,04	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	12,23	13,88	
		0,840	0,11	-	46,04	1,64	1,64	1,64	1,64	4,28	4,28	12,23	13,88	
		0,800	0,11	-	46,04	1,64	1,64	1,64	1,64	4,28	4,28	12,23	13,88	
		0,770	0,11	-	46,04	-	46,04	-	-	-	-	-	-	-
		1.000	-	0,14	-	85,35	2,91	2,91	2,91	2,91	2,91	14,37	17,28	
	0,950	-	0,14	-	85,35	2,91	2,91	2,91	2,91	2,91	14,37	17,28		
9,0/1000	6,6/1000	0,893	-	0,14	85,35	2,91	2,91	2,91	2,91	2,91	14,37	17,28		
		0,770	-	0,14	85,35	2,91	2,91	2,91	2,91	2,91	14,37	17,28		
		0,620	-	0,14	85,35	1,64	1,64	1,64	1,64	4,27	4,27	14,37	16,01	
		0,466	-	0,14	85,35	1,64	1,64	1,64	1,64	4,27	4,27	14,37	16,01	
		1.000	-	0,21	126,51	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	15,59	20,25	
		0,950	-	0,21	126,51	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	15,59	20,25	
		0,905	-	0,21	126,51	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	15,59	18,70	
		0,770	-	0,21	126,51	3,10	3,10	3,10	3,10	5,74	5,74	18,22	21,33	
	0,620	-	0,21	126,51	2,75	2,75	2,75	2,75	5,38	5,38	18,22	20,98		
	0,514	-	0,21	126,51	2,75	2,75	2,75	2,75	5,38	5,38	18,22	20,98		

CONTINUARE TABELUL 6.7.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PLACA	4,8/250	1,000	0,12	-	50,64	5,75	5,75	4,22	9,97
		0,950	0,12	-	50,64	5,60	5,60	4,22	9,82
		0,915	0,12	-	50,64	5,32	5,32	4,22	9,54
		0,900	0,12	-	50,64	5,17	5,17	8,07	13,24
		0,880	0,12	-	50,64	5,07	5,07	7,98	13,05
		0,860	0,12	-	50,64	4,94	4,94	9,96	14,89
		1,000	0,16	-	67,52	7,89	7,89	5,29	13,19
		0,950	0,16	-	67,52	7,50	7,50	5,29	12,79
		0,934	0,16	-	67,52	7,37	7,37	5,29	12,67
		0,920	0,16	-	67,52	7,26	7,26	11,83	17,13
6,6/1000	6,6/1000	0,900	0,16	-	67,52	7,10	12,75	10,94	18,05
		0,876	0,16	-	67,52	6,91	13,25	11,64	18,55
		1,000	-	0,22	130,42	8,28	8,28	10,39	18,67
		0,946	-	0,22	130,42	7,84	7,84	10,39	18,23
		0,890	-	0,22	130,42	7,40	7,40	15,13	22,53
		0,810	-	0,22	130,42	6,71	6,71	15,84	22,54
		0,733	-	0,22	130,42	6,37	6,37	16,24	22,61
		1,000	-	0,30	177,90	13,19	13,19	13,65	26,83
		0,953	-	0,30	177,90	12,54	12,54	13,65	26,18
		0,900	-	0,30	177,90	11,85	11,85	20,87	32,72
9,0/1000	9,0/1000	0,850	-	0,30	177,90	11,19	19,82	22,28	33,47
		0,790	-	0,30	177,90	10,40	20,11	23,36	33,75

CONTINUARE TABELUL 6.7.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PLACA	6,6/1000 FRAGM.	1.000	-	0,22	130,42	8,28	8,28	10,92	19,21
		0,946	-	0,22	130,42	7,84	7,84	10,92	18,77
		0,890	-	0,22	130,42	7,42	13,59	17,12	24,52
		0,810	-	0,22	130,42	6,71	13,82	18,04	24,75
		0,733	-	0,22	130,42	6,37	13,95	18,50	24,87
	9,0/1000 FRAGM.	1.000	-	0,30	177,90	9,38	9,38	14,23	23,72
		0,953	-	0,30	177,90	8,92	8,92	14,23	23,26
		0,900	-	0,30	177,90	8,43	14,15	23,72	31,87
		0,850	-	0,30	177,90	7,96	18,26	24,65	38,32
		0,790	-	0,30	177,90	7,40	18,41	25,27	38,32

CAPITOLUL 7.

PRINCIPALELE CONCLUZII SI CONTRIBUȚII

Spre deosebire de soluțiile constructive a betonului armat (BA) și a betonului precomprimat integral (BP), betonul precomprimat parțial (BPP) a necesitat pentru consacrare o mai mare perioadă de timp. Lăsându-se proiectat și realizat în execuție, BPP a fost generos cu creatorii lui dându-le în timpul vieții lor satisfacție printr-o corespunzătoare comportare în exploatare. Informația a străbătut lumea specialiștilor din domeniul betonului structural și BPP a început să pătrundă în normele și practica țărilor din Europa, iar mai apoi în America de Nord și Asia. Acceptarea și dezvoltarea BPP a fost posibilă datorită strădaniei și tenacității unor specialiști despre a căror contribuții s-a scris în capitolul 2. Avantajele pe care această soluție constructivă le prezenta în raport cu BA sau cu BP, au făcut din BPP o soluție căutată și preferată în anumite condiții date. În timp s-a dovedit că în realitate BPP este chiar mai mult utilizat decât se crede. În practica construcțiilor au apărut și situații când soluția precomprimării parțiale era unica posibil de adoptat.

Locul pe care BPP îl ocupă în spectrul larg al betonului structural este acela cuprins între BA și BP, aspect asupra căruia există consens în pozițiile exprimate de către specialiști. Acest loc a inspirat chiar, una dintre definițiile date BPP conform căreia este aceea combinație de beton și oțel care nu este nici BA și nici BP (Menn-[M.3.]).

Studiul ocazionat autorului de concepția și redactarea prezentei lucrări, a permis constatarea faptului că până în prezent nu s-a ajuns la un consens asupra unei definiții a BPP. Bună parte dintre specialiștii europeni consideră BPP ca fiind pur și simplu beton precomprimat ce prezintă un număr oarecare de fisuri în regimuri de funcționare specificate. În continentul nordamerican, definirea BPP se face punându-se în discuție tipurile de armături utilizate.

Diversitatea definițiilor propuse se regăsește până inclusiv la nivelul normelor naționale, care în marea lor majoritate au asigurat un loc sigur betonului precomprimat parțial, fie că l-au definit explicit, fie că doar au admis combinația a două tipuri de armături în aceeași structură.

Diversitate există și în privința definirii gradului de precomprimare. Forma adoptată de normele românești (relația 2.15.) reflectă nivelul încărcărilor (solicitărilor) acoperit de efectul precomprimării și permite corelarea directă cu condițiile de utilizare și verificare a elementelor. Analiza celorlalte definiții arată că oricare "indice", "coeficient" sau "grad" de precomprimare poate descrie întregul domeniu de soluții al betonului structural.

Chiar dacă definirea unui grad de precomprimare este o problemă de ordin teoretic, prezentând interes din punct de vedere conceptual, este importantă deoarece permite clasificarea tipurilor de combinații beton-oțel și permite anticiparea comportărilor dorite ale acestora.

Analize și interpretări ale aspectelor vizând comportarea sub sarcini a elementelor din BPP, sunt caracterizate în esența lor de o bună convergență. O succintă

7.2.

și sintetică trecere în revistă a acestor aspecte , prin prisma părerilor care converg este făcută în cele ce urmează.

7.1.Fisurarea este principalul criteriu care diferențiază BPP de BP .Producerea ei este a priori acceptată pentru anumite niveluri de solicitare , cu valori de până la 0,2mm a deschiderii fisurilor sub sarcini de exploatare totale (pentru intervale relativ scurte de timp) și cu valori de până la cel mult 0,05 mm la nivelul armăturii pretensionate ceea ce se interpretează a fi practic o închidere, sub sarcini de exploatare de lungă durată (pentru majoritatea timpului).Procesul fisurării ,atât de important și datorită influențelor pe care le are asupra altor stări limită ,poate fi eficient controlat la elementele din BPP prin adoptarea soluției de precomprimare moderată cu armare mixtă .

Diferențele între prevederile diferitelor norme fac atingere nu atât la principii cât la aspectul cantitativ (calculul descrierii maxime w sau a deschiderii medii α_f a fisurilor , valori admise ale mărimii deschiderii fisurilor ,etc.).Normele prevăd și precizează condițiile în care și metodele cu care controlul fisurării se poate face altfel decât prin calculul efectiv al mărimii deschiderii fisurilor .

Variația mărimii deschiderii fisurilor în intervalul mai sus prezentat ,necesită un calcul de proiectare pretențios ,deosebit de exact ,în special pentru evaluarea pierderilor de tensiune astfel încât efortul unitar de precomprimare permanentă în beton să asigure menținerea pe termen lung a fisurilor închise . Calculul este influențat de modul de alcătuire, armătura nepretensionată complementară având un rol important prin diametru, natura suprafeței, distribuire.

Pentru situația când BPP ,din rațiuni de fisurare ,intră în competiție cu BA , se va opta pentru primul deoarece reducerea egală a mărimii deschiderii fisurilor se realizează pentru acesta printr-o mult mai mică rație de creștere a ariei de armătură întinsă.

Concluzii finale și contribuții personale rezultate din studiile de soluții și programul experimental , referitoare la starea limită de fisurare a elementelor din BPP :

A. În raport cu BA:

→ pentru mărimi egale ale deschiderii fisurilor ,încărcarea utilă poate fi mult mai mare în cazul elementelor din BPP ,

→ reducerea nivelului mărimii deschiderii fisurilor sub sarcini egale , precomprimarea parțială oferind o soluție mai eficientă decât cea de creștere a secțiunii armăturii în cazul BA

B. În raport cu BP:

→ structurile din BPP pot prelua mai ușor deformațiile impuse (din temperatură sau din tasări) datorită posibilității existente de control al deschiderii fisurilor,

→ mai potrivit de utilizat BPP în structuri hiperstatice datorită admiterii fisurilor și a posibilității controlului mărimii deschiderii acestora,

→ o mai bună siguranță față de fisurare (din contracție la elemente postcomprimare) înainte de a supune structura la precomprimare.

C. Elemente din BPP cu precomprimare moderată (PM) și armare mixtă în ra-

7.3.

port cu elemente din BPP cu precomprimare limitată (PL):

→ fisurarea se produce la trepte mai mici de încărcare la elementele din BPP cu PM ($P_{\text{exper}}^{\text{fis}} / P_{\text{exper}}^{\text{E}} = 0,49 - 0,5$; $P_{\text{exper}}^{\text{fis}} / P_{\text{proiect}}^{\text{E}} = 0,68 - 0,6$) decât la elemente din BPP cu

PL ($P_{\text{exper}}^{\text{fis}} / P_{\text{exper}}^{\text{E}} = 0,75 - 0,8$; $P_{\text{exper}}^{\text{fis}} / P_{\text{proiect}}^{\text{E}} = 1,11 - 0,9$);

→ se poate aprecia că la ambele tipuri de grinzi sistemul de fisuri ,apărut la nivelul treptei de încărcare corespunzător exploataării totale experimentale până la cel mult ciclul 2 ,se păstrează același la toate celelalte cicluri , iar noi fisuri apar doar la trepte de încărcare ce depășesc $P_{\text{exper}}^{\text{E}} (P_{\text{proiect}}^{\text{E}})$;variază în funcție de nivelul de încărcare doar α , și h_f , iar în urma a zece cicluri de încărcare descărcare nu a apărut indiciu al existenței unui risc pentru durabilitate;

→ fisurile având deschideri de 0,15 - 0,20 mm sub sarcinile de exploatare totale (de exploatare sau de calcul) de regulă nu se închid complet la descărcare , prezentând în continuare o deschidere de 0,02 - 0,05 mm;

→ la grinzile din BPP cu PM mărirea deschiderii fisurilor pentru nivele diferite , corespunzând axelor longitudinale ale armăturilor ,are valori mai apropiate decât

în cazul grinzilor din BPP cu PL , variatia mărimii deschiderii fisurilor pe înălțimea secțiunilor transversale producându- se cu o rație mai mică pentru BPP cu PM decât pentru BPP cu PL ;

→ datorită prezenței armăturii nepretensionate complementare , grinzile din BPP cu PM se comportă la fisurare mult mai bine decât grinzile din BPP cu PL deoarece:

- numărul fisurilor sub încărcări de exploatare totală este cu cel puțin 100% mai mare ,iar distanța dintre fisuri se reduce la cel puțin jumătate ,
- deschiderea medie a fisurilor sub încărcarea de exploatare totală este cu 31- 70 % mai mică ,
- deschiderea medie a fisurilor înaintea încărcării spre rupere este cu 43 -- 49% mai mică ;

→ metoda de calcul a deschiderii medii a fisurilor normale recomandată ,pentru elemente din BPP solicitate la încovoiere în normele [S.1.] , este acoperitoare apreciindu-se existența unor rezerve.

7.2.Deformațiile elementelor din BPP pun în discuție problema rigidității care pentru stadiul fisurat este diminuată (în raport cu BP) .Prezența armăturii nepretensionate complementare aduce elementelor cu precomprimare moderată un spor de rigiditate în exploatare față de cea a elementelor cu precomprimare limitată . Este recunoscut efectul favorabil al precomprimării parțiale asupra reducerii contrasăgeții .

Normele recomandă de regulă calculul săgeților utilizând metodele staticii construcțiilor ,precizări făcându-se asupra modului de determinare al modulilor de rigiditate .Limitarea săgeților se face la valori precizate care descresc odată cu creșterea importanței elementului . Mulți specialiști apreciază că elementele din BPP solicitate la

7.4.

încovoiere se comportă din punctul de vedere al deformațiilor mai bine decât elementele din BA sau BP.

Concluzii finale și contribuțiile personale rezultate din studiile de soluții și programul experimental, referitoare la starea limită de deformație al elementelor din BPP :

A. În raport cu BA:

- ↪ micșorarea deformațiilor elementelor din BPP sub sarcină, mai ales a celor permanente,
- ↪ rigiditate mai mare a elementelor din BPP,
- ↪ la studii experimentale, pentru corecta urmărire a variației deformațiilor specifice a betonului, este necesar ca montajul aparatelor de măsură și efectuarea citirii zero să se facă înaintea transferului și nu pe standul de încercare cum se poate proceda la elementele din BA.

B. În raport cu BP:

- ↪ micșorarea deformațiilor instantanee și remanente datorate precomprimării
- ↪ datorită sporirii flexibilității ca urmare a fisurării betonului zonei întinse, eforturile provocate de deformațiile impuse se diminuează în timp ce deschiderile fisurilor rămân în limite acceptabile;
- ↪ creșterea flexibilității elementelor din BPP conduce la reducerea rigidității față de BP și la reducerea forțelor interne provocate de deformațiile impuse.

C. Elemente din BPP cu PM și armare mixtă în raport cu elemente din BPP cu PL:

- ↪ contrasăgeata la transfer este de 3 până la 5 ori mai mică, iar pentru limita de creștere acesteia ca urmare a deformațiilor de durată se propune lăstarea grinzilor imediat după efectuarea transferului;

- ↪ săgeata maximă totală este sensibil mai mare pentru trepte de încărcare ce nu depășesc P^E și este mai mică pentru trepte de încărcare ce depășesc P^E

- ↪ se propune o nouă metodă de calcul a săgeții, pentru elemente din BPP solicitate la încovoiere, care ține mai bine seama de comportarea reală pe domeniul $\bar{M}_{(s)}^0 - M_{id}^E - M^E$, iar rezultatele obținute sunt în bună concordanță cu valorile determinate experimental.

7.3. Starea limită ultimă este cea pentru care există poate cele mai multe asemănări între comportările elementelor din BA, BP și BPP. Cedarea se poate produce pentru elementele solicitate la încovoiere prin cele două moduri cunoscute, inițierea făcându-se prin cedarea betonului comprimat sau respectiv prin ruperea unei părți a armăturii întinse, funcție de mărimea procentului total de armare (se poate produce și cedarea simultană).

Pentru elemente din BPP cu PM și armare mixtă, o proiectare economică trebuie să asigure cedarea concomitentă a celor două tipuri de armătură (pre-tensionată și nepre-tensionată complementară).

Pentru programul experimental propriu proiectarea grinzilor cu precomprimare moderată s-a făcut asigurând capacități portante egale cu ale grinzilor cu precomprimare limitată și deschideri similare.

7.5.

Concluzii finale și contribuțiile personale rezultate din studiile de soluții și programul experimental ,referitoare la starea limită ultimă a elementelor din BPP :

→ săgețile maxime sub acțiunea încărcărilor de rupere (teoretice și de proiectare) nu depășesc valoarea $L/100$,iar pentru nivele de încărcare depășind pe cele de rupere cu peste 50 % se înregistrează valori mai mici de $L/50$ pentru săgețile maxime , demonstrând existența unor consistente rezerve la capacitatea portantă;

→ săgețile maxime experimentale pentru nivele ale treptelor de încărcare apropiate celor de rupere (teoretică și de proiectare)au fost mai mici în cazul grinzilor din BPP cu PM și armare mixtă ;

→ la trepte de încărcare apropiate celor de rupere ,deschiderea fisurilor s-a produs uniform pe lungimea elementelor și au înaintat deschizându-se pe înălțimea grinzilor împingând axa neutră spre sus producând reducerea înălțimii comprimate și prin consecință reducerea capacității portante ;

→ elementele din BPP solicitate la încovoiere asigură un corespunzător grad de avertizare la rupere

7.4.Durabilitatea a fost așezată în ultimii ani la nivelul de importantă componentă a asigurării generale a elementelor și structurilor inclusiv din BPP.Norme obligă la respectarea unor cerințe de durabilitate în toate fazele (proiectare ,execuție și exploatare).Din punctul de vedere al durabilității faza execuției trebuie extinsă de la fabricarea oțelului și a betonului continuând cu transportul ,depozitarea ,fasonarea ,montarea ,betonarea și terminând cu tratarea ,manipularea ,transportul și montajul prefabricatului din BPP.

Dificultatea abordării problemei durabilității rezultă și din necesitatea de-a armoniza parametrii cuantificabili și controlabili (calcul,alcătuire ,etc) cu alții aleatori care de regulă scapă controlului(condiții de mediu,condiții de utilizare,etc).

Există consens în aprecierea condițiilor (pe care autorul le consideră minim necesare) pentru asigurarea durabilității elementelor din BPP ca fiind :utilizarea unui beton compact ,continuu ,omogen cu o corespunzătoare grosime a stratului de acoperire și asigurarea închiderii practice a fisurilor (max 0,05 mm)sub acțiunea încărcărilor de lungă durată.

Concluzii finale și contribuțiile personale rezultate din studiile de soluții și programul experimental ,referitoare la durabilitatea elementelor din BPP:

A. În raport cu BA:

→ crește durabilitatea datorită limitării mai severe a mărimii deschiderii fisurilor și datorită superioarei calități a betonului utilizat la elemente din BPP ceea ce conduce la micșorarea vitezei de carbonatare și la prelungirea perioadei de inițiere a coroziunii armăturilor ,

→ la deschideri mici ale fisurilor (sub 0,05 mm) nu se constată o pătrundere a carbonatării betonului pe înălțimea și în adâncimea fisurilor(ce puțin în primii opt ani).

B. În raport cu BP:

→ apare riscul coroziunii fisurante sub tensiune care poate fi minimalizat prin

7.6.

asigurarea închiderii practic (max 0,05mm) a fisurilor sub acțiunea încărcărilor de exploatare de lungă durată și prin evitarea defectelor la suprafața armăturilor .

→ un beton de bună calitate și o grosime corespunzătoare a stratului de acoperire îmbunătățesc durabilitatea elementelor din BPP

7.5. Alcătuirea elementelor din BPP se interferează ca problematică , cu parte a celorlalți parametri analizați . Alcătuirea influențează și este influențată de fisurare , deformații , durabilitate, economicitate . Problemele de alcătuire au fost detaliat dezbătute în lucrare putându- se aprecia că ele se situează , odată cu BPP între cele ale BA și cele ale BP , nelipsind însă particularitățile ocazionate de armarea mixtă.

Pentru asigurarea comportării anticipate în exploatare și pentru asigurarea durabilității alcătuirea se cere riguros respectată în următoarele două etape:

→ în etapa de proiectare ținând întocmai seama de reglementări ,

→ în etapa de execuție punând în operă materialele cu severa respectare a detaliilor din proiect.

Noțiunea de alcătuire trebuie interpretată nu numai la nivelul secțiunii transversale sau numai în ceea ce privește armătura longitudinală ci ea trebuie extinsă prin cuprinderea aspectelor legate de ancoraje , zone de capăt, armătura transversală , etc. Va fi astfel asigurată atât alcătuirea de detaliu cât și cea de ansamblu pentru elementele din BPP.

Concluziile finale și contribuțiile personale rezultate din studiile de soluții și programul experimental , referitoare la alcătuirea în detaliu și de ansamblu a elementelor din BPP :

A. În raport cu BA :

→ se pot adopta secțiuni svelte de formă T sau I care reduc masivitatea elementelor și implicit consumul de beton și greutatea .

B. În raport cu BP:

→ mai puține zone foarte încărcate cu armătură prin eliminarea barelor pretensionate scurte din zonele de moment încovoietor mare (ex: reazeme la structuri hiperstatice) ,

→ precomprimarea fiind mai redusă , se simplifică problemele legate de ancorare (zone de capăt mai puțin masive , mai puține ancoraje) ,

→ o utilizare mai bună a secțiunii de beton și a armăturii active permitându se deflectarea mai puternică fără a risca un efort de întindere prea mare în fibrele opuse

→ se evită necesitatea întinderii succesive a armăturii pretensionate deoarece nu mai apar compresiuni de scurtă durată foarte mari (efortul de precomprimare este mai mic)

7.6. Economicitatea, asociată la elementele din BPP a fost mult timp redusă la preocuparea de scădere a consumurilor de ciment și oțel , aspectul fiind la noi dominant în cercetare cel puțin până în anul 1990 .

Optica a fost generalizată la scara întregii industrii a construcțiilor printr-o politică impusă cu toate că nu a fost agreată de totalitatea specialistilor . Rezultatele sunt astăzi vizibile prin starea în care în general construcțiile se găsesc.

Autorul consideră că cel puțin pentru elementele din BPP criteriul economicității nu trebuie să fie cel hotărâtor , realitatea aducându ne chiar în situația ignorării

complete a acestuia în cazul când , spre exemplu ,precomprimarea parțială este unica soluție constructivă compatibilă cu anumite condiții date [B.14.] .Economicitatea în cazul betonului precomprimat parțial trebuie cu mare atenție privită având în vedere specificitatea utilizării materialelor de calitate superioară . Mai mult , dorinței declarate de a prelungi viața elementelor din beton precomprimat până la 200 sau chiar 300 de ani nu i se poate răspunde decât cu utilizarea unor materiale de excelentă calitate si a unor tehnologii performante care desigur presupun si costuri mai mari .

Autorul consideră că economicitatea în cazul elementelor din BPP trebuie urmărită si rezolvată în modul următor :

→ optimizarea formei si a alcătuirii secțiunii transversale si a elementului în ansamblu ,

→ renunțarea la obiectivul obținerii economiei imediate prin reducerea consumurilor de materiale , deoarece pe termen lung cheltuielile cresc datorită :

- unor lucrări de întreținere care cer noi cheltuieli si care sunt frecvente în acest caz ,

- vicții relativ scurtă a elementului s-au structurii ,cea ce presupune noi cheltuieli pentru dezafectare si înlocuire ;

→ asigurarea economicității prin cheltuieli minime pe termen lung , acceptând o investiție inițială mai consistentă care să asigure durabilitatea ,funcționarea ireprosabilă în exploatare si implicit viață lungă structurii .

Depășind nivelul principiilor si coborând la nivelul detaliilor ,specialistul va respecta legile unei economii libere si va alege soluția economică . De exemplu dacă într-o situație dictează starea limită de fisurare , pentru reducerea deschiderii fisurilor de la 0,3 la 0, 1 mm nu va adopta soluția betonului armat care cere sporirea cantității de armătură întinsă de patru ori , ci va alege soluția betonului precomprimat parțial care necesită o creștere doar de două ori a arici de armătură întinsă . Sau dacă soluția de armare este cea mixtă ,proiectantul va asigura , tot din considerente economice ,ca cele două tipuri de armătură să-si epuizeze concomitent capacitatea portantă.

Având în vedere dinamica prețurilor în perioada ultimilor ani ,lucrarea nu conține exemplificări prin calcule economice finalizate cu prețuri totale (cu toate că asemenea calcule au fost efectuate) . Interpretarea rezultatelor este prezentată sub alte forme cuprinse în lucrare .

Concluziile finale si contribuțiile personale rezultate din studiile de soluții si programul experimental , referitoare la economicitatea rezultată prin utilizarea precomprimării parțiale :

A. În raport cu BA :

→ se reduce consumul de beton si scade greutatea pe element având urmări favorabile asupra structurii pe ansamblu ,

→ avantaj economic evident prin adoptarea soluției precomprimării parțiale la elemente având deschideri moderate si încărcări mari ,

→ studiul de soluție [C.16.] arată că planscele din BPP (pe două direcții) de tip nervurat la clădiri în structuri cu diafragme rare aduc modeste avantaje economice , de importanță însă fiind avantajele legate de industrializarea execuției si de durabilitate.

7.8.

B. În raport cu BP:

- ↪ se reduce consumul de ciment prin scăderea clasei betonului utilizat ,
- ↪ se reduce consumul de oțel de înaltă rezistență având preț ridicat ;
- ↪ prin reducerea armăturii pretensionate și a forței de precomprimare rezultă o simplificare a operațiunii costisitoare de precomprimare ;
- ↪ scade costul total prin reducerea ancorajelor ,a masivității cofrajelor metalice autoportante și a dispozitivelor de deflectare ;
- ↪ consumul specific total de oțel pentru panoul casetat scade odată cu reducerea gradului de precomprimare ,iar pentru planșul dală ia valori minime pentru gradul de precomprimare 0,9 - 0,95 ;
- ↪ consumurile de beton și ciment cresc cu creșterea distanței dintre stâlpi și a încărcării utile ,variantele panourilor casetate oferind consumurile mai mici ;
- ↪ pentru grinzi la care singurul parametru variabil este gradul de precomprimare , raportul costurilor (C_{PL} cost în soluția cu precomprimare limitată C_{PM} cost în soluția cu precomprimare moderată) este :

$$C_{PM} / C_{PL} < 1 \text{ pentru deschideri de } 9 \text{ - } 12 \text{ m}$$

$$C_{PM} / C_{PL} \cong 1 \text{ pentru deschideri de } 15 \text{ m}$$

$$C_{PM} / C_{PL} > 1 \text{ pentru deschideri de } 18 \text{ m}$$

7.7. Concluzii finale și contribuții personale în afara celor prezentate mai sus în acest capitol (de văzut 7.1. ,7.2.,7.3.,7.4.,7.5.,7.6.) și valorificări ale cercetărilor și rezultatelor :

- ↪ a fost întocmit proiectul [C.18.] pentru grinzi principale transversale din alcătuirea acoperisurilor la hale și depozite parter cu învelitoare din azbociment și având deschideri de 9 m ,12 m , 15 m , și 18 m în soluția constructivă din BPP cu precomprimare moderată și armare mixtă;
- ↪ pentru grinzile de 9 m și 15 m deschidere , de tipul GU 9 - 6am și GU15 - 6 cm ,au fost efectuate încercările experimentale care au condus la concluzia că acestea corespund ca prototipuri și pot fi introduse în producție ;
- ↪ autorul este posesorul unui CERTIFICAT DE INOVATOR cu nr .733 din 19 decembrie 1987 pentru “ Elemente precomprimare parțial, cu armare mixtă , utilizate în construcții agricole” ;
- ↪ autorul a colaborat în colectiv la elaborarea lucrărilor [C.16.] și [C.29.] constituind studii de soluții pentru planșee precomprimare pe două direcții din panouri prefabricate utilizând armătură preîntinsă ;
- ↪ este propusă o metodă de calcul a săgeții maxime pentru elemente din BPP solicitate la încovoiere (de văzut punctul 5.3.5.2.) ;
- ↪ autorul aduce un aport la interpretarea și cunoașterea normelor internaționale EUROCOD nr.2. “ Calculul și alcătuirea structurilor din beton ” prin analiza sau prezentarea comparativă a unor prevederi ale acestora utilizând

7.9.

terminologia si notațiile originale (în ideea doritei armonizări dintre normele noastre si cele europene) :

→ teza este un îndemn pentru o mai largă utiizare a BPP atunci când avantajele prezentate îl recomandă , cu excepția cazurilor (unele cuprinse aici) când nesocotirea evidenței acestora ar impinge în imposibilitatea efectuării lucrării

→ autorul a publicat sau a comunicat rezultate parțiale ale studiilor teoretice si experimentale efectuate [F.12.], [F.13.], [F.14.][F.15.][F.16.][F.17.][I.5.], [I.6.]

→ autorul a colaborat în colectiv la elaborarea unor contracte de cercetare - proiectare în domeniul betonului precomprimat parțial [C.13.], [C.14.], [C.15.], [C.17.], [C.18.],

→ studiul materialelor avute la dispoziție arată că optimizările sunt orientate încă pe cercetarea urmărind economicitate (în materiale sau cost global) în detrimentul criteriului bazat pe performanța globală (facilitate a execuției , durabilitate ridicată securitatea ameliorată) mai legat de realitate, dar presupunând unele dificultăți apreciate ca posibil de depășit în viitorul apropiat, prin continuarea cercetărilor.

. Acestea sunt elementele pe care se bazează aprecierea conform căreia betonul precomprimat nu si-a spus ultimul cuvânt, așteptându-se noi dezvoltări si performanțe.

CAPITOLUL 8

BIBLIOGRAFIE

- A.1.** Abeles, P. W., Partial Prestressing in England, P. C. I. Journal, vol. 10, No. 6, Dec. 1965.
- A.2.** Abeles, P. W., Czuprynski, L. Partial Prestressing, Its History, Research, Application and Future Developments, Annales des Travaux Publics de Belgique, 2-1966.
- A.3.** Abeles, P. W., The Practical Application of Partial Prestressing. 8th Congress 1968, IABSE Final Report.
- A.4.** Abeles, P. W., Philosophy of Design of partial prestressing. Bulletin d'Information CEB No. 113, Aout 1976/Fevrier 1979.
- A.5.** ACI Committee 318: Building Code Requirements for Reinforced Concrete (318-83) (318-77) Detroit, Michigan.
- A.6.** ACI Manual on Concrete Practice. Part 3-1984.
- A.7.** ACI Committee 435, Allowable Deflections, J. A. C. I. iun. 1968.
- A.8.** ACI Committee 224, Control of Cracking in Concrete Structures, Concrete International Vol. 2. No. 10, oct. 1980.
- A.9.** Avram C. Filimon I., Deutsch I., Paius S., Analysis of Partially Prestressed Concrete Members at the Cracking Limit State, Proceedings FIP Symposium on Partial Prestressing, Bucharest 1980.
- A.10.** Agent R., Dumitrescu D., Postelnicu T., Îndrumător pentru Calculul și alcătuirea elementelor de beton armat. Editura Tehnică, București 1992.
- A.11.** Abeles P. W.; Partial Prestressing and Its Suitability for Limit State Design, Structural Engineer, Vol. 49, no. 2, Febr. 1971
- B.1.** Bachmann H, Partial Prestressing of Concrete Structures. IABSE Surveys S-11/79, Nov. 1979.
- B.2.** Bachmann H, From full to partial prestressing. In: Prestressed Concrete of Switzerland. 9th FIP Congress, Stockholm 1982.
- B.3.** Bachmann H, Precomprimarea parțială a structurilor din beton. Buletinul Informativ IPCT nr. 3. București 1981.
- B.4.** Bachmann H, 10 Theses on Partial Prestressing. Proceedings FIP Symposium on Partial Prestressing and Practical Construction, Bucharest, Sept. 1980.
- B.5.** Bachmann H, Design of Partially Prestressed Concrete Structures Based on Swiss Experiences. Birkhauser Verlag Basel-Boston-Stuttgart. Institut für Baustatik und Konstruktion ETH Zurich. Aug. 1984.

- B.6.** Bachmann H, Partially Prestressed Concrete: Simplified Design Based on Swiss Practice Since 1968. Symposium on Nonlinearity and Continuity in Prestressed Concrete, Preliminary Publication, vol. 1, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, July 1983.
- B.7.** Baus R, Colloquium on Partially Prestressed Concrete, Brussels, Belgium 1965, Annales des Travaux Publics de Belgique, No. 2, April 1966, lucrările: -Survey on Partial Prestressing-colectiv cu Depauw, V.
- B.8.** -Influence of Deformability and Initial Wire Tension on the Behavior of Partially Prestressed Beams.-colectiv cu Louis H, Brenneisen A.
- B.9.** Baus R, 8th IABSE Congress, New-York 1968, Final Report, 1969 lucrările: -Determination of the Combined Failures of Fully and Partially Prestressed Beams.-colectiv cu Brenneisen A, Claude G.
- B.10.** -Note on the Economic Interest of Some Limits of Applicability of Partial Prestressing.-colectiv cu Brenneisen A. Claude G.
- B.11.** Bennet E. W. Design of Partially Prestressed Concrete with Reference to the CEB/FIP Model Code, Proceedings FIP Symposium on Partial Prestressing, Bucharest 1980.
- B.12.** Bennett, E. W., Partial Prestressing : A Historical Overview, International Symposium on Nonlinearity and Continuity in Prestressed Concrete, Preliminary Publication , vol. 1. University of Waterloo, Waterloo, Ontario, July 1983.
- B.13.** Bruggeling, A. S. G., Brunekreef, S. H., Walraven, J. C., Partially Prestressed Concrete: Theory and Experiments, Contributions to the 8th FIP Congress, Heron, vol. 23, no. 1, Delft, The Netherlands, 1978.
- B.14.** Bruggeling, A. S. G., Partially Prestressed Concrete: A Challenge for Concrete Designers, International Symposium on Nonlinearity and Continuity in Prestressed Concrete, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, July 1983.
- B.15.** Bob C, Acoperirea cu beton si calitatea betonului, factori de influență a durabilității, Seminar on EC-2, Design of Concrete Structures, Timisoara, March 1994.
- B.16.** Bob C, The model of corrosion of the reinforcement in concrete, Proceedings of the Symposium ICCPDC, Timisoara 1986.
- B.17.** Binnekamp, D. C. Corrosion Protection of unbonded Tendons, Xth FIP Congress New-Dehi, India 1986.
- B.18.** Bob C., Bazele proiectării în Normele Europene EC-2. Seminar on EC-2, Design of Concrete Structures, Timisoara, March 1994.
- B.19.** Brondum-Nielsen, T., Comments to the Paper Serviceability based design of partially prestressed beams by Naaman, A. Siriaksorn, A. In: Journal of PCI, ian/febr. 1980.
- B.20.** Birkenmaier, M., Calcul des elements en beton a precontrainte partielle selon les normes (1966) de la Societe Suisse des Ingenieurs et des Architectes. In: Annales ITBTP, Jan. 1968.
- B.21.** Berg, O. I. Scerbakov E. N., Pisanko G. M., Visokoprocinii beton, Moscova 1971.

- B.22.** Birkenmaier M., Jacobsohn W., Behaviour of Prestressed Concrete Sections from Cracking to Failure, Schweizerische Bauzeitung, vol. 77, No. 15, apr. 1959.
- B.23.** Brondum-Nielsen, T., Partial Prestressing, FIP and Concrete Institute of Australia Symposium, Sept. 1976.
- B.24.** Baus R., Fatigue and Breakdown of class 3 Structures, Proceedings 6th FIP Congress, Prague, 1970, Cement and Concrete Association, London, England 1970.
- B.25.** Bruggeling, A.S.G., The Challenge of Partially Prestressed Concrete, Annales ITBTP No. 416, Aug. 1983.
- B.26.** British Standards Institution Code of Practice CP 110:1972 "The Structural use of concrete".
- B.27.** Bobrowski J., Bardham-Roy, B.K., Partial Prestressing-Development and design recommendations, Symposia on P.C., Bucharest, 1980.
- C.1.** Chaikes S. Prestressed Reinforced Concrete. Evolution of the Concept of Prestressed Structures. 8th IABSE Congress, New-York 1968, Final Report.
- C.2.** Chaikes S. Comparison of Identical Structures in Fully and Partially Prestressed Concrete, 6th FIP Congress, Prague, Cement and Concrete Association, London, 1970.
- C.3.** Clipii T., Contributii privind comportarea în exploatare și calculul elementelor încovoiate din beton precomprimat partial cu și fără suprabetonare, Teză de doctorat, Timisoara 1984.
- C.4.** Clipii T., On Loss of Prestress Due to Elastic Shortening of Prestressed Elements, with Pretensioned Tendons, Seminar on Eurocode 2, Design of concrete structures, Timisoara, March, 1994.
- C.5.** Clipii T., Onet T., Prestressed concrete Fundamentals, Seminar on EC-2, Design of concrete structures, Timisoara, March 1994.
- C.6.** Cestelli-Guidi C., Experimental Research and Application of Partial Prestressing in Italy, Colloquium on PPC, Brussels, Belgium 1965, Annales des Travaux Publics de Belgique, No. 2, April 1966.
- C.7.** Cohn M.Z., Trinh J.K.L. Precontrainte partielle: De la theorie a la pratique, Partial Prestressing, from Theory to Practice, Proc. NATO-ARW, Paris 1984, Nijhoff Publishers, Dordrecht 1986, Volume 1.
- C.8.** Cohn M.Z., Macrae A.J., Prestressing Optimization and Design Practice, International Symposium on Nonlinearity and Continuity in Prestressed Concrete, Preliminary Publication, vol. 1, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, July 1983.
- C.9.** Cohn M.Z., Bartlett, M., Nonlinear Flexural Response of Partially Prestressed Concrete Sections, ASCE Journal of the Structural Division, Vol. 108, No. ST12, Dec. 1982.
- C.10.** CEB, Systeme International de Reglementation Technique Unifiee des Structures. Vol. I.-Regles unifiees des communes aux differents types d'ouvrages et de materiaux; Vol II Code Modele CEB-FIP pour les structures en beton. Bulletin d'Information No. 124/125, 1978.

- C.11.**CEB,Manual on Cracking and Deformations(Final Draft).Bulletin d"Information No.143,Dec.1981,No.158/1985.
- C.12.**CEB-Fip,Model Code 1990.First pre-Draft 1988.Bulletin d"Information CEB No.190.
- C.13.**Contract 967/1984,Faza I.4,Durabilitatea elementelor si structurilor din beton precomprimat partial si conditii de diferentiere a nivelului de asigurare.M.C.IND.Bucuresti 1986.Colectiv:I.Filimon,R.Friedrich,T.Clipii,St.Iosip Mot.
- C.14.**Contract 121/1985,Tema IV,Faza 2,Folosirea betonului precomprimat partial pentru constructii industriale si agricole,ICCPDC Filiala Timisoara 1986.Colectiv; I.Filimon, R.Friedrich,T.Clipii,St.Iosip Mot,A.Tudor,A.Florea.
- C.15.**Contract 1473/1988,Durabilitatea elementelor din beton precomprimat partial,ICCPDC Filiala Timisoara,Colectiv;I.Filimon,C.Bob,T.Clipii,St.Iosip Mot,C.Jiva,A.Tudor,A.IIca.
- C.16.**Contract 1409/1986,Plansee precomprimate nervurate ICCPDC Bucuresti;Colectiv; I.Filimon,I.Deutsch,A.Irhasiu,C.Jiva,St.Iosip Mot.
- C.17.**Contract 171/1987,Studii si cercetări experimentale asupra unor elemente prefabricate din beton armat si beton precomprimat, IMC Timisoara,Colectiv; I.Filimon, .Deutsch, Al.Toma, A.Irhasiu, C.Jiva,St.Iosip Mot.
- C.18.**Contract 121/1985-1989,Procedee si solutii noi pentru reducerea pretului de cost al constructiilor,Subtema IV,T.A.G.C.I. Timisoara, Colectiv; I.Filimon,T.Clipii, St.Iosip Mot.
- C.19.**CEB-FIP Model Code ,1970.
- C.20.**Contract 389/1981,Studiu privind folosirea diferentiată a precomprimării parțiale în corelare cu condițiile de încărcare si exploatare la elemente si structuri,INCERC Bucuresti,A.Popăescu,I.Ban,D.Dumitrescu (ICB),R.Vasilescu (IPCT).
- C.21.**Chaikes,S.,Partially Prestressed Concrete:Theoretical Study,Tests and Achievements,Annales des Travaux Publics de Belgique,No.2,Apr.1996.
- C.22.**Cuciureanu A.,Contributii la studiul planseelor din panouri mari pentru clădiri de locuit.Teză de doctorat,Iasi 1991.
- C.23.**Cuciureanu A.,Procedeu si instalatie de pretensionare pe două directii,Sesiunea 40 ani de învățământ superior de constructii la Iasi,Vol.sectia B,Iasi 1981.
- C.24.**Cuciureanu A.Plansee precomprimate pe două directii,Seminar on Eurocode-2-Design of concrete structures,Timisoara,March 1994.
- C.25.**Contract 4110/1980,Solutii de plansee casetate prefabricate asamblate prin precomprimare,colectiv;A.Cuciureanu,A.Mihul,s.a.,Iasi 1980.
- C.26.**Contract 326/1981,Noi tipuri de elemente prefabricate din beton armat si beton precomprimat pentru constructii industriale, agrozootehnice si de locuit, INCERC Bucuresti,Colectiv;E.Damian, N.Găină,I.Ban.

- C.27.**Contract 8663/1990,Solutii alternative de armare longitudinală a stâlpilor tip SE4T din beton precomprimat pentru LEA de joasă si medie tensiune (înlocuirea toroanelor 703 deficitare) colectiv :A.Popăescu,V.Sveica,INCERC,Iunie 1991.
- C.28.**Contract 949/1977,Utilizarea armăturilor pretensionate si nepretensionate de rezistentă în elemente din beton precomprimat,colectiv ;A.Popăescu,Fl.Damian,D.Dumitrescu, N.Constantinescu.
- C.29.**Contract 1404/1986,Plansee eficiente din beton precomprimat pe două directii pentru clădiri industriale si de lociut,Beneficiar ICCPDC Bucuresti,colectiv;I.Filimon, R. Friedrich, T.Clipii,A.Tudor,St.Iosip Mot,Ghe.Dănetiu-responsabil temă.
- C.30.**C 181/76 Îndrumător pentru metodologia de încercare a prototipurilor si seriei zero la elemente prefabricate din punct de vedere al comportării statice.
- D.1.**Dilger, W. H.,Design of Prestressed Concrete,Canadian Structural Concrete Conference,Toronto, Ontario,1981.
- D.2.**Dumitrescu D.,Popăescu A,Design aspects of partial prestressed concrete in Romanian Codes.In:Proceedings of the FIP Symposium on Partial Prestressing,Part 1 Bucharest,Sept 1980.
- D.3.**Dumitrescu D,Popăescu A,Urmă R,Aspecte ale folosirii stâlpilor din beton precomprimat pentru clădiri în zone seismice.in:Lucrările Congresului COPISEE"Protectia constructiilor în zone seismice" Bucuresti ,nov.1978.
- D.4.**Dumitrescu D,Popăescu A;Beton precomprimat-Curs.Institutul de Constructii Bucuresti 1980.
- D.5.**Dumitrescu D,Popăescu A;Beton precomprimat.Editura Academiei,Bucuresti 1987.
- D.6.**Dumitrescu D,Tertea I,Popăescu A,Toma M,Petre R,Negoescu E;Research on Partially Prestressed Concrete in Romania ,Proceedings FIP Symposium on P.P.Bucharest Sept.1980.
- D.7.**Dayaratnam D,Dhiman A,Roy S;Optimal Design of Partially Prestressed Concrete Beams. International Symposium on Nonlinearity and Continuity in Prestressed Concrete,Preliminary Publication,vol.3,University of Waterloo,Ontario,July 1983.
- D.8.**Dean J.A,Park R,Titan L.C.,Serviceability and Strength Criteria for Partially Prestressed Members,FIP Symposium Bucharest ,Sept 1980.
- D.9.**Dumitrescu D ,Agent R,Nicula I,Găină N,Popăescu A,Weissenberg N,Lissai F,Săndulescu G, Stănescu A;Îndrumător pentru proiectarea si calculul constructiilor din beton ,beton armat si beton precomprimat.Editura Tehnică ,1978.
- E.1.**Enescu St; Betoane pentru constructii din beton precomprimat,A XIII-a Conferință de betoane,Vol.3,Brasov 1986.
- E.2.**EUROCOD Nr.2,Calculul si alcătuirea structurilor din beton ,Partea 1:Reguli Generale si Reguli pentru Clădiri, INCERC, Nov.1994,Traducere în limba română; Autori: Popăescu A,Dumitrescu D,Schiau A.M.

- F.1.**Fauvre R;Computation of Deformations of Prestressed and Reinforced Concrete Structures ,(in German) Schweizer Ingenieur und Architekt vol.99,No.43,oct.1981.
- F.2.**FIP, Recommendations on Practical Design of Reinforced and Prestressed Concrete Structures Based on CEB-FIP MC 78,9th FIP Congress Stockholm,Sweden 1982.
- F.3.**Filimon I,Deutsch I,;Curs de beton armat si beton precomprimat,IPT.1984
- F.4.**Filimon I;Aspects concernant les Fleches des Elements en beton arme ,Buletin stiintific si Tehnic I.P.T. Tom 38,1983.
- F.5.**Filimon I;Sugestii privind analiza deformatiilor elementelor din beton precomprimat. Seminar EC-2,Design of Concrete Structures ,Timisoara ,March 1994.
- F.6.**FIP ,Recommendations:Practical design of reinforced and prestressed concrete structures 1984.
- F.7.**Filimon ,I;Quelques aspects concernant le calcul a la fisuration des elements flechis precontraint;Rev.Construction ,Gand ,Belgia ,1964.
- F.8.**Filimon ,I,Deutsch I.,Toma Al;Studiul teoretic si experimental privind aparitia si dezvoltarea fisurilor la elementele incovoiate din beton precomprimat solicitate la încărcări statice si dinamice; Bul.St. si Tehnic al IPT, Tom 19, fasc.1,1974.
- F.9.**Filimon I,Deutsch I;Fissuration des elements en beton arme precontraint ;Bul.St.si Tehnic al IPT,Tom 2 (36), Fasc.1 , 1977.
- F.10.**Filimon I,Recherches sur le beton partiellement precontraint ;Vol.omagielle "Liber Amicorum" du prof.Riessauw ,Gand - Belgique 1982.
- F.11.**Filimon I,Clipii T,Friedrich R,Aspects pratiques concernant l"evaluation de effort de precontrainte ,conformement aux conditions de verifications a l"etat limite de fissuration des elements flechis en beton precontrainte , Revue Roum.des Sciences Technique No.6,1986.
- F.12.**Filimon I,Clipii T,Tudor A,Iosip Mot St.;Cercetări teoretice si experimentale privind betonul partial precomprimat ;Rev.Constructii , nr.1.,1984.
- F.13.**Filimon I,Deutsch I,Cadar I,Toma Al,Jiva C,Iosip Mot St,Iovan S;Încercări de laborator pentru verificarea diferitelor stări limită a unor elemente de beton precomprimat prefabricate ;Vol.1,Schimb experientă a laboratoarelor de Constructii, Baia -Mare ,1985.
- F.14.**Filimon I,Deutsch I,Toma Al , Irhasiu A ,Jiva C ,Iosip Mot St ,Todor M ;Aspecte privind capacitatea portantă la exploatare a unor elemente prefabricate din beton armat si beton precomprimat;Simpozion "Promovarea progresului tehnic în Constructii" , Timisoara 1986.
- F.15.**Filimon I,Clipii T,Tudor A, Iosip Mot St; Studii teoretice si experimentale privind elemente din beton partial precomprimat ;Bul.ICCPDC - Fil.Timisoara 1986.
- F.16.**Filimon I.Clipii T , Iosip Mot St ;Elaboration de projet des elements a precontrainte moderee pour constr.agricoles.Etude de ecur comportement sous charges de service ;Bul.St. si Tehnic IPT,Tom 33 (47) Fasc .1-2,1988.

- F.17.**Filimon I,Clipii T , Tudor A , Iosip Mot St;Aspecte teoretice si experimentale asupra comportării sub încărcări de exploatare a elementelor din beton precomprimat; Conferinta a XV -a de Betoane , Cluj -Napoca 1988.
- G.1.**Guyon Y;Limit State Design of Prestressed Concrete,Applied Science,London,1974.
- G.2.**Guyon Y;Constructions en beton precontraint,Etude de la Section ,vol.1,Eyrolles 1964.
- G.3.**Guyon Y;The Possibilities and Future of Prestressing,Travaux ,no.376,May 1966.
- H.1.**Huber A;Practical Design of Partially Prestressed Concrete Beams, Concrete International, vol.5, no.4,April 1983.
- H.2.**Hill A. W;Partial Prestressing,A report on FIP Symposium,Bucharest,1980 and Recommendations In;FIP Notes 91,march,april 1981.
- I.1.**IABSE Colloquium,Fatigue of Steel and Concrete Structures.Lausanne,1982.
- I.2.**Inomata S.A; Theoretical Study on Section Ductility of Partially Prestressed Concrete,Proceedings FIP Symposium on P.P.,Bucharest ,sept.1980.
- I.3.**Inomata S.A;Design Procedure for Partially Prestressed Concrete Beams Based on Strength and Serviceability,PCI Journal,vol.27,No.5,oct.1982.
- I.4.**Ivanyi G;Flexural Cracking of Unbonded Prestressed Slabs.,Beton und Stahlbetonbau,vol.76,No.9, Sept.1981.
- I.5.**Iosip Mot St;Elemente din beton precomprimat partial pentru constructii agricole,Baza Academiei,Timisoara ,Iunie 1987.
- I.6.**Iosip Mot St,Filimon I;Aspecte teoretice si experimentale privind starea limită de deformatie a elementelor din beton precomprimat ,Buletin Stiintific si Tehnic I.P.T.,Tomul 34,Fascicola 1-2.Ian-Dec.1989.
- I.7.**INCERC Bucuresti ,Colaborare la proiectul IPCT nr.5215/2p p "Grinzi longitudinale de 6 m deschidere din beton precomprimat partial pentru hale industriale",responsabil C-tin Prăun,INCERC-CCI,Mai 1983.
- I.8.**INCERC Bucuresti ,Colaborare la proiectul IPCT nr.5029/p p "Grindă transversală de 24 m deschidere din beton precomprimat partial ,pentru hale industriale ",responsabil N.Constantinescu,colab. R. Ruff,INCERC-CCI oct.1983.
- I.9.**Iosip Mot St ;Precomprimarea partială - Solutie eficientă pentru sporirea sigurantei constructiilor; Referat din programul de pregătire pentru doctorat, Departamentul CCIA , Timisoara 1988.
- I.10.**Iosip Mot St ;Aspecte privind calculul la fisurare a elementelor din beton precomprimat partial; Referat din programul de pregătire pentru doctorat ,Departamentul CCIA , Timisoara 1989.
- I.11.**Iosip Mot St ; Aspecte privind calculul la deformatii a elementelor din beton precomprimat partial ;Referat din programul de pregătire pentru doctorat , Departamentul CCIA Timisoara 1989.

- J.1.** Janovic, K, Kupfer H; Limitation of Crack in Prestressed Concrete (in German), *Bauingenieur*, vol. 57, No. 3, March 1982.
- J.2.** Jones L.L.; Ultimate load analysis of reinforced and prestressed Concrete Structures. Chatto and Windus, London, 1962.
- L.1.** Leonhardt F; Partial Prestressing Improves Serviceability, FIP Symposium on Partial Prestressing, Bucharest, Sept. 1980
- L.2.** Leonhardt F; Recommendations for the Degree of Prestressing in Prestressed Concrete Structures, ACI/CEB Concrete Design: U.S. and European Practices Symposium, Philadelphia, Pa., ACI Publication SP-59, 1976.
- L.3.** Lin T.Z. Burns N.H.; Design of Prestressed Concrete Structures, John, Wiley and Sons, Inc. New York, 1981.
- L.4.** Lacroix R, Fuentes A; Le projet de beton precontraint, Paris, Eyrolles, 1975.
- L.5.** Leonhardt F; Vorlesungen uber Massivbau. Funfter Teil: Spannbeton. Springer verlag, Berlin, 1980.
- L.6.** Leonhardt F; Spannbeton fur die Praxis, 1962.
- L.7.** Lupan M; Importanta durabilității și necesitatea urmării comportării în timp a construcțiilor din beton precomprimat, a XII- a Conferință de Betoane, Brasov, 1986.
- L.8.** Lebel P; Partially Prestressed Structures, *Travaux* no. 376, May 1966.
- L.9.** Lacroix R; Partial Prestressing: Why? How? *Annales ITBTP*, no 420, Dec. 1983.
- L.10.** Lambotte H, Van Nieuwenburg D; Long term behaviour of partially prestressed beams, Partial Prestressing-From Theory to Practice NATO ASI ; Series E-nr. 113 b-Cohn M.Z. Editor, 1986, Vol. II, Chapter 8.
- M.1.** Mirsu O, Radoslav I, Buchman I, Florea V; Cercetări privind structurile prefabricate asamblate prin postcomprimare, Contract 1480/1988, Faza I-Studiu de fundamentare. ICCPDC București -Filiala Timisoara.
- M.2.** Mirsu O, Friedrich R; Constructii din beton armat, Editura Didactică și Pedagogică, București 1980.
- M.3.** Menn C; Partial Prestressing from the Designer's Point of View, *Concrete International*, vol. 5, no. 3, March 1983.
- M.4.** Muguruma H, Watanabe F, Fukai S, Nasu T; Fundamental Study on the Behaviour of Class 3 Partially Prestressed Concrete Beams, *Transactions Japan Concrete Institute* vol. 2., 1980.
- M.5.** Muguruma H, Watanabe F, Fukai S; Behaviour of class 3 Partially Prestressed Concrete Beam Under Reversed Cyclic High-Over Repeated Load, FIP Symposium, Bucharest 1980.
- M.6.** Menn C; Design of Prestressed Structures. International Symposium on Nonlinearity and Continuity in Prestressed Concrete, Preliminary Publication, University of Waterloo, July 1983.

- N.1.**Naaman A.E.;Partially Prestressed Concrete Design,American Viewpoint ,International Symposium on Nonlinearity and Continuity in Prestressed Concrete,Preliminary Publication,Vol.1,University of Waterloo,Ontario,July 1983.
- N.2.**Naaman A.E.;Prestressed Concrete Analysis and Design.Vol.1:Fundamentals,Mc Graw-Hill Co.,New-York,1982.
- N.3.**Naaman A.E.;Siriaksorn A;Reliability of Partially Prestressed Beams at Serviceability Limit States, PCI Journal ,vol.27,No.6,Dec.1982.
- N.4.**Naaman A.E.;A Proposal to Extend Some Code Provisions on Reinforcement to Partial Prestressing,PCI Journal,vol.26,No.2,March 1981.
- N.5.**Naaman A.E.;Partially Prestressed Beams:A Unified Design Proceedure for Strength and Serviceability ,FIP Symposium on Partial Prestressing, Bucharest ,Sept.1980.
- N.6.**Nilson A.H.;Flexural Stresses After Cracking in Partially Prestressed Beams ,PCI Journal,vol.21,No.4,July 1976.
- N.7.**Nicula I ;Cerinte privind calitatea si durabilitatea constructiilor de beton precomprimat ,a XIII-a Conferinta de Betoane, Brasov,Oct.1986.
- N.8.**Nilson A.H.;Design of Prestressed Concrete ,John Wiley and Sons,New -York,1978.
- N.9.**Nicula I,Onet T,;Beton armat ,EDP Bucuresti 1982.
- O.1.**Onet T;Betonul partial precomprimat.Casa Cărtii de Stiintă.Cluj-Napoca.1993.
- O.2.**Onet T,Clipii T,;Betonul precomprimat principii fundamentale. Seminar on EC-2, Design of Concrete Structures ,Timisoara,March 1994.
- O.3.**Onet T ,Tertea I;Ductility of Partially Prestressed Concrete, International Symposium on Nonlinearity and Continuity in Prestressed Concrete,Preliminary Publication vol.1 University of Waterloo, Ontario, July 1983.
- O.4.**Onet T,Tertea I;Proiectarea betonului structural,Casa Cărtii de Stiintă,Cluj-Napoca, 1995.
- P.1.**Popăescu A;Precomprimarea parțială.Domenii principale de aplicare.A XIII-a Conferinta de Betoane,vol.III,Brasov,1986.
- P.2.**Popăescu A;Durabilitatea structurilor din beton ,cerintă a inspectării constructiilor existente.Seminar on EC-2,Design of Concrete Structures ,Timisoara,March 1994.
- P.3.**Popăescu A,Filimon I,Onet T;Betonul precomprimat cu precomprimare parțială.Seminar EC-2,Design of Concrete Structures,Timisoara,March 1983.
- P.4.**Popăescu A;Probleme ale comportării si calculul elementelor încovoiate din beton precomprimat cu precomprimare parțială.Teză de doctorat.Institutul de Constructii Bucuresti 1983.
- P.5.**Popăescu A,Dumitrescu D;Influenta distributiei armăturii pretensionate si nepretensionate de rezistență asupra comportării sub încărcări a elementelor din beton precomprimat.Rev.Constructii No.4,1977.

- P.6.**Păius S;Contributii privind studiul aderenței și influenței sale asupra procesului de fisurare a elementelor din beton armat precomprimat cu armătură preîntinsă de tipul toroanelor.Teză de doctorat,IPT Timisoara 1977.
- P.7.**Popăescu A;Beton precomprimat cu precomprimare parțială,In:Buletinul Stiintific al Institutului de Constructii,Bucuresti ,No.1,1974.
- P.8.**Proceedings of the workshop on High Srength Concrete ,Chicago,1979.
- P.9.**Proiect IPCT Nr.5676/1981,Studiu privind alcătuirea unor elemente de structură din BPP pentru hale industriale parter și etajate;Colectiv ;Dabija M,Vasilescu R,Cazacliu A. Secară R.
- P.10.**P103-82 Instructiuni tehnice pentru proiectarea elementelor din beton precomprimat parțial, folosind armături pretensionate și nepretensionate complementare.Colectiv: Popăescu A;-responsabil,Dumitrescu D,Toma M, Tertia I,Filimon I,Buletinul Constructiilor nr.2.1983.
- P.11.**PCI (Prestressed Concrete Institute),Recommended Practice for Segmental Construction in Prestressed Concrete,PCI Journal,Vol.20,No.2,April 1975.
- P.12.**Proiect IPCT Nr.5437 , Bucuresti 1980.
- P.13.**Plesca T ;Utilizarea elementelor din beton armat precomprimat la constructia complexului de depozite Suceava - vest , Institutul de Documentare Tehnică Bucuresti 1964 .
- R.1.**Rostam S.;Experience with Deformation Characteristics and Durability of Partially Prestressed Concrete Structures"Proceedings FIP Symposium of Partial Prestressing Bucharest,1980.
- R.2.**Rusch H.,Researches Toward A General Flexural Theory For Structural Concrete ,ACI Journal,vol.57,no.1.July 1960.
- R.3.**Rusch H,;Reinforced and Prestressed Concrete Vol.1:Materials,Properties,and Design Methods Werner -Verlag,Dusseldorf,1972.
- S.1.**STAS 10107/0-90,Constructii civile și industriale.Calculul și alcătuirea elementelor structurale din beton ,beton armat și beton precomprimat.I.R.S.,1990.
- S.2.**STAS 10111/2-87,Poduri de cale ferată și sosea.Suprastructuri din beton ,beton armat și beton precomprimat.
- S.3.**Săndulescu G;Possibilities to Use Partial Prestressing to Some Structural Types for Engineering and Industrial Buildings.FIP Symposium,Bucharest,1980.
- S.4.**Schelling G,Rostasy F.S.Belastungs-und Korrosionsversuche an teilweise vorgespannten Balken Vertrieb Durch Verlag Von Wilhelm Ernst & Sohn,Berlin -Munchen,Berlin 1984.
- S.5.**Shaikh A.F.;Branson D.E.;Non -tensioned Steel in Prestressed Concrete Beams, PCI Journal,Vol.15,no.1 Febr.1970.
- S.6.**Suzuki K.Ohno Y;Rapid Evaluation of Crack Width of Partially Prestressed Concrete Members,International Symposium Nonlinearity and Continuity in Presstressed Concrete University of Waterloo ,Canada,1983,Preliminary Publication ,Vol.1.

- T.1.** Terteia I; Betonul precomprimat .Bazele proiectării. Editura Tehnică. Bucuresti 1981.
- T.2.** Tadros M.K. Ghali A, Dilger W.H.; Effect of Non-prestressed Steel on Prestressed Loss and Deflection, PCI Journal , vol.22, no.2, March 1977.
- T.3.** Terteia I., Onet T; Probleme ale precomprimării parțiale a betonului relevate în programele proprii de cercetare. A XIII-a Conferință de Betoane ; Publicatii preliminare, vol. II; Brasov, 1986.
- T.4.** Thurlimann B.; A Case for Partial Prestressing. Structural Concrete Symposium Proceedings. University of Toronto, May 1971.
- W.1.** Walther R, Miehlsbradt M; FIP recommendations on practical design , Proceedings of the Ninth Congress of the FIP, Stockholm , vol.3. June 1982.
- W.2.** Walther R; Partial Prestressing, Prestressed Concrete in Switzerland, For 9th Congress, Stockholm, 1982.
- W.3.** Warner R.F.; Serviceability of Cracked Partially Prestressed Concrete Members; Test and Analysis , FIP Symposium on Partial Prestressing , Bucharest, Sept. 1980.
- W.4.** Warner R.F., Faulkes K.A.; Prestressed Concrete, Pittman , Australia 1979.
- Z.1.** Zhao G.F; Wen M.X. Research on Calculation for Crack Width of Unbonded Partially Prestressed Concrete Beam , FIP 1992 Budapest.